



Agence métropolitaine de transport

## Développement du projet Pie-IX – Étude de faisabilité et avant-projet

Étude de pré faisabilité de l'électrification

Rapport d'étude

V3.0- 1er novembre 2011

Réf. AMT 107SP-0788-000 - N/Réf. M108218

Préparé par : Vincent Ermatinger, ing., M. Sc. A.  
Claude Messier, ing. MBA  
Denis Gougenheim  
Miguel DasNeves  
François Lajarige  
Gérald Lavoie, ing.  
Karène Poitras-Lafrance, ing. jr  
Geneviève Pharand, ing. jr  
Philippe Mytofir

Approuvé par : \_\_\_\_\_  
Suzanne Demeules, ing. D.E.S.S.

\_\_\_\_\_  
Eric Peissel, urb. M. urb.

1600, boul. René-Lévesque Ouest,  
Bureau 1600,  
Montréal (Québec) H3H 1P9  
Téléphone : (514) 340-0046  
Télécopie : (514) 340-1337

**Table des matières**

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.0 INTRODUCTION .....</b>                                                           | <b>1</b>  |
| <b>1.1 CONTEXTE .....</b>                                                               | <b>1</b>  |
| <b>1.2 PORTÉE DU MANDAT .....</b>                                                       | <b>2</b>  |
| <b>1.3 MÉTHODOLOGIE .....</b>                                                           | <b>2</b>  |
| <b>2.0 DÉFINITION DES ÉLÉMENTS DE BASE DU PROJET .....</b>                              | <b>3</b>  |
| <b>2.1 PÉRIMÈTRE D'INTERVENTION ET TRACÉ RETENU .....</b>                               | <b>3</b>  |
| <b>2.2 SCÉNARIO DE BASE .....</b>                                                       | <b>6</b>  |
| 2.2.1 Insertion .....                                                                   | 6         |
| 2.2.2 Services .....                                                                    | 9         |
| 2.2.3 Stations .....                                                                    | 11        |
| 2.2.4 Intermodalité .....                                                               | 11        |
| 2.2.5 Retournements .....                                                               | 11        |
| 2.2.6 Garage-atelier .....                                                              | 12        |
| <b>2.3 PROJETS CONNEXES.....</b>                                                        | <b>12</b> |
| <b>3.0 PRINCIPES DE CONCEPTION D'UN TROLLEYBUS.....</b>                                 | <b>14</b> |
| <b>3.1 GÉNÉRALITÉS.....</b>                                                             | <b>14</b> |
| <b>3.2 MATÉRIEL ROULANT .....</b>                                                       | <b>15</b> |
| 3.2.1 Gabarits .....                                                                    | 15        |
| 3.2.2 Modes de propulsion .....                                                         | 16        |
| 3.2.3 Captation du courant .....                                                        | 18        |
| 3.2.4 Système de perches.....                                                           | 20        |
| 3.2.5 Performances .....                                                                | 22        |
| 3.2.6 Principales caractéristiques des véhicules offerts sur le marché.....             | 22        |
| <b>3.3 EXPLOITATION.....</b>                                                            | <b>24</b> |
| 3.3.1 Désaxement horizontal par rapport à la ligne aérienne de contact (LAC) .....      | 24        |
| 3.3.2 Spécificités d'exploitation par rapport à un autobus classique.....               | 24        |
| <b>3.4 ÉLECTRIFICATION .....</b>                                                        | <b>25</b> |
| 3.4.1 Système normatif applicable .....                                                 | 26        |
| 3.4.2 Description générale de l'alimentation de traction .....                          | 28        |
| 3.4.3 Pré-dimensionnement du réseau de traction .....                                   | 29        |
| 3.4.4 Raccordement au réseau Hydro-Québec.....                                          | 31        |
| 3.4.5 Types de Sous-Station de Redressement (SSR).....                                  | 32        |
| 3.4.6 Impacts de la traction électrique en courant continu .....                        | 34        |
| 3.4.7 Ligne aérienne de contact – LAC: .....                                            | 35        |
| 3.4.8 Types d'équipements de LAC .....                                                  | 36        |
| 3.4.9 Supports de LAC .....                                                             | 40        |
| <b>3.5 ENVIRONNEMENT CLIMATIQUE .....</b>                                               | <b>43</b> |
| 3.5.1 Paramètres climatiques à considérer .....                                         | 43        |
| 3.5.2 Mesures de lutte contre le givre .....                                            | 43        |
| <b>4.0 ANALYSE DE LA PRÉFAISABILITÉ TECHNIQUE DE L'ÉLECTRIFICATION DU SRB PIE-IX 45</b> |           |
| <b>4.1 COHABITATION BASES SUPPORTS DE LAC AVEC MASSIFS CSEM.....</b>                    | <b>46</b> |
| <b>4.2 COHABITATION LAC – FEUX DE CIRCULATION.....</b>                                  | <b>47</b> |
| <b>4.3 SECTION COURANTE MONTRÉAL – SITE BILATÉRAL "MEDIAN".....</b>                     | <b>48</b> |
| 4.3.1 Implantation des supports .....                                                   | 48        |
| <b>4.4 TRANSITION MÉDIANE - CENTRAL.....</b>                                            | <b>49</b> |

|             |                                                                                                                      |            |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4.5</b>  | <b>SECTION COURANTE MONTRÉAL – SITE CENTRAL.....</b>                                                                 | <b>50</b>  |
| 4.5.1       | Implantation des supports d'alimentation .....                                                                       | 50         |
| <b>4.6</b>  | <b>FRANCHISSEMENT DES STATIONS – SITE CENTRAL.....</b>                                                               | <b>53</b>  |
| <b>4.7</b>  | <b>FRANCHISSEMENT DES OUVRAGES D'ART À FAIBLE HAUTEUR À MONTRÉAL .....</b>                                           | <b>54</b>  |
| 4.7.1       | Franchissement du viaduc par le trolleybus .....                                                                     | 55         |
| 4.7.2       | Franchissement de la LAC par circulation transversale .....                                                          | 55         |
| <b>4.8</b>  | <b>PONT RELIANT MONTRÉAL À LAVAL (PONT PIE-IX).....</b>                                                              | <b>56</b>  |
| 4.8.1       | Implantation des supports de LAC .....                                                                               | 56         |
| 4.8.2       | Analyse de circulation et de sécurité .....                                                                          | 57         |
| <b>4.9</b>  | <b>SECTEUR AUTOROUTIER À LAVAL.....</b>                                                                              | <b>63</b>  |
| <b>4.10</b> | <b>FRANCHISSEMENT DE LA VOIE FERRÉE À LAVAL.....</b>                                                                 | <b>63</b>  |
| <b>4.11</b> | <b>SECTEUR EN SITE PROPRE À LAVAL .....</b>                                                                          | <b>64</b>  |
| <b>4.12</b> | <b>SECTEUR URBAIN À LAVAL .....</b>                                                                                  | <b>65</b>  |
| <b>5.0</b>  | <b>PROPOSITION DE MESURES DE MISE EN ŒUVRE DE L'ÉLECTRIFICATION .....</b>                                            | <b>66</b>  |
| <b>5.1</b>  | <b>SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE EN MATIÈRE D'AMÉNAGEMENTS .....</b>                                                         | <b>66</b>  |
| <b>5.2</b>  | <b>MESURES COMPLÉMENTAIRES NÉCESSAIRES À L'ÉLECTRIFICATION .....</b>                                                 | <b>67</b>  |
| 5.2.1       | Travaux nécessaires .....                                                                                            | 67         |
| 5.2.2       | Les équipements nécessaires .....                                                                                    | 70         |
| <b>5.3</b>  | <b>MESURES ÉVENTUELLES À METTRE EN PLACE LORS DES TRAVAUX INITIAUX DU SRB PIE-IX .....</b>                           | <b>71</b>  |
| <b>5.4</b>  | <b>EXEMPLES D'ILLUSTRATIONS DU TROLLEYBUS PIE-IX .....</b>                                                           | <b>72</b>  |
| <b>6.0</b>  | <b>ESTIMATION DES COÛTS DE MESURES PROPOSÉES.....</b>                                                                | <b>74</b>  |
| <b>6.1</b>  | <b>HYPOTHÈSES DE CALCUL.....</b>                                                                                     | <b>74</b>  |
| <b>6.2</b>  | <b>ESTIMATION DES COÛTS DES MESURES PROPOSÉES.....</b>                                                               | <b>74</b>  |
| <b>6.3</b>  | <b>ESTIMATION DES COÛTS DES MESURES PRÉLIMINAIRE À METTRE EN PLACE LORS DE LA<br/>RÉALISATION DU SRB PIE-IX.....</b> | <b>75</b>  |
| <b>7.0</b>  | <b>ÉLÉMENTS DE MISE EN ŒUVRE DU PROJET DE TROLLEYBUS PIE-IX.....</b>                                                 | <b>77</b>  |
| <b>8.0</b>  | <b>CONCLUSION.....</b>                                                                                               | <b>80</b>  |
| <b>1.0</b>  | <b>PANORAMA DES SYSTÈMES D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE .....</b>                                                         | <b>IV</b>  |
| <b>2.0</b>  | <b>LES TECHNOLOGIES DE STOCKAGE D'ÉNERGIE .....</b>                                                                  | <b>V</b>   |
| <b>3.0</b>  | <b>LES TYPES DE BIBERONNAGE.....</b>                                                                                 | <b>VII</b> |
| <b>4.0</b>  | <b>APPLICATION AU CAS DE PIE-IX .....</b>                                                                            | <b>IX</b>  |
| <b>4.1</b>  | <b>BESOINS ÉNERGÉTIQUES .....</b>                                                                                    | <b>IX</b>  |
| <b>4.2</b>  | <b>CONCLUSIONS.....</b>                                                                                              | <b>IX</b>  |

## Annexes

**A1 – Détail de l'estimation des coûts**

**A2 – Alternatives à la LAC pour l'alimentation électrique**

**Liste des tableaux**

|             |                                                                          |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Tableau 2.1 | Services projetés sur l'axe Pie-IX                                       |
| Tableau 3.1 | Principales caractéristiques de certains véhicules offerts sur le marché |
| Tableau 3.2 | Référentiel normatif du trolleybus                                       |
| Tableau 4.1 | Vitesse moyenne et écart-type des véhicules motorisés                    |
| Tableau 4.2 | Vitesse moyenne et écart-type des trolleybus                             |
| Tableau 4.3 | Analyse des conflits véhiculaires                                        |
| Tableau 5.1 | Synthèse des supports de LAC et bases nécessaires                        |
| Tableau 6.1 | Décomposition des coûts                                                  |

**Liste des figures**

|             |                                                                                              |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Figure 2.1  | Tracé retenu pour le SRB Pie-IX                                                              |
| Figure 2.2  | Scénario de base – Tracé à Laval                                                             |
| Figure 2.3  | Insertion Montée-Saint-François – Saint-Martin: site propre                                  |
| Figure 2.4  | Insertion Saint-Martin- Concorde: voie réservée sur accotement                               |
| Figure 2.5  | Insertion Pont Pie-IX                                                                        |
| Figure 2.6  | Insertion Mont-Royal – Henri-Bourassa: voie réservée centrale                                |
| Figure 2.7  | Insertion Mont-Royal – Henri-Bourassa: stations                                              |
| Figure 2.8  | Insertion Sherbrooke – Mont-Royal: transition voie réservée médiane / voie réservée centrale |
| Figure 2.9  | Insertion Notre-Dame – Sherbrooke: voie réservée médiane                                     |
| Figure 2.10 | Services prévus le long du corridor Pie-IX                                                   |
| Figure 2.11 | Projet de réaménagement Henri-Bourassa – Pie-IX                                              |
| Figure 3.1  | Fiche technique d'un trolleybus articulé de 18 m                                             |
| Figure 3.2  | Exemple de trolleybus articulé                                                               |
| Figure 3.3  | Exemple de trolleybus doublant un autobus                                                    |
| Figure 3.4  | Exemple de patin d'usure                                                                     |
| Figure 3.5  | Zone de captation du trolleybus                                                              |
| Figure 3.6  | Exemple de poste de perchage muni de « dièdres »                                             |
| Figure 3.7  | Exemple de déplacement latéral                                                               |
| Figure 3.8  | Localisation des sous-stations de redressement (SSR)                                         |
| Figure 3.9  | Principe de raccordement de chaque SSR à Hydro-Québec                                        |
| Figure 3.10 | Principe d'un seul raccordement à Hydro-Québec                                               |
| Figure 3.11 | Exemple d'une SSR préfabriquée                                                               |
| Figure 3.12 | Exemple d'une SSR classique                                                                  |

- Figure 3.13 Détail de la LAC
- Figure 3.14 Exemple de support central avec double potence
- Figure 3.15 Exemple de support latéral avec potence
- Figure 3.16 Exemple de supports latéraux avec câble transversal
- Figure 3.17 Exemple d'ancrage sous ouvrage d'art
- Figure 3.18 Détails de supports de LAC
- Figure 3.19 Spécificités techniques de supports de LAC
- Figure 4.1 Exemple de dimensions d'une base de support de LAC et cohabitation possible avec massif CSEM
- Figure 4.2 Exemple de la plaque de boulonnage d'un support de LAC
- Figure 4.3 Coupes-types de carrefours: cohabitation LAC – feux
- Figure 4.4 Accroche de LAC par support central et double potence
- Figure 4.6 Exemple d'accroche de LAC par support latéraux et câble transversal
- Figure 4.7 Prises de vue du viaduc de l'A-40
- Figure 4.8 Prise de vue du viaduc Industriel
- Figure 4.9 Profil en long à la hauteur du viaduc Industriel
- Figure 4.10 Exemple d'implantation des supports de LAC sur le pont Pie-IX
- Figure 4.12 Évolution temporelle d'un changement de voie
- Figure 4.13 Illustration d'un point de conflit lors d'un freinage brusque
- Figure 4.14 Évolution temporelle d'un freinage
- Figure 4.15 Exemple d'implantation des supports de LAC le long de l'autoroute à Laval
- Figure 4.16 Prise de vue de la voie ferrée à la hauteur de St-Martin
- Figure 4.17 Exemple d'implantation des supports de LAC le long du site propre à Laval
- Figure 5.2 Exemple d'illustrations du trolleybus Pie-IX - Beaubien
- Figure 5.3 Exemple d'illustrations du trolleybus Pie-IX - Fleury
- Figure 5.4 Exemple d'illustrations du trolleybus Pie-IX – Pont Pie-IX
- Figure 5.5 Exemple d'illustrations du trolleybus Pie-IX – Autoroute Laval

## 1.0 INTRODUCTION

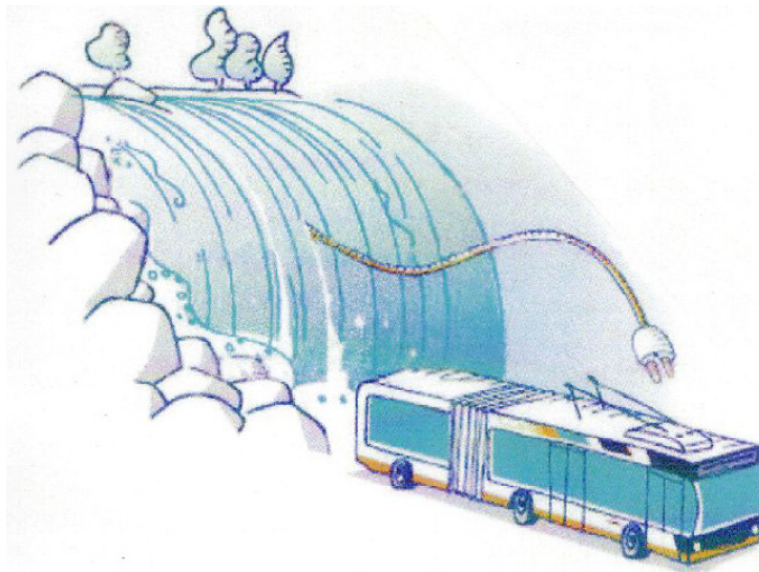
### 1.1 CONTEXTE

Dans le cadre de ses politiques environnementales et énergétiques, le gouvernement du Québec souhaite promouvoir l'électrification du transport collectif. Les villes de Montréal et de Laval, la STM et la STL, ainsi que Hydro-Québec soutiennent la même orientation, en accord avec leurs plans de développement durable<sup>1</sup>.

Dans le cadre de la réalisation du projet du SRB Pie-IX, l'AMT souhaite donc savoir s'il est possible de faire évoluer le projet de base du SRB Pie-IX vers un système de trolleybus, et à quel coût.

Ce document vise à évaluer la pré faisabilité technique d'électrifier le tracé du SRB Pie-IX pour permettre l'utilisation de trolleybus. Le document identifie, notamment, les infrastructures à implanter immédiatement en sus à celle qui sont prévues dans le cadre du dossier SRB par bus diesel, ainsi que les principaux enjeux liés à la mise en place d'un trolleybus.

Ainsi, l'AMT a mandaté le Consortium GENIVAR / CIMA+, actuellement en charge des études de faisabilité et d'avant-projet du développement du projet de SRB Pie-IX, pour réaliser l'étude relative à la pré faisabilité de l'électrification du corridor Pie-IX en vue de l'implantation d'un système de trolleybus. Afin de s'assurer d'une expertise trolleybus, le Consortium GENIVAR / CIMA+ s'est adjoint les services de CANARAIL / SYSTRA.



<sup>1</sup> MTQ: Stratégie gouvernementale de développement durable 2008-2013, Plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques, Stratégie de mobilité durable 2009-2013, Plan d'action de mobilité durable 2009-2013  
 Ville de Montréal: Plan de développement durable 2010-2015, Plan de transport de Montréal  
 Ville de Laval: Laval 2031 – Une Ville en mouvement – Plan de mobilité durable  
 STM: Plan stratégique 2020, Rapport de développement durable 2010, Plan d'affaires 2007-2011  
 STL: Étude de faisabilité et d'impacts portant sur la mise en place d'un réseau de trolleybus à Laval  
 Hydro-Québec: Plan d'action de développement durable 2009-2013, Le Plan d'action d'Hydro-Québec en matière d'électrification des transports terrestres

## 1.2 PORTÉE DU MANDAT

L'étude de pré faisabilité technique de l'électrification du SRB Pie-IX vise principalement à :

- Identifier les contraintes réglementaires liées à la réalisation du projet.
- Étudier la faisabilité technique d'électrifier le SRB Pie-IX;
- Déterminer les travaux additionnels nécessaires aux infrastructures à mettre en place pour le SRB Pie-IX et les mesures d'exploitation associées;
- Évaluer l'ampleur des coûts budgétaires strictement dédiés à l'électrification;
- Identifier les éléments de mise en œuvre du projet de trolleybus Pie-IX.

Cette étude d'électrification se base sur un scénario de référence, l'avant-projet préliminaire émis en septembre 2010, en ce qui concerne l'aménagement du SRB Pie-IX, ainsi que les services qui le desserviront.

L'étude de pré faisabilité technique vise à identifier les besoins en infrastructures et l'ampleur des enjeux qui y sont associés, à identifier la compatibilité de ces problématiques avec un système de trolleybus standard et, le cas échéant, à proposer des solutions de nature technique ou d'exploitation.

L'objectif du mandat n'est pas de justifier le projet d'électrification de l'axe Pie-IX ou du réseau de transport collectif de la STM, mais d'évaluer de la faisabilité technique d'un tel projet appliqué au seul axe Pie-IX. Il est également à souligner que la présente étude ne porte pas sur les éléments suivants :

- Analyse avantages-coûts;
- Insertion urbaine;
- Acceptation par la population;
- Écart de coûts pour les systèmes adjacents.

Dans le cadre de la présente étude, le périmètre d'analyse couvre l'axe du boulevard Pie-IX de la rue Notre-Dame au sud à Montréal jusqu'à la montée St-François au nord à Laval. .

## 1.3 MÉTHODOLOGIE

La méthodologie proposée pour réaliser cette étude repose sur les principales étapes suivantes:

1. Définition des éléments de base du projet;
2. Principes de conception d'un trolleybus;
3. Analyse de la faisabilité de l'électrification du corridor Pie-IX;
4. Analyse de sécurité routière sur le pont Pie-IX;
5. Proposition de mesures de mise en œuvre de l'électrification;
6. Estimation des coûts de mesures proposées pour l'électrification;
7. Éléments liés à l'électrification du SRB Pie-IX;
8. Conclusions.

La Société de transport de Laval a mené en 2010 une étude exhaustive sur la faisabilité de l'implantation d'un réseau de trolleybus (SNC Lavalin: Étude de faisabilité et d'impacts sur l'implantation d'un réseau de trolleybus à Laval – STL, septembre 2010). La présente étude de l'électrification du SRB Pie-IX effectue un survol plus synthétique des éléments de conception d'un trolleybus. Pour plus de détails, le lecteur pourra se référer à l'étude de la STL.

## 2.0 DÉFINITION DES ÉLÉMENTS DE BASE DU PROJET

Avant de se lancer dans l'étude détaillée de l'électrification du corridor Pie-IX, il s'agit tout d'abord de bien définir les éléments de base du projet et les limites de la présente étude. Ainsi, cette première étape du mandat consiste à:

- Définir le projet de SRB Pie-IX:
  - ▶ Périmètre d'intervention;
  - ▶ Tracé retenu.
- Définir le scénario de base de la desserte du corridor Pie-IX (STM, STL, CIT), notamment en terme de:
  - ▶ Insertion;
  - ▶ Itinéraires des différents services;
  - ▶ Fréquences aux périodes de pointe;
  - ▶ Localisation des stations;
  - ▶ Points de correspondance;
  - ▶ Retournement(s).
- Identifier les projets connexes pouvant avoir un impact sur le projet Pie-IX.

### 2.1 PÉRIMÈTRE D'INTERVENTION ET TRACÉ RETENU

Le périmètre d'intervention concerné dans la présente étude comprend l'itinéraire du projet de SRB Pie-IX sur les territoires de Laval et de Montréal, sur une distance de 14,3 km, à savoir (voir la Figure 2.1 ci-après):

- Le boulevard Pie-IX de Notre-Dame à Gouin;
- La route 125 entre la rivière des Prairies et le boulevard Saint-Martin,
- Le site propre SRB entre le boulevard Saint-Martin et le terminus de la Montée Saint-François.

Le périmètre d'études comprend également les échangeurs de la route 125 où le SRB va effectuer des arrêts (Concorde, Saint-Martin).

Au niveau du site propre SRB à Laval, le scénario 7 est considéré dans la présente étude (voir la Figure 2.2 ci-après).



**Figure 2.1**  
**Tracé retenu pour le SRB Pie-IX**

**DÉVELOPPEMENT DU PROJET PIE-IX**  
Étude de faisabilité et avant-projet  
Étude de préfaisabilité de l'électrification

**Figure 2.2**  
**Scénario de base -**  
**Tracé du tronçon Laval**

(Les dimensions sont en mètres)

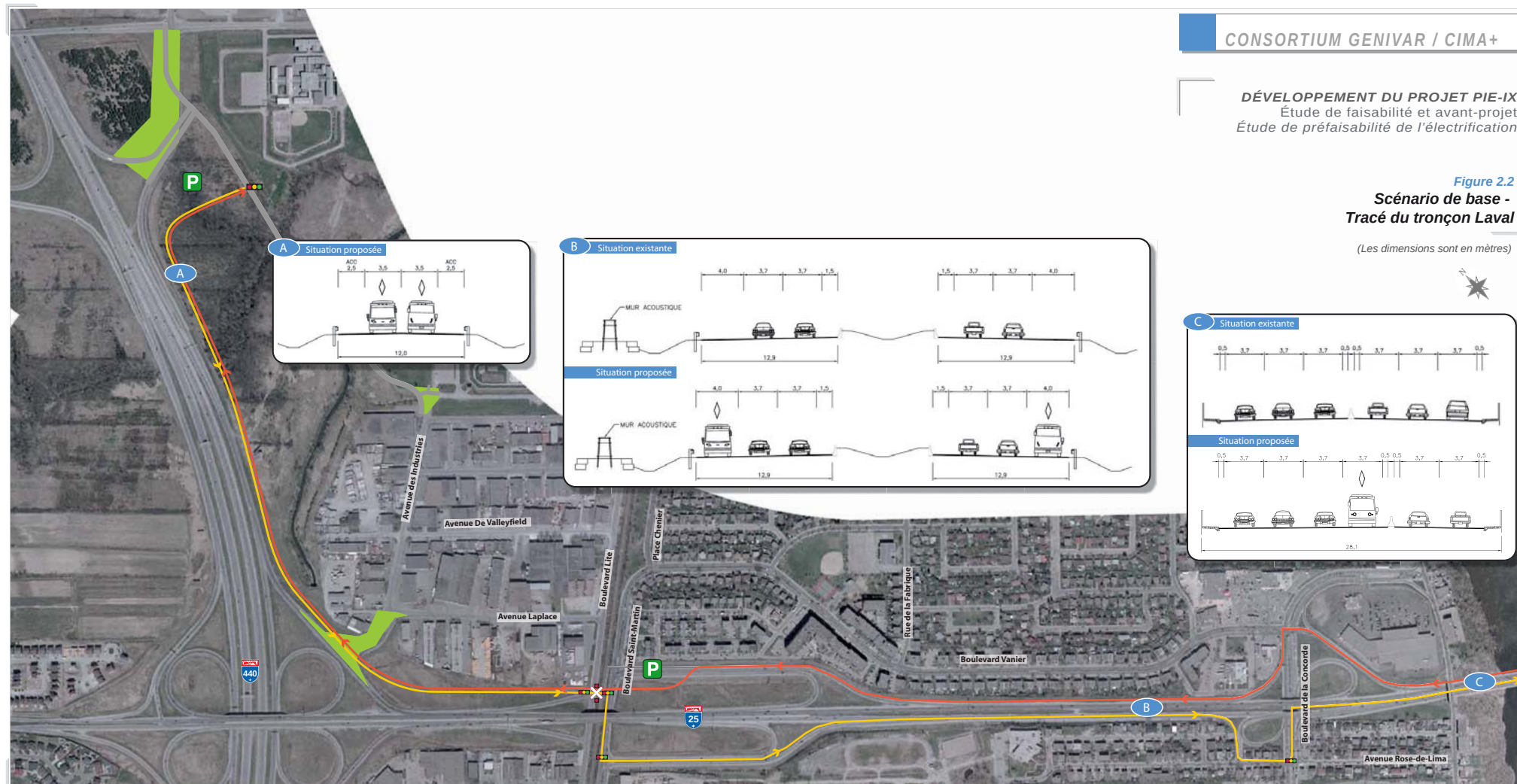


**Figure 2.1**      **Tracé retenu pour le SRB Pie-IX**

## 2.2 SCÉNARIO DE BASE

### 2.2.1 Insertion

Les insertions suivantes du SRB Pie-IX sont considérées (voir les Figure 2.3 à Figure 2.9):

- Tronçon Montée-Saint-François – Saint-Martin: site propre;
- Tronçon Saint-Martin - Concorde: voie réservée sur accotement de l'autoroute;
- Tronçon Concorde - Henri-Bourassa:
  - ▶ Direction nord: site banal sur l'autoroute (2 voies de circulation);
  - ▶ Direction sud: voie réservée centrale
- Tronçon Henri-Bourassa - Mont-Royal: voie réservée centrale;
- Tronçon Mont-Royal - Sherbrooke: transition voie réservée médiane – voie réservée centrale;
- Tronçon Sherbrooke - Notre-Dame: voie réservée médiane.

Ainsi, deux voies de circulations seront maintenues sur le boulevard Pie-IX entre Henri-Bourassa et Sherbrooke, alors qu'il n'y en aura plus qu'une entre Sherbrooke et Notre-Dame, avec voies auxiliaires de virage à droite et à gauche.

**Figure 2.3 Insertion Montée-Saint-François – Saint-Martin: site propre**

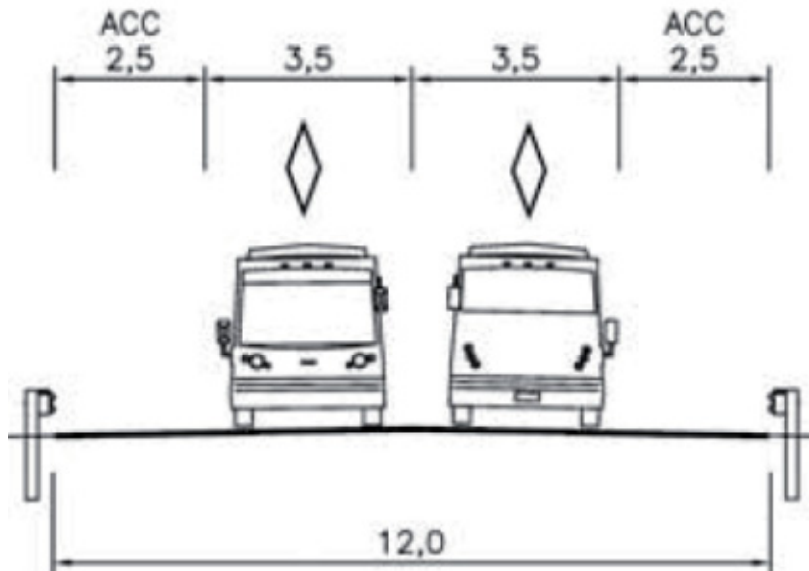


**Figure 2.4 Insertion Saint-Martin- Concorde: voie réservée sur accotement**

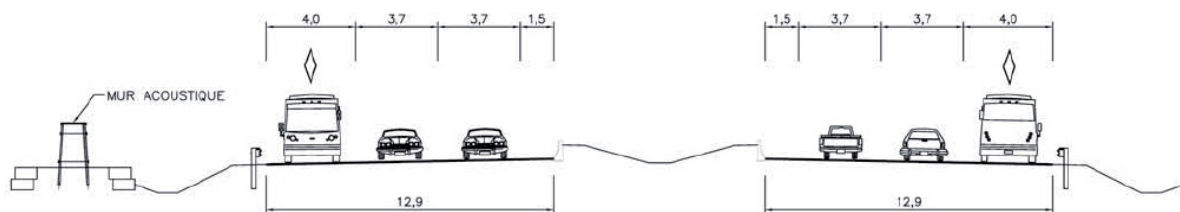


**Figure 2.5 Insertion Pont Pie-IX**

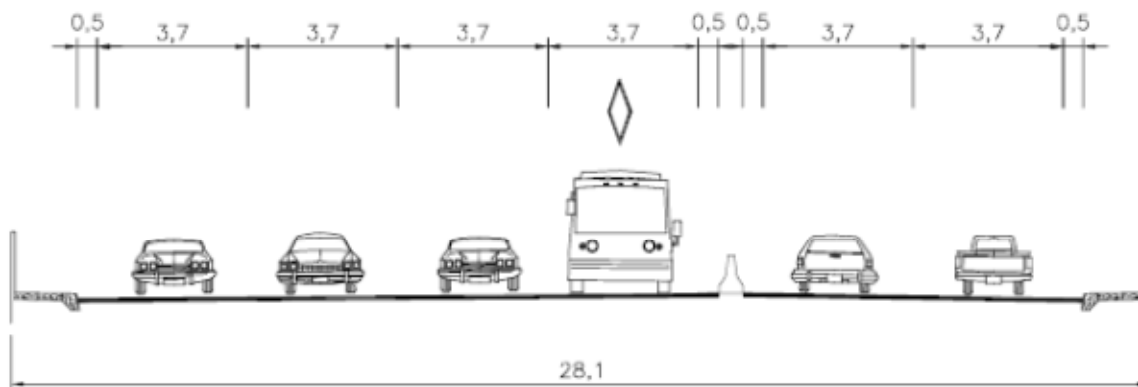


**Figure 2.6 Insertion Mont-Royal – Henri-Bourassa: voie réservée centrale**

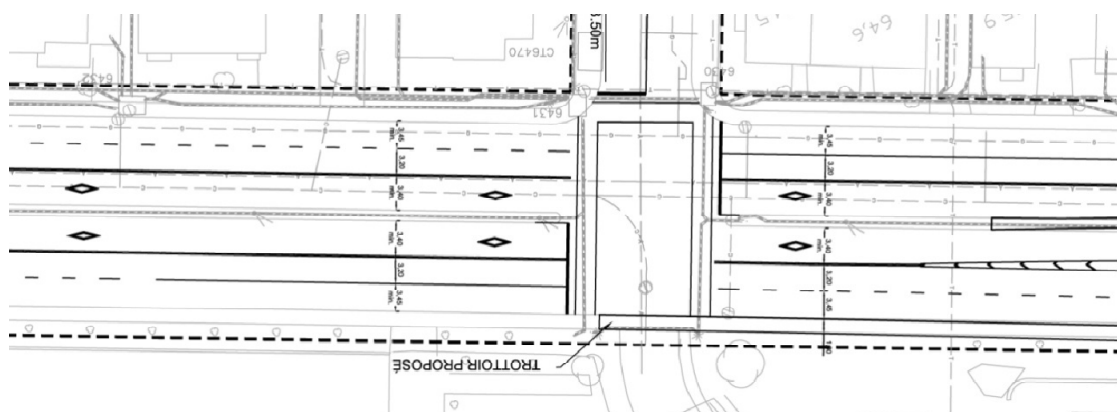


**Figure 2.8 Insertion Sherbrooke – Mont-Royal:**  
transition voie réservée médiane / voie réservée centrale

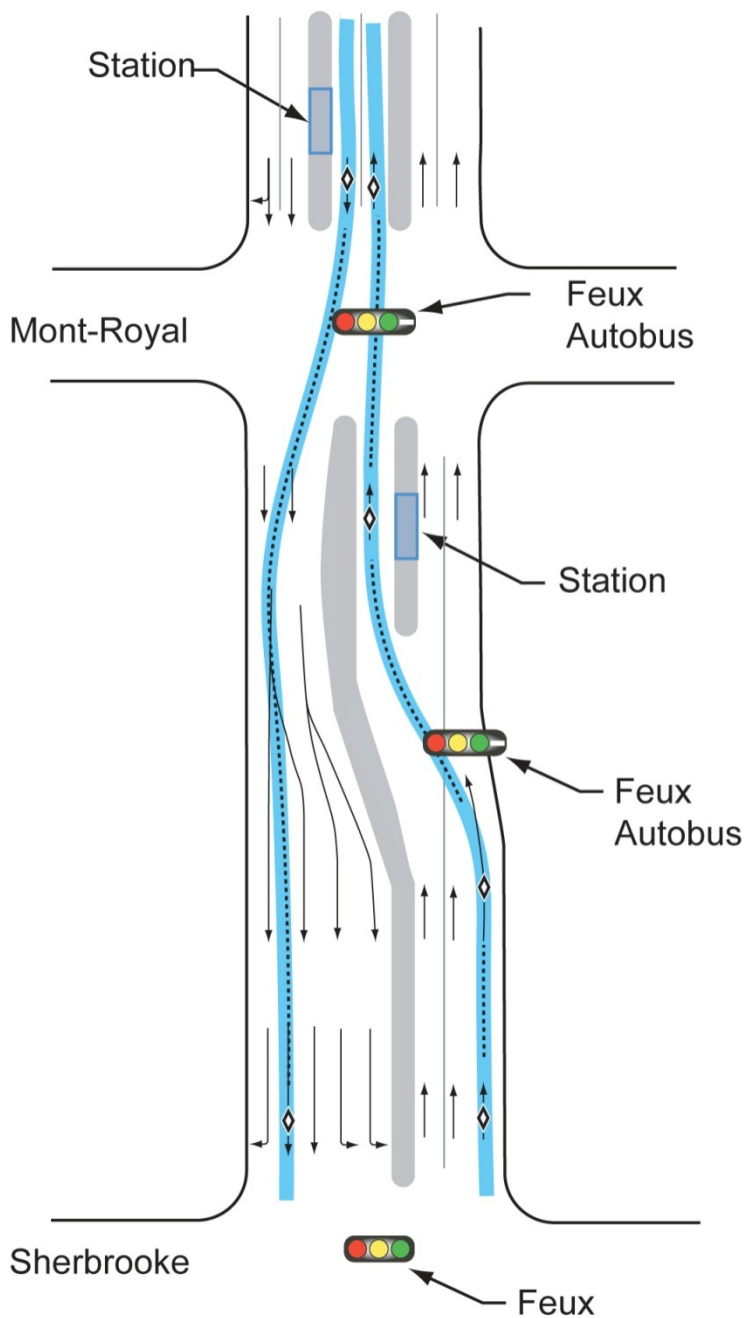
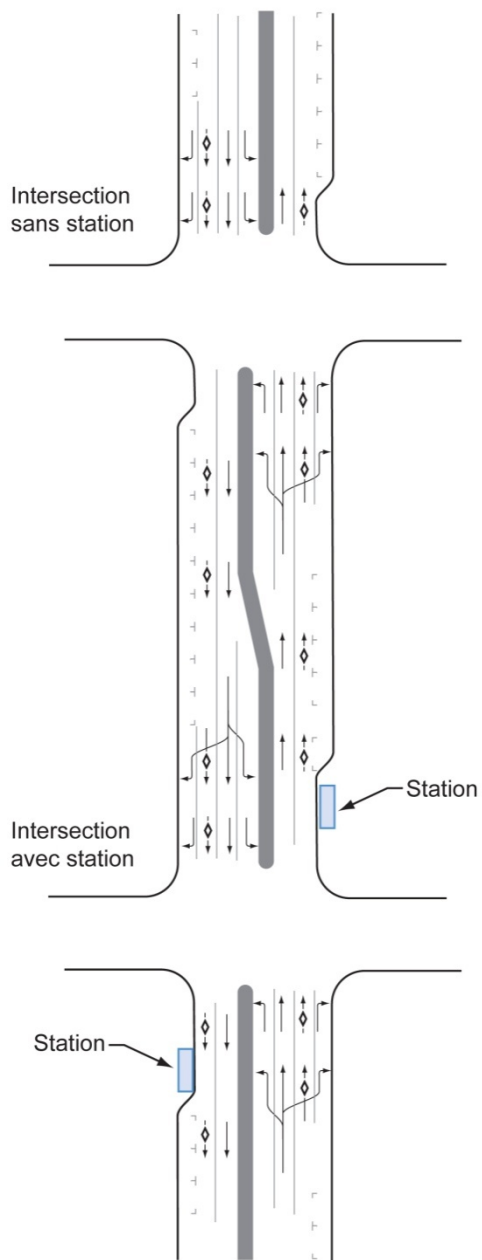


**Figure 2.9 Insertion Notre-Dame –**  
Sherbrooke: voie réservée médiane



## 2.2.2 Services

En ce qui concerne la desserte de l'axe Pie-IX, les différents services suivants sont projetés (voir la Figure 2.10):

**Tableau 2.1 Services projetés sur l'axe Pie-IX**

| N° du service     | Opérateur | Point d'injection     | Point de sortie     | Fréquence prévue aux périodes de pointe (bus/h/sens) | Service  | Potentiel d'utilisation |
|-------------------|-----------|-----------------------|---------------------|------------------------------------------------------|----------|-------------------------|
| Pie-IX            | STM       | Montée Saint-François | Pierre-de-Coubertin | 10                                                   | Nouveau  | Trolleybus              |
| 52 / 252          | STL       | Concorde              | Monselet            | 6                                                    | Existant | Autobus                 |
| Concorde – Pie-IX | STL       | Concorde              | Jean-Talon          | 6                                                    | Nouveau  | Autobus                 |
| 507               | STM       | Henri-Bourassa        | Jean-Talon          | 11                                                   | Nouveau  | Trolleybus bi-mode      |
| 509               | STM       | Henri-Bourassa        | Notre-Dame          | 21                                                   | Nouveau  | Trolleybus bi-mode      |
| 508               | STM       | Jean-Talon            | Notre-Dame          | 31                                                   | Nouveau  | Trolleybus bi-mode      |

Il est à noter que ces services sont prévus avec le prolongement de la ligne bleue du métro jusqu'à Pie-IX et le réaménagement de la rue Notre-Dame avec des voies réservées pour le transport collectif.

Ainsi, on retrouve l'achalandage total suivant d'autobus aux périodes de pointe, le long du parcours du SRB Pie-IX:

- Pont Pie-IX: 22 bus/h/sens
- De Castille: 54 bus/h/sens
- Jarry: 48 bus/h/sens
- Rosemont: 62 bus/h/sens
- Ontario: 52 bus/h/sens

A l'heure actuelle, les services qui seraient électrifiés ne sont pas connus, mais dans tous les cas il ne s'agira pas de l'ensemble des services empruntant l'axe du SRB Pie-IX. Ainsi il y aura une mixité de services par véhicules électriques (trolleybus) et diesel sur l'axe Pie-IX.

Pour l'instant, la STM ne souhaite pas quantifier le nombre de trolleybus qui pourrait être utilisé sur l'axe Pie-IX. Elle va effectuer dans les prochains mois une étude qui déterminera le nombre de trolleybus possible sur l'axe Pie-IX ainsi que les coûts associés. Du côté de la STL, les trolleybus ont été étudiés mais n'ont pas été retenus pour leur réseau de transport. Dans la présente étude, le nombre identifié (85<sup>2</sup>) trolleybus sur Pie-IX représente une référence probable et une hypothèse pour les fins d'estimation. Ce nombre représente un écart entre le projet d'origine SRB (avec les autobus existants) et la mise en place d'un SRB électrifié avec trolleybus.

<sup>2</sup> 85 véhicules correspondent au parc de matériel roulant nécessaire à opérer deux lignes de ~20km de longueur avec une fréquence cumulée de l'ordre de 2 minutes sur l'axe Pie-IX

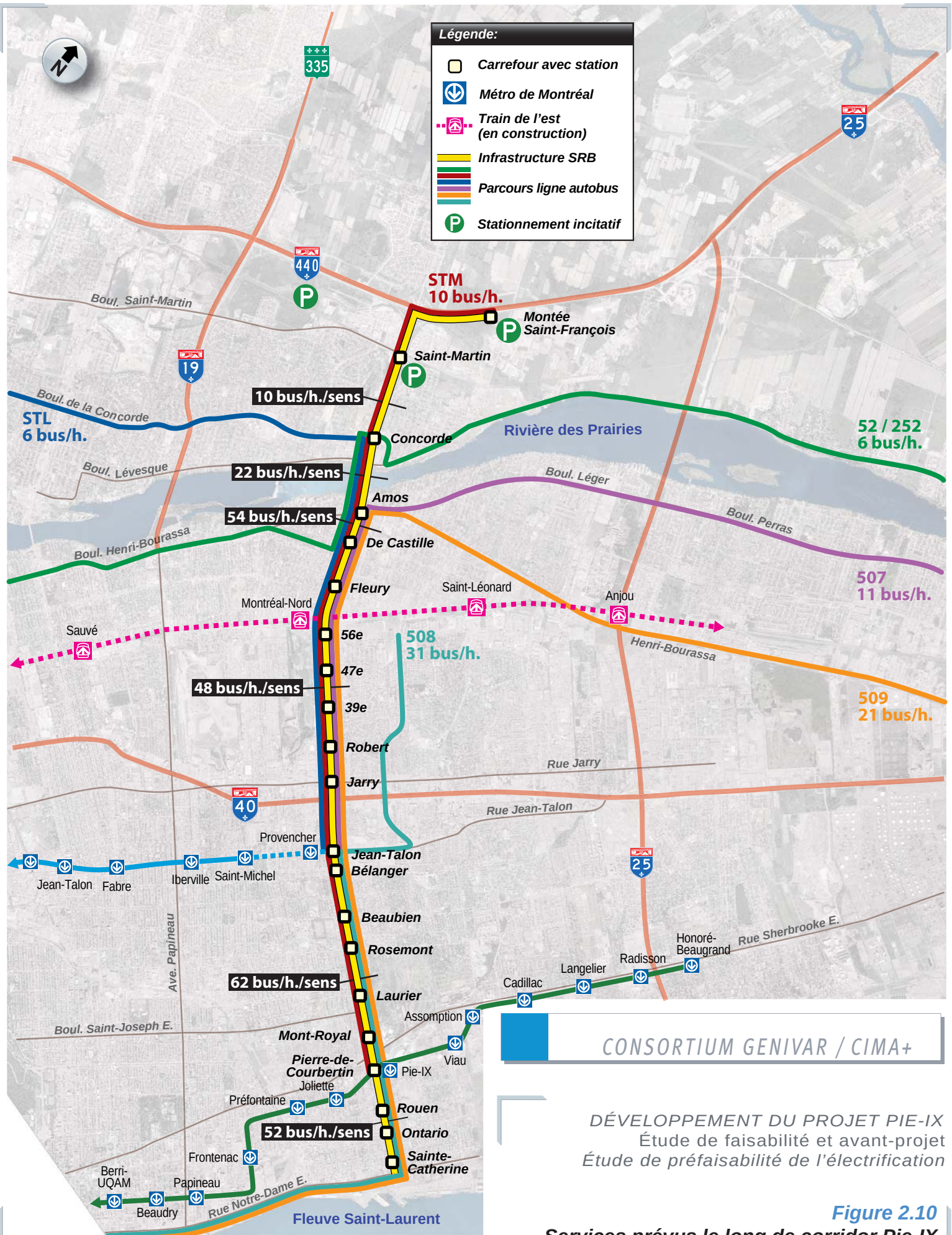


**Figure 2.10**  
**Services prévus le long de corridor Pie-IX**

### 2.2.3 Stations

Les 21 stations suivantes sont prévues le long du parcours du SRB Pie-IX, pour une inter-station moyenne de 715m:

- |                         |                       |                       |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| • Montée Saint-François | • 47 <sup>e</sup> rue | • Rosemont            |
| • Saint-Martin          | • 39 <sup>e</sup> rue | • Laurier             |
| • Concorde              | • Robert              | • Mont-Royal          |
| • Amos                  | • Jarry               | • Pierre-de-Coubertin |
| • De Castille           | • Jean-Talon          | • Rouen               |
| • Fleury                | • Bélanger            | • Ontario             |
| • 56 <sup>e</sup> rue   | • Beaubien            | • Sainte-Catherine    |

### 2.2.4 Intermodalité

Au niveau de l'intermodalité, les infrastructures et points d'échanges suivants sont prévus:

- Stationnement incitatif à la Montée-Saint-François;
- Stationnement incitatif à Saint-Martin;
- Gare Montréal-Nord du train de l'Est à la hauteur de la 56<sup>e</sup> rue (2013);
- Station de la ligne bleue du métro sur Jean-Talon (pas d'horizon défini);
- Station de la ligne verte du métro sur Pierre-de-Coubertin.

### 2.2.5 Retournements

Les services qui seront électrifiés ne sont pas encore définis. Cependant il est raisonnable de prévoir des retournements d'autobus le long de l'axe Pie-IX aux extrémités des lignes:

- Montée-Saint-François;
  - ▶ ligne Pie-IX (STM).
- Jean-Talon:
  - ▶ ligne 507 (STM);
  - ▶ ligne Concorde-Pie-IX (STL);
- Pierre-de-Coubertin:
  - ▶ ligne Pie-IX (STM).

En extrémité de ligne à Laval, le retournement s'effectue via une boucle de retournement électrifiée, aménagée dans le pôle d'échange.

À Montréal, les retournements s'effectuent via une boucle utilisant la trame de rues locales orthogonales. Dans le cadre du présent mandat d'électrification, il n'est pas prévu d'électrifier l'ensemble du trajet de retournement. Seul un court tronçon en sortie et en accès du boulevard Pie-IX sera équipé sur les rues transversales, afin de faciliter les manœuvres de déperchage et d'accrochage des perches.

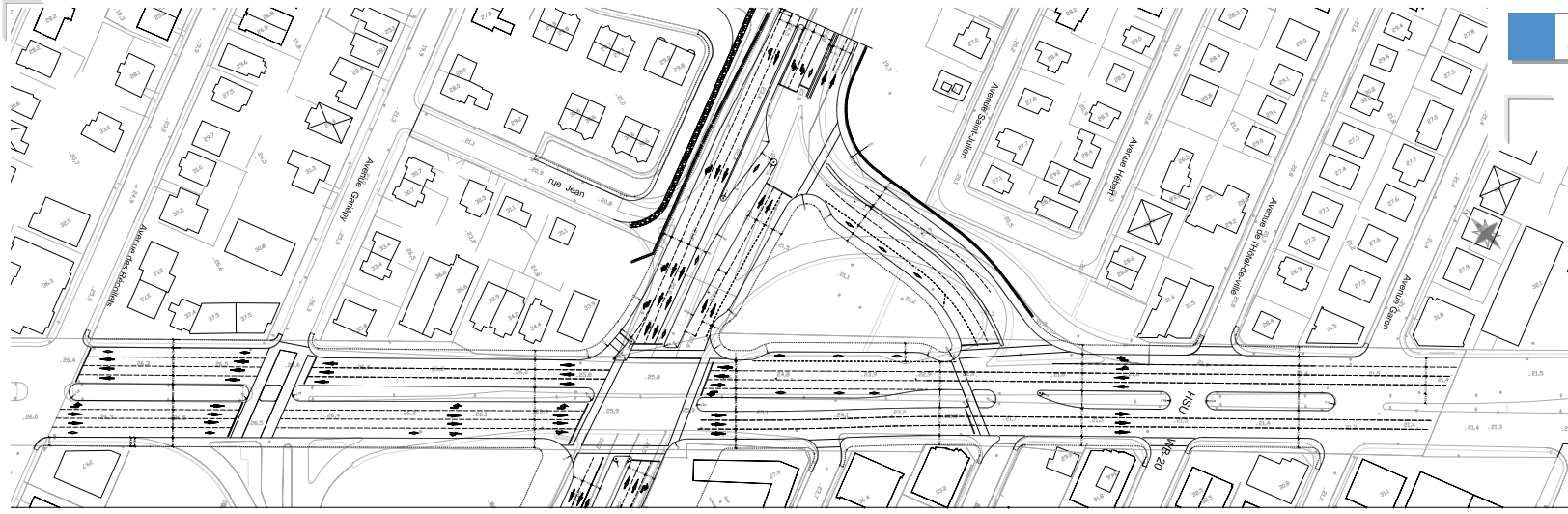
### 2.2.6 Garage-atelier

À l'heure actuelle, aucune étude de localisation d'un garage-atelier pour un réseau de trolleybus n'a été menée par la STM. Pour les besoins de la présente étude, il est considéré que le garage-atelier du SRB Pie-IX ne sera pas localisé le long du corridor, mais à une distance raisonnable pour permettre son accès avec des trolleybus fonctionnant sur l'APU. Tous les travaux reliés au garage-atelier, ainsi que les coûts associés, ne font pas partie du présent mandat. La STM évaluera ces éléments dans le cadre des travaux qu'elle effectuera en soutien à la préparation de son rapport d'implantation d'un réseau de trolleybus.

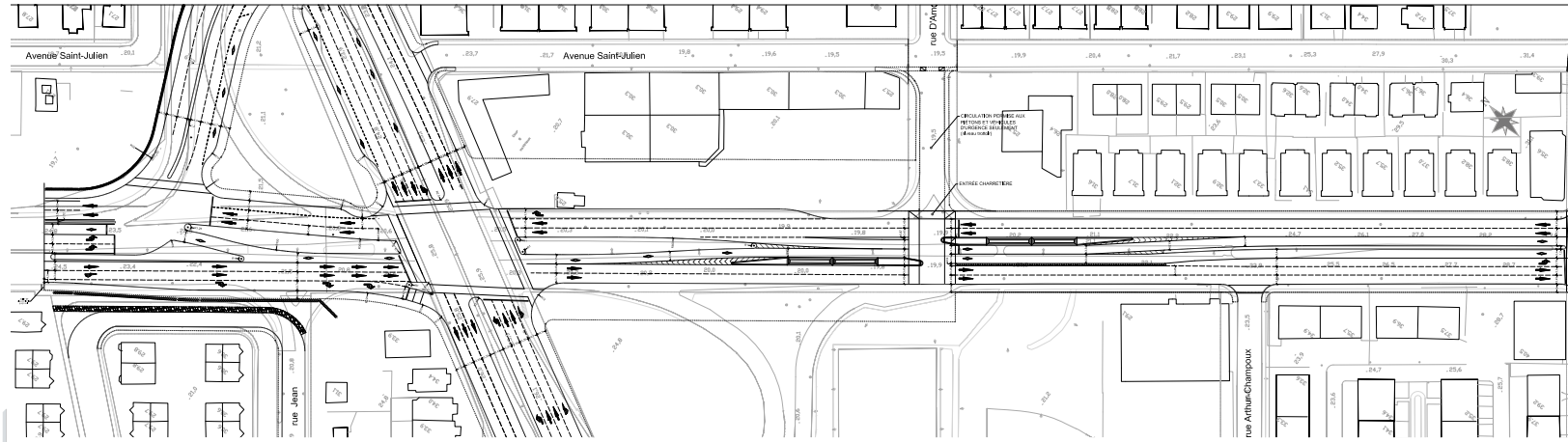
## 2.3 PROJETS CONNEXES

Deux projets connexes touchent directement au tracé du SRB Pie-IX:

- Le réaménagement de l'échangeur Pie-IX – Henri-Bourassa. Dans le cadre de ce projet, la Ville de Montréal prévoit transformer l'échangeur en carrefour urbain à niveau (voir la Figure 2.11 ci-après). Cependant, ce projet ne devrait pas modifier les aménagements proposés pour la voie réservée centrale sur Pie-IX;
- La réfection du pont Pie-IX. Dans le cadre de ce projet le MTQ souhaite effectuer une réfection complète du pont Pie-IX (tablier) et d'apporter les aménagements nécessaires au projet du SRB Pie-IX (déplacement de la glissière rigide médiane – glissière médiane rigide). Dans le cadre de ce projet, le MTQ souhaite notamment abaisser la vitesse à 70 km/h sur ce tronçon, actuellement limité à 80 km/h.



HENRI-BOURASSA



BOUL. PIE-IX

CONSORTIUM GENIVAR / CIMA+

**DÉVELOPPEMENT DU PROJET PIE-IX**  
Étude de faisabilité et avant-projet  
Étude de préfaisabilité de l'électrification

**Figure 2.11**  
Projet de réaménagement de l'échangeur  
Henri-Bourassa - Pie-IX

### 3.0 PRINCIPES DE CONCEPTION D'UN TROLLEYBUS

Afin de pouvoir valider la compatibilité du projet SRB Pie-IX avec une électrification de l'axe, il est important de bien définir les paramètres techniques à mettre en place. Ainsi, cette seconde étape du mandat consiste à définir les principaux principes de conception standards d'un trolleybus. Au-delà des éléments standards, il est important d'identifier les marges de manœuvre de certains paramètres techniques qui peuvent s'avérer critiques dans le cadre particulier du projet Pie-IX, et ce, en fonction de paramètres standards parfois très conservateurs pour la mise en place d'un trolleybus. Les principaux éléments à définir sont:

- Le matériel roulant;
- L'exploitation;
- L'électrification;
- Le référentiel normatif;
- L'environnement climatique.

#### 3.1 GÉNÉRALITÉS

Un trolleybus est un véhicule routier sur pneumatique, de type autobus à propulsion électrique qui est alimenté par une caténaire bifilaire, généralement dénommée « ligne aérienne de contact » ou LAC, dont la tension nominale est généralement de 600 ou 750 V DC. Une tension de 750 V DC a été retenue pour l'axe Pie-IX. Cette tension est la plus couramment utilisée par les nouveaux réseaux de trolleybus qui n'ont pas à se soucier de compatibilité avec le matériel existant conçu pour une tension moins élevée. Ce choix vise à permettre des économies dans les coûts de construction des infrastructures (conducteurs de section plus faible, supports de LAC et fondations plus petits). Cette ligne aérienne de contact est constituée de 2 conducteurs, soit un positif et un neutre. En effet, le trolleybus étant équipé de pneumatiques, le retour du courant ne peut se faire par les roues et se fait donc par une seconde caténaire parallèle à la première. L'énergie électrique nécessaire pour la traction et pour les systèmes auxiliaires (système hydraulique et pneumatique, contrôle du véhicule, chauffage, climatisation, recharge des batteries, SIAV, etc.) est captée à l'aide de deux perches dont les extrémités frottent sur chacun des deux fils caténaires.

L'avantage essentiel du trolleybus demeure sa motorisation électrique, qui est non polluante et silencieuse. De plus, la durée de vie des véhicules est plus longue que celle des autobus, les caisses étant renforcées. Le coût d'exploitation est de ce fait inférieur (dépendant du prix relatif du carburant et du courant électrique). L'économie d'énergie engendrée par le trolleybus est d'autant plus importante que les moteurs électriques ont un rendement bien supérieur aux moteurs thermiques. De plus, les trolleybus modernes peuvent être équipés de systèmes permettant d'utiliser les moteurs de traction comme générateurs lors du freinage et de récupérer l'énergie ainsi produite afin qu'elle puisse être soit stockée dans des batteries ou des condensateurs à bord du véhicule, soit réinjectée dans la LAC pour être utilisée par d'autres véhicules accélérant au même moment.

La mise en place d'un SRB électrifié par trolleybus nécessite un coût d'investissement plus important qu'un SRB standard car qu'il faut construire une LAC, mais aussi parce que les trolleybus sont plus chers que les autobus (caisses plus robustes, isolation électrique, propulsion auxiliaire). De plus, la LAC pose un enjeu en termes d'aménagement urbain.

## 3.2 MATÉRIEL ROULANT

### 3.2.1 Gabarits

Les trolleybus existent en 3 tailles standards:

- Véhicule standard à 2 essieux: 12 m (40');
- Véhicule articulé à 3 essieux: 18 m (60');
- Véhicule bi-articulé à 4 essieux: 24 m (80').

Dans le cadre du présent mandat, des trolleybus articulés de 18 m (60'), ayant une capacité de 100 à 115 passagers (avec 4 passagers debout par m<sup>2</sup> de plancher) et comportant trois ou quatre portes sont considérés, tels que celui montré à la Figure 3.1 ci-après.

**Figure 3.1** Fiche technique d'un trolleybus articulé de 18 m

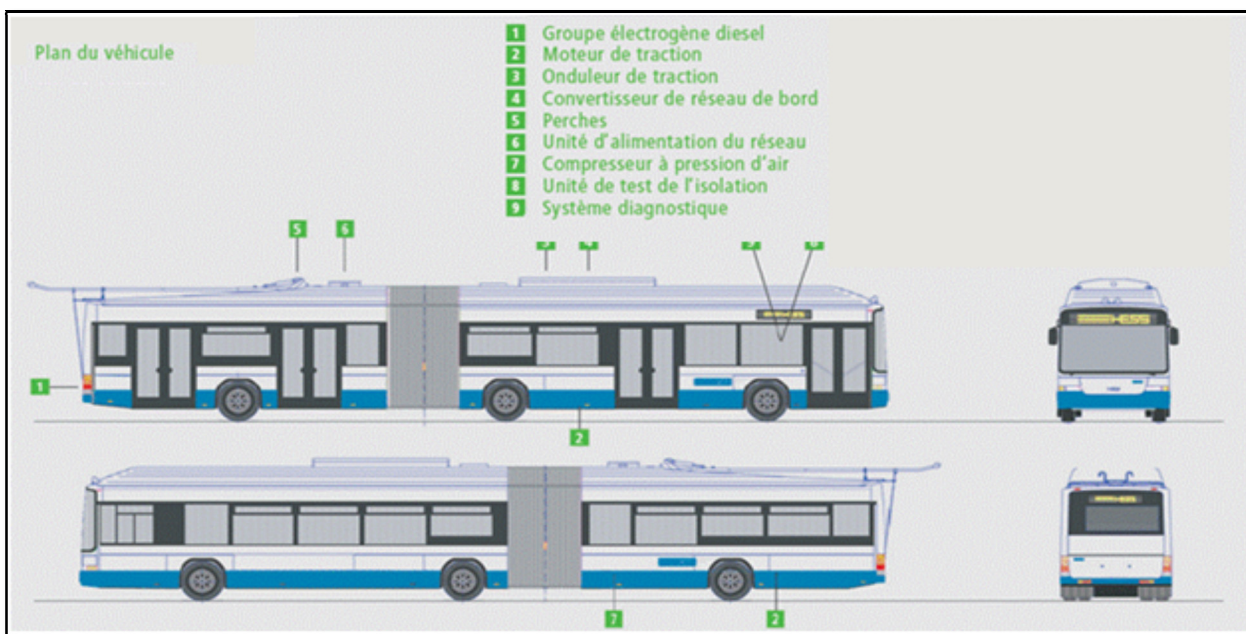


**Figure 3.2** Exemple de trolleybus articulé



### 3.2.2 Modes de propulsion

#### **SYSTÈME DE PROPULSION PRINCIPAL**

En matière de propulsion électrique les véhicules articulés sont équipés d'un moteur électrique, généralement monté sur l'essieu arrière, ou de deux moteurs, montés respectivement sur les essieux arrière et médian.

Les trolleybus offerts sur le marché utilisent presque exclusivement des moteurs asynchrones (AC) alimentés par des convertisseurs utilisant la technologie IGBT, qui transforment le courant continu de 750 V DC fourni par la LAC en courant alternatif triphasé nécessaire pour le fonctionnement des moteurs de traction. La puissance nominale des moteurs de traction varie de 160 à 240 kW lorsqu'un seul moteur est utilisé. Elle est généralement de 160kW par moteur lorsque deux moteurs de traction sont utilisés.

Un convertisseur IGBT séparé est utilisé pour fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement des systèmes auxiliaires (chauffage, climatisation, éclairage, systèmes pneumatiques et hydrauliques, etc) nécessaires au fonctionnement du véhicule et au confort des passagers.

#### **SYSTÈME DE PROPULSION AUXILIAIRE**

Les véhicules sont également équipés, en option, d'un système de propulsion auxiliaire (auxiliary power unit ou APU) pour leur permettre de fonctionner sans la LAC, en cas de rupture de l'alimentation électrique, d'incident sur le parcours ou pour effectuer un trajet en dehors de la couverture du réseau de LAC (franchissement de zones à gabarit vertical restreint ou de zones où la présence de la LAC pose des problèmes particuliers, trajet entre la ligne et le centre de maintenance, etc.).

L'APU peut être soit de type « stockage d'énergie », utilisant des batteries et/ou des super-condensateurs, soit de type « production d'énergies », constitué par un groupe électrogène dont l'énergie est produite par un moteur thermique, généralement de type diesel.

Des APU constitués de batteries sont offerts par la majorité des manufacturiers. Ils ont l'avantage d'être simples et de nécessiter peu d'entretien. Bien que les batteries qu'ils utilisent soient de plus en plus performantes, ils fournissent une autonomie relativement limitée, de l'ordre de 2 à 3 kilomètres pour les plus vieilles technologies utilisant des piles Ni-Cd. Cette autonomie est supérieure pour les piles de technologies plus récentes, de type Ni-MH et Li-ion, qui sont toutefois sensiblement plus chères et pour lesquelles il y a encore peu de retour d'expérience sur des applications trolleybus.

Des APU utilisant des super-condensateurs sont également offerts en option par les manufacturiers, mais ces systèmes ont des limites d'autonomie de l'ordre de 0,5 à 1 km.

Les APU utilisant des groupes électrogènes sont offerts par la majorité des manufacturiers, dans une gamme de puissances allant de 50 à 200 kW. Ce type d'APU offre une autonomie beaucoup plus grande que ceux de type « stockage d'énergie », limitée essentiellement par la quantité de carburant transportée. Bien que les groupes électrogènes de plus faible puissance constituent des alimentations de secours, les APU de plus grande puissance (150 à 200 kW) peuvent permettre le fonctionnement régulier de véhicules sur de courts tronçons de la ligne qui ne seraient pas électrifiés. Les APU de type « production d'énergie » font appel à des technologies éprouvées et sont moins chers à l'achat que des systèmes utilisant des batteries. Ils sont toutefois plus encombrants (surtout pour ceux de plus

grande puissance) et nécessitent plus d'entretien que les systèmes utilisant des batteries et leur utilisation produit des émissions polluantes.

En résumé l'autonomie offerte par les différents types de systèmes APU est la suivante :

- Super-condensateurs : de 0,5 à 1,0 km
- Batteries : de 2 à 3 km avec des batteries Ni-Cad et un peu plus avec des batteries Ni-Mh ou Li-ion
- Groupe électrogène (moteur thermique) : 100 km et plus.

Tel que spécifié par la STM, certains manufacturier prétendent obtenir des performances qui dépassent les autonomies présentées précédemment. De plus, les récents progrès relatifs au stockage d'énergie laissent croire que l'autonomie hors caténaire pourra s'améliorer dans les prochaines années.

Compte tenu des spécifications intrinsèques à la conception, aux progrès technologiques et l'exploitation d'un réseau de trolleybus, il est trop tôt pour statuer sur l'autonomie réelle de trolleybus équipés d'un APU. Les éléments opérationnels, par exemple les boucles de retournement ou les distances d'accès aux centres d'entretien, doivent être considérés afin d'établir l'autonomie hors caténaire nécessaire pour les véhicules. Toutes ces considérations conduiront à des choix et des compromis qui fixeront les limites du système.

Outre l'autonomie permise par la propulsion auxiliaire, le paramètre important est la puissance délivrée par cette propulsion auxiliaire. Il existe en ce domaine une double alternative :

- Le module de propulsion auxiliaire délivre une **puissance limitée** (batteries, petit moteur thermique). Dans ce cas, cette propulsion auxiliaire est conçue comme un **mode de secours** qui ne doit être utilisé que exceptionnellement et sur de courtes distances, en ligne en cas d'avarie, dans l'atelier, etc. Elle ne permet de faire rouler le trolleybus qu'à vitesse limitée. De plus, dans le cas de petits moteurs thermiques, ils sont très consommateurs de carburant et très bruyant en fonctionnement;
- Le module de propulsion auxiliaire délivre une **puissance importante**, permettant d'exploiter le trolleybus avec ses performances normales sur une longue durée. De tels modèles de trolleybus sont appelés **bi-mode** et sont munis de deux chaînes de traction indépendantes: moteur diesel avec boîte de vitesses, d'une part, et équipement électrique de trolleybus, d'autre part. Ils peuvent ainsi parcourir des sections de lignes (antennes terminales par exemple) non pourvues de ligne de contact (ancien réseau de Nancy, par exemple). Les trolleybus bi-mode permettent des conditions d'exploitation très vastes.

Dans le cas du SRB Pie-IX seul, les caractéristiques évoquées précédemment militent clairement pour l'équipement du parc en trolleybus bi-mode : boucles de retournement non électrifiées, atelier-garage éloigné et exploitation de lignes dont les trajets terminaux ne sont pas forcément électrifiés.

La STM, dans le cadre des travaux qu'elle effectuera en soutien à la préparation de son rapport d'implantation d'un réseau de trolleybus, va statuer sur le type d'APU qui sera le plus efficace pour ses opérations.

### 3.2.3 Captation du courant

Les perches sont fixées sur le toit vers l'arrière du véhicule.

Ces perches ont une assez grande longueur, afin de pouvoir capter le courant en souplesse sur une plage étendue de hauteur de LAC suivant les conditions d'insertion, ainsi que pour accepter un débattement latéral.

Ce débattement latéral est nécessaire à l'exploitation courante du véhicule, puisque celui-ci n'est pas guidé et ne peut donc jamais parfaitement suivre la trajectoire de la LAC. Ce débattement latéral est conçu aussi pour permettre au trolleybus de se déboîter pour dépasser un véhicule à l'arrêt (en pratique, le trolleybus doit pouvoir doubler un autre véhicule arrêté sans quitter la LAC).

**Figure 3.3 Exemple de trolleybus doublant un autobus**



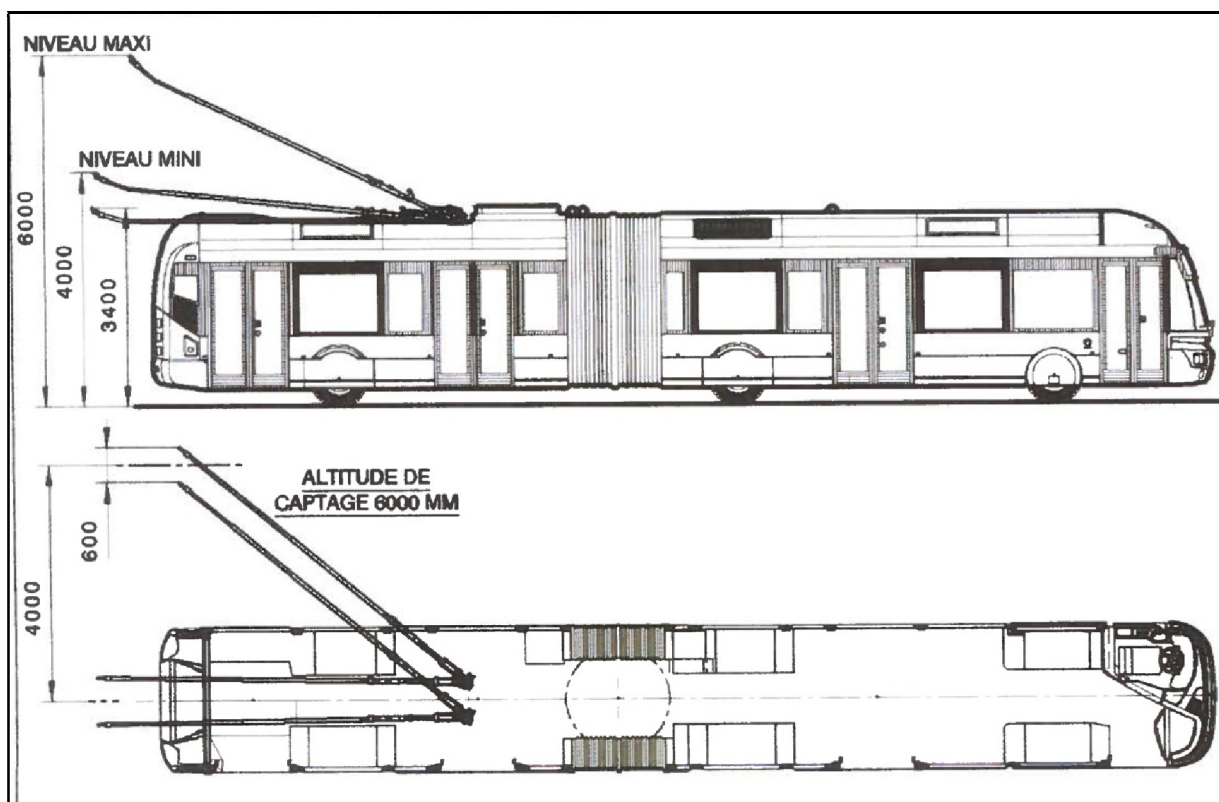
Sur les trolleybus modernes, les perches sont équipées de vérins commandés depuis la cabine de conduite qui assurent une double fonction :

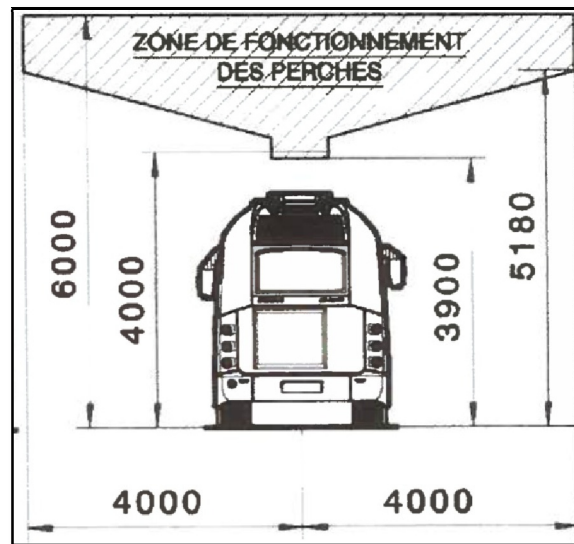
En temps normal, « appuyer » la perche sur les fils caténaires avec une pression minimale assurant la continuité du contact malgré les mouvements relatifs du véhicule et de la LAC; Les têtes de perche sont à cet effet munies d'un patin d'usure de forme spécifique en « U », de nos jours en carbone (voir la figure 3.4);

- Permettre les opérations de « déperchage » et de « perchage » en abaissant automatiquement les perches (qui viennent alors se verrouiller dans une position de repos sur le toit du véhicule) et en les relevant sur la LAC.

**Figure 3.4 Exemple de patin d'usure**

La Figure 3.5 montre la zone de fonctionnement des perches pour un trolleybus équipé de perches standard. Des perches plus longues permettraient d'augmenter la hauteur de captation au besoin.

**Figure 3.5 Zone de captation du trolleybus**



### 3.2.4 Système de perches

La procédure de déperchage / perchage doit être minimisée en ligne exploitée commercialement avec voyageurs : terminus pour d'éventuelles manœuvres de retournement, entrée / sortie du trajet ligne / atelier-garage si celui-ci n'est pas électrifié, intérieur de l'atelier.

La procédure de déperchage / perchage peut également être mise en œuvre en ligne, de façon programmée en cas de travaux nécessitant une déviation de ligne au-delà du débattement latéral autorisé, ou exceptionnellement en cas d'avarie ou d'accident. Le déperchage / perchage est une procédure utilisée couramment par plusieurs sociétés de transport, dont celle de Rome.

#### DÉPERCHAGE

Le mécanisme d'abaissement des perches est relativement simple et le déperchage peut être effectué n'importe où sur la ligne. Sur les matériels modernes, le déperchage est commandé par le conducteur depuis sa cabine de conduite, effectué par les vérins équipant les perches, et surveillé par une caméra embarquée sur le toit. Un mécanisme de verrouillage immobilise les perches en position de repos sur le toit du trolleybus.

La procédure nécessite un séquençage précis des manœuvres : immobilisation du trolleybus, mise hors tension préalable des équipements électriques du véhicule afin d'éviter tout choc électrique, abaissement puis verrouillage des perches, mise en marche éventuelle de la motorisation auxiliaire (en général thermique).

Des dispositifs d'abaissement et de verrouillage des perches en position rabattue sont offerts par les fabricants pour effectuer ces opérations soit en mode manuel (intervention requise de l'opérateur à l'extérieur du véhicule), soit en mode automatique (intervention de l'opérateur depuis son poste de conduite) lorsque le véhicule est utilisé sans captage par la LAC.

### **DÉPERCHAGE ACCIDENTEL**

Les déperchages accidentels en exploitation courante, résultant d'un mauvais état de l'équipement, sont rares. Ils ne peuvent résulter, soit d'une mauvaise fixation de la LAC (y compris suite à intempéries exceptionnelles), du mauvais entretien du matériel roulant (réglage inadéquat de la tension des perches, usure excessive du patin en extrémité de perches) ou du mauvais entretien de la LAC (usure du fil de contact, mauvais réglage des suspensions ou des aiguillages). Certains déperchages accidentels sont également occasionnés par le conducteur, soit à cause d'un désaxement trop important par rapport à la LAC (lors du dépassement d'un autre véhicule par exemple), soit à cause d'une vitesse excessive.

Différents dispositifs sont proposés par les manufacturiers pour minimiser l'impact des déperchages accidentels, qui surviennent le plus souvent au niveau des aiguillages. Un mécanisme de rappel des perches permet de les abaisser rapidement et d'assurer qu'elles demeureront ou reviendront au-dessus du véhicule.

Les déperchages accidentels sont détectés automatiquement, soit par des mesures de la vitesse verticale des perches, de la différence de hauteur entre les perches ou par la perte de contact perche-fil de contact. De plus, l'opérateur reçoit un signal l'avisant d'un déplacement latéral trop grand pouvant conduire à un déperchage accidentel.

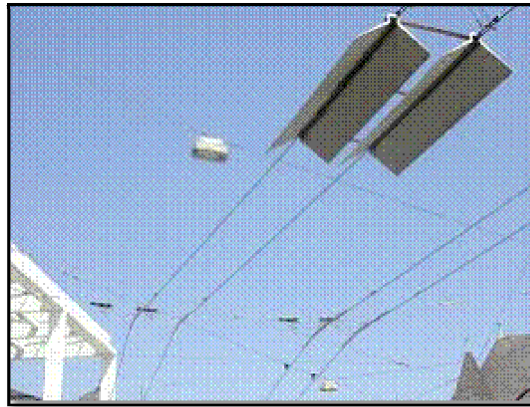
Il est à souligner que la majorité des déperchages accidentels sont occasionnés par les conducteurs (vitesse excessive, dépassement, etc.).

### **PERCHAGE**

Le mécanisme de perchage est globalement l'inverse de celui de déperchage, avec toutefois une spécificité due au fait qu'il est impératif que les patins d'usure des têtes de perches se placent effectivement sous les fils caténaux.

Dans ces conditions, le perchage ne peut se faire rapidement qu'en mode automatique à des postes de perchage spécifiquement équipés de « dièdres » posés sur la LAC et guidant l'extrémité des perches lors de leur déploiement final (voir la figure 3.6).

Lorsqu'il est nécessaire d'effectuer un perchage à un endroit non pourvu de « dièdres », suite à un déperchage accidentel par exemple, l'opération doit être effectuée manuellement par l'opérateur avec l'aide de caméras l'aidant à aligner les patins sur la LAC. Cependant, si le véhicule est pourvu d'un APU, il est également possible de se rendre au prochain poste de perchage muni de « dièdres », pour procéder à un perchage automatique, limitant ainsi les pertes de temps.

**Figure 3.6 Exemple de poste de perchage muni de « dièdres »****ADAPTATION DES PERCHES**

Le système de perches utilisé pour capter l'énergie de la LAC peut être adapté en fonction des besoins spécifiques de l'exploitant. Par exemple, des perches plus longues peuvent être utilisées si la hauteur de la LAC est plus élevée que la normale, tel qu'il en sera le cas au franchissement de la ligne ferroviaire à Laval. Le réseau de Vancouver fait face à un problème similaire et utilise des perches fournies par Vossloh permettant d'atteindre un fil de contact à 7,45 m au dessus de la route au croisement d'une voie ferrée.

**3.2.5 Performances**

La vitesse maximale des trolleybus est de 65 km/h. Comme tous les véhicules propulsés par des moteurs électriques, un couple élevé est disponible au démarrage du véhicule, ce qui permet d'obtenir des accélérations de l'ordre de  $1,4 \text{ m/s}^2$ .

Les manufacturiers proposent tous un système de freinage régénératif qui permet à la fois d'obtenir de bonnes décélérations au freinage tout en sollicitant moins le système de freinage par friction. Les décélérations obtenues sont de l'ordre de  $1,5 \text{ m/s}^2$ . L'énergie récupérée lors du freinage peut alors être utilisée de différentes façons, selon la stratégie proposée par le manufacturier ou les besoins du l'exploitant. Ainsi, une partie de l'énergie pourrait être retournée à la LAC pour être utilisée par d'autres trolleybus sur la ligne, ou encore utilisée sur le trolleybus lui-même, soit pour recharger des batteries ou des condensateurs ou pour alimenter des systèmes auxiliaires. Si cette énergie ne peut être utilisée de l'une de ces façons, elle est normalement dissipée en chaleur au moyen de résistances montées en toiture.

**3.2.6 Principales caractéristiques des véhicules offerts sur le marché**

Le tableau suivant montre les principales caractéristiques de véhicules offerts sur le marché et qui pourraient être utilisés sur l'axe Pie IX. Ces données sont fournies à titre indicatif et ne sont pas le résultat d'une étude exhaustive du marché.

**Tableau 3.1 Principales caractéristiques de certains véhicules offerts sur le marché**

| CARACTÉRISTIQUE                                      | Manufacturier     |           |               |            |                    |
|------------------------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|------------|--------------------|
|                                                      | Hess AG           | New Flyer | Solaris       | Van Hool   | Viseon             |
| Longueur (m)                                         | 18,0              | 18,8      | 18,0          | 17,5       | 18,0               |
| Largeur - sans miroirs(mm)                           | 2550              | 2592      | 2550          | 2550       | 2500               |
| hauteur (mm)                                         | 3440              | 3605      | 3490          | 3700       | 3500               |
| Hauteur du plancher (mm)                             | 360               | 406       | 320-340       | 340        | 370                |
| Nombre de passagers assis                            |                   |           |               |            |                    |
| Assis                                                | 44 (+2)           | 54(+2)    | 38(+1)        | 45 (+2)    | 39 (+1)            |
| Debout                                               | 65                | 56        | 63            | 68         | 56                 |
| Total                                                | 111               | 102       | 102           | 115        | 96                 |
| Nombre de portes                                     | 4                 | 3         | 4             | 4          | 3 ou 4             |
| Poids en ordre de marche - à vide (kg)               | 17000 à 18000     | 21575     | 15500 à 18500 | 19500      | 18000 à 18700      |
| Poids brut maximum - avec passagers (kg)             | 30000             | 29100     | 28000         | 28000      | 29000              |
| Nbre d'essieux moteurs                               | 1 ou 2            | 1         | 1 ou 2        | 1          | 1 ou 2             |
| puissance des moteurs de traction (kW)               | 1X 200 ou 2 X 160 | 240       | 250 ou 300    | 160 ou 240 | 1 X 240 ou 2 X 160 |
| Puissance des APU thermiques disponibles (kW)        | 50 à 195          | 50 à 195  | 50 à 175      | 50 à 195   | 50 à 195           |
| APU - Stockage d'énergie offerts                     |                   |           |               |            |                    |
| Batteries                                            | oui               | oui       | oui           | oui        | oui                |
| Super-condensateurs                                  | oui               | oui       | oui           | oui        | oui                |
| Accélération maximale (m/s <sup>2</sup> )            | 1,4               | 1,4       | 1,4           | 1,4        | 1,4                |
| Décélération de service maximale (m/s <sup>2</sup> ) | 2,0               | 1,4       | 1,5           | 2,0        | 2,0                |

### 3.3 EXPLOITATION

#### 3.3.1 Désaxement horizontal par rapport à la ligne aérienne de contact (LAC)

Les déviations latérales et hors trajectoire possibles sont, avec des perches standards, de 4m et 45°. Des déviations latérales plus importantes pourraient conduire à des déperchages accidentels, tels que décrit à la section 3.2.4.

**Figure 3.7 Exemple de déplacement latéral**



#### 3.3.2 Spécificités d'exploitation par rapport à un autobus classique

##### SECTION COURANTE

En section commerciale courante, comme évoqué précédemment, les performances du trolleybus doivent au minimum être égales à celles de l'autobus - en pratique, les performances en cas de fortes pentes (jusqu'à 12%) sont supérieures à celle de l'autobus à propulsion thermique.

Sur les voies courantes à équiper, les installations de traction devront permettre une vitesse maximum d'au moins 65 Km/h.

La seule difficulté spécifique au trolleybus peut résulter de son débattement latéral limité, lui permettant de doubler un véhicule (y compris au autre trolleybus) à l'arrêt sur sa trajectoire, mais ne lui permettant pas de sortir plus avant de sa trajectoire théorique autrement qu'en déperchant.

Dans le cas d'une implantation en site propre, comme pour le SRB Pie-IX, et si celui-ci est respecté, il n'y a aucune raison pour que le trolleybus ait à sortir de sa trajectoire au-delà du dépassement d'un autre trolleybus, si ce n'est bien entendu les cas d'incidents ou d'accidents, liés au système de transport ou non (intervention des services de secours dont les camions stationnent sur le site propre par exemple).

## **BOUCLE DE RETOURNEMENT**

En opération usuelle, les boucles de retournement sont électrifiées. Il est toutefois possible d'effectuer le retournement à l'aide de l'APU, notamment s'il ne s'effectue pas en site propre sur une infrastructure prévue à cet effet. Si cela est le cas, il s'agit de prévoir des zones identifiées et équipées pour permettre l'abaissement des perches et leur accroche.

## **ACCÈS AU GARAGE**

S'il est situé à proximité immédiate de la ligne de trolleybus, l'accès au garage est généralement électrifié.

En cas de localisation plus éloignée, le parcours en haut le pied s'effectue à l'aide de l'APU. Dans ce cas, afin d'éviter de devoir rouler à vitesse limitée sur de longues distances, le trolleybus doit être bi-mode.

## **3.4 ÉLECTRIFICATION**

Le trolleybus de l'axe Pie IX sera alimenté en énergie à partir des réseaux de distribution Moyenne Tension (MT) d'Hydro-Québec, raccordés à des Sous-Stations de Redressement (SSR) implantées le long du tracé.

L'énergie électrique est distribuée par la Ligne Aérienne de Contact (LAC) depuis les SSR à chaque rame de trolleybus. Elle peut aussi assurer l'échange de puissance entre les rames lors des freinages. Les rames captent le courant sur les lignes aériennes de contact par l'intermédiaire de perches.

Pour des raisons de sûreté d'exploitation, et pour faciliter les travaux de maintenance, la ligne sera divisée en plusieurs sections électriques. Chaque section est alimentée par une sous-station de redressement, et isolée électriquement des sections adjacentes.

La tension nominale du réseau est de 750V CC, avec des variations admissibles entre 500V et 950V (norme EN 50163).

Les LAC équipant chaque voie seront alimentées en parallèle et seront connectées par des liaisons équipotentielles tous les 300m environ.

Les câbles d'alimentation en énergie seront isolés et enterrés. Ils parviendront des SSR dans des multitubulaires courants forts enterrées, remonteront à l'intérieur des supports puis chemineront sur un transversal ou une console jusqu'à l'aplomb de la LAC à alimenter.

Une étude ultérieure de l'alimentation en énergie de traction permettra de déterminer les points listés ci-dessous :

- Les intensités maximales de courant appelées par le trolleybus,
- Les intensités maximales renvoyées en récupération,
- Les positions des points d'injection et des liaisons équipotentielles,
- Les protections des personnes,

Les détails de conception des différentes composantes de l'électrification sont détaillés ci-après.

### **3.4.1 Système normatif applicable**

Afin de mener à bien toute étude d'électrification, il est primordial et obligatoire de vérifier que les solutions et propositions retenues sont en adéquation avec le système normatif applicable en vigueur.

Le tableau 3.2 ci-après reprend les normes canadiennes, nord-américaines et internationales et européennes utilisées dans tout projet d'électrification.

A ces normes il faudra ajouter les habitudes de travail de la Ville de Montréal, les règlements municipaux ainsi que le règlement régissant les activités de la CSEM.

**Tableau 3.2** Référentiel normatif du trolleybus

|                                                     | Association canadienne de normalisation                        | Normes Hydro-Québec                                                                                                                         | Normes internationales                                                                   | Normes européennes                             |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Exigences de conception du réseau électrique        | CAN/CSA C22.3 NO 1<br>CAN/CSA C22.3 NO 8<br>CAN/CSA C22.3 NO 7 | B-41.11<br>B-41.21                                                                                                                          | CEI/IEC 60076-10<br>CEI/IEC 60913<br>CEI/IEC 61992-1<br>CEI/IEC 61992-2<br>CEI/IEC 62313 |                                                |
| Exigences environnementales                         |                                                                |                                                                                                                                             | CEI/IEC 60721                                                                            |                                                |
| Exigences de mises à la terre                       |                                                                |                                                                                                                                             | CEI/IEC 62128-1<br>CEI/IEC 62128-2                                                       | EN 50122-1                                     |
| Exigences de sécurité                               | CAN/CSA C22.1-09<br>CAN/CSA Z462-F08                           |                                                                                                                                             | CEI/IEC 60529                                                                            |                                                |
| Raccordement au réseau électrique                   |                                                                | C.22-03<br>E.12-01<br>E.12-03<br>E.12-05<br>E.12-06<br>E.12-07<br>E.12-08<br>E.12-09<br>E.21-10<br>E.21-11<br>E.21-12<br>E.21-13<br>F.22-01 |                                                                                          |                                                |
| Construction des postes de redressement             | CAN/CSA C22.10-10                                              |                                                                                                                                             |                                                                                          |                                                |
| Transformateurs                                     | CAN/CSA C2-M91<br>CAN/CSA C9-M1981                             |                                                                                                                                             |                                                                                          |                                                |
| Courants vagabonds                                  |                                                                |                                                                                                                                             |                                                                                          | EN 50122-2<br>EN 50162                         |
| Coordination entre les installations fixes et le MR |                                                                |                                                                                                                                             | CEI/IEC 62313-2009                                                                       |                                                |
| Tension d'alimentation des réseaux de traction      |                                                                |                                                                                                                                             | CEI/IEC 60850                                                                            | EN 50163                                       |
| Installations fixes traction électrique.            |                                                                |                                                                                                                                             |                                                                                          | EN 50119<br>EN 50123-1<br>EN 50149<br>EN 50345 |
| Maintenance du réseau caténaire                     |                                                                |                                                                                                                                             |                                                                                          | EN 50149                                       |
| Équipement de redressement                          |                                                                |                                                                                                                                             | CEI/IEC 60146-1-1-2009<br>CEI/IEC 60146-1-2-1991<br>CEI/IEC 60146-1-3-1991               | EN 50328                                       |
| Compatibilité électromagnétique                     | CAN/CSA C22.3 NO. 3<br>CAN/CSA-CEI/IEC 61000-4-3-07            |                                                                                                                                             | CEI/IEC 60801<br>CEI/IEC 61000-2<br>CEI/IEC 61000-3-4<br>CEI/IEC 62236-1                 | EN 50121                                       |

Source: Étude de faisabilité et d'impacts sur l'implantation d'un réseau de trolleybus à Laval – STL, septembre 2010

### 3.4.2 Description générale de l'alimentation de traction

#### **GÉNÉRALITÉS**

La ligne de trolleybus Pie-IX sera dotée d'un réseau d'alimentation électrique destiné à fournir aux matériels roulants une tension de 750V DC.

Cette tension d'alimentation sera produite au moyen de sous-stations de redressement (SSR), permettant la transformation des courants alternatifs moyenne tension d'Hydro-Québec (25 kV triphasé) en courant continu.

La distribution du courant se fait via la Ligne Aérienne de Contact (LAC) positive du système trolley, le retour de courant se faisant par la LAC négative du même système.

Les SSR pourront également alimenter en Basse Tension (BT) les équipements électriques en ligne ou ceux des stations voyageurs proches desdits SSR.

#### **CONTRAINTES D'EXPLOITATION**

La première donnée déterminante est l'intervalle de temps envisagé entre trolleybus, afin d'assurer une bonne desserte de la ligne. Le réseau électrique est dimensionné de façon à permettre l'exploitation aux heures pleines en tenant compte des futures augmentations de trafic liées aux extensions de lignes (à préciser avant la simulation de dimensionnement électrique).

Par ailleurs, il convient de rappeler que l'hypothèse que nous retenons en mode dégradé est la suivante :

- La mise à l'arrêt d'une SSR (volontaire ou liée à un défaut), ne doit conduire à aucune perturbation de l'exploitation.
- La mise à l'arrêt de deux SSR consécutives, par contre, entraînera des restrictions d'exploitation qu'une simulation électrique ultérieure pourra déterminer.

Cette imposition se traduit par le fait que trois postes de redressement consécutifs ne devraient pas être alimentés par les mêmes artères Hydro-Québec ou au pire par les mêmes postes sources. Enfin, les différents services partiels envisagés pour l'exploitation dégradée de différentes portions de ligne devront être rendus possible par la conception même du réseau 750V. L'utilisation de trolleybus disposant d'un mode de propulsion autonome (APU ou bimode) aura pour impact de réduire le niveau de fiabilité requis de l'alimentation électrique fournie par Hydro-Québec. Des études de fiabilité (RAM) qui seront réalisées au cours d'une phase ultérieure du projet détermineront les critères de fiabilité et de disponibilité d'alimentation requis.

#### **CONTRAINTES TECHNIQUES INHÉRENTES AU SYSTÈME TROLLEYBUS**

Les données suivantes sont également de première importance lors des simulations de dimensionnement électrique :

- Le découpage électrique et mécanique des sections de LAC;
- Les caractéristiques des matériels roulants;
- Les contraintes de vitesse induites par le tracé en plan, le profil en long, et les traversées de carrefour.

### 3.4.3 Pré-dimensionnement du réseau de traction

Le dimensionnement précis du réseau électrique trolleybus sera réalisé en phase d'avant-projet au moyen d'une simulation de dimensionnement électrique.

Au stade des études préliminaires, nous pouvons néanmoins évaluer le nombre et la position théorique des SSR nécessaires à l'exploitation de la ligne.

Un système composé d'une LAC alimentée en 750 V est une solution largement éprouvée techniquement. Cette solution nécessitera 7 SSR d'une puissance unitaire de 900 kW et l'utilisation d'un fil de contact de 102 mm<sup>2</sup> Cuivre. Un feeder positif complémentaire de 630 mm<sup>2</sup> Aluminium pourrait être nécessaire sur une partie ou l'ensemble de la ligne.

Les positions théoriques des 7 SSR présentées sur la figure 3.8 sont basées sur une hypothèse de LAC alimentée en 750 V, composée de deux fils de contact de 102 mm<sup>2</sup>.

Des SSR d'une puissance de 900 kW sont assez communes sur d'autres réseaux (Lyon en France par exemple). Ainsi, en supposant une consommation de 110 kW par trolleybus (soit environ 40% de la puissance de traction et 20kW additionnels pour les équipements embarqués), la puissance nominale d'une SSR permettrait d'alimenter 8 trolleybus (4 dans chaque direction). En fonction d'une distance moyenne de 2 km entre les SSR et d'une vitesse moyenne de 20 km/h, ceci permettrait de faire circuler 40 trolleybus par heure dans chaque direction.

Le nombre de circulations en mode trolleybus dans le corridor n'étant pas encore clairement défini, le dimensionnement des SSR ne peut être raffiné à ce stade des études. Il est toutefois utile de préciser que l'utilisation de SSR d'une puissance légèrement supérieure n'aurait pas d'impact significatif sur les coûts.



**Figure 3.8**  
**Localisation des sous-stations de redressement (SSR)**

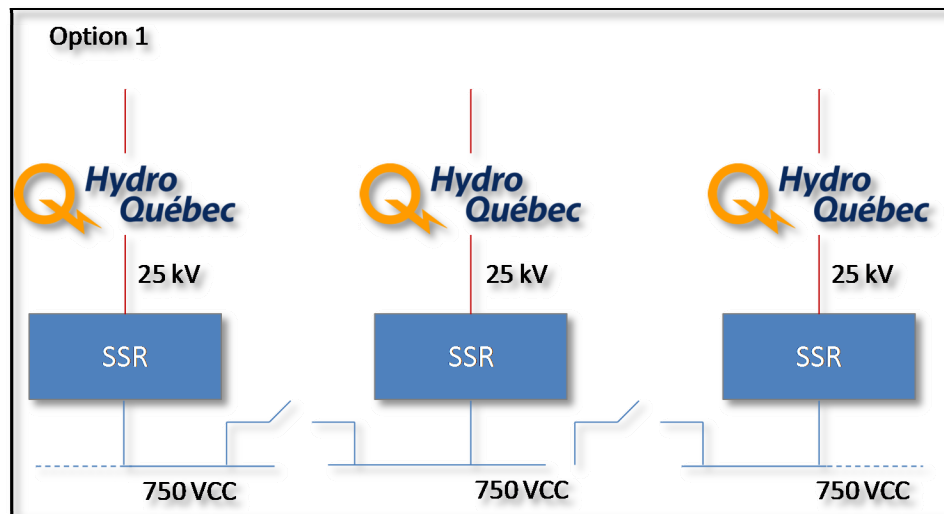
### 3.4.4 Raccordement au réseau Hydro-Québec

Le réseau de distribution électrique d'Hydro-Québec étant fortement maillé à Montréal et Laval, l'alimentation des SSR ne posera pas de difficulté particulière. Ce raccordement au réseau Hydro-Québec peut toutefois être effectué suivant deux approches :

#### Option 1 : Chaque SSR est raccordée directement au réseau MT 25kV d'Hydro-Québec.

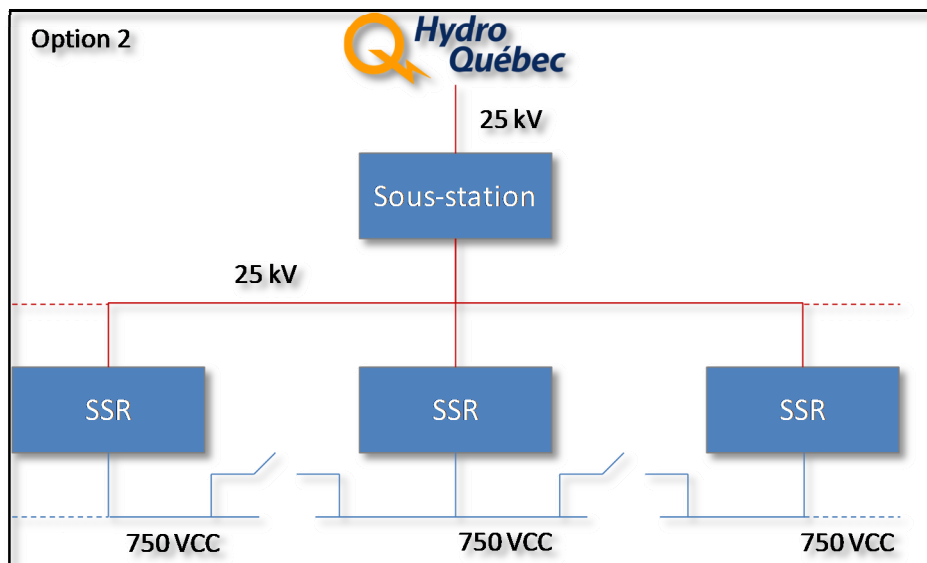
Cette option est celle utilisée le plus couramment par les réseaux trolleybus et celle qui exige l'investissement en capital le moins élevé. Puisque chaque SSR est directement alimenté en MT 25kV par Hydro-Québec, la distribution de l'énergie s'effectue en 750 VCC pour la traction et en basse tension pour les besoins des systèmes en ligne (éclairage des stations, signalisation, etc). Chaque SSR comporte un point de mesurage Client (voir la Figure 3.9).

**Figure 3.9 Principe de raccordement de chaque SSR à Hydro-Québec**



#### Option 2 : Raccordement d'une Sous-station du réseau trolleybus au réseau Hydro-Québec.

Selon cette option, Le réseau de distribution Hydro-Québec alimente le réseau trolleybus en MT 25 kV en un seul point, à une sous-station appartenant au réseau trolleybus. L'énergie est ensuite distribuée à chacun des SSR en MT 25 kV à partir de cette sous-station. La distribution de l'énergie s'effectue en 750 VCC pour la traction et en basse tension pour les besoins des systèmes en ligne (éclairage des stations, signalisation, etc) à partir de chaque SSR. Il n'y a alors qu'un seul point de mesurage Client au niveau de la sous-station (voir la figure 3.10). Cette option implique des coûts en capital plus élevés puisqu'une sous-station additionnelle est nécessaire et qu'il faut un réseau de distribution 25 kV en plus de ce qui est requis pour l'option 1.

**Figure 3.10 Principe d'un seul raccordement à Hydro-Québec**

Bien que l'investissement initial requis pour l'option 1 soit moindre que pour l'option 2, elle requiert un point de mesure par SSR, chacun étant considéré comme un « client » séparé et ayant sa propre puissance souscrite. L'option 2 permet au contraire de considérer l'ensemble de la ligne du trolleybus comme un seul « client ». Une économie sur la facture d'énergie est donc à prévoir avec l'option 2, puisqu'elle permet de souscrire à une puissance qui sera moins élevée que la somme des puissances souscrites pour chacun des SSR selon l'option 1.

Le choix de la meilleure option ne pourra être effectué que lorsque des données plus précises seront disponibles relativement au nombre de circulations de trolleybus sur la ligne et que des simulations montrant l'appel de puissance et la consommation d'énergie seront disponibles. Ces données sont nécessaires pour déterminer si les économies sur la facture d'énergie seront suffisantes pour justifier l'investissement en capital additionnel requis.

Pour les besoins de l'estimation des coûts, l'option 1 est retenue dans le cadre du présent mandat.

### 3.4.5 Types de Sous-Station de Redressement (SSR)

Les SSR peuvent être réalisées de façon « classique » ou à partir de modules préfabriqués. Le choix du type de SSR sera déterminé lors de la phase d'avant-projet en tenant compte des contraintes suivantes :

- Contraintes d'implantation relatives au positionnement des SSR (parcelles indépendantes, intégration à d'autres corps de bâtiment, PR enterrés);
- Contraintes architecturales, à définir lors de la phase d'avant-projet;
- Contraintes de phasage et de coût;
- Contraintes réglementaires des villes et des arrondissements (urbanisme ou autres) relatives à l'implantation de même qu'à l'intégration architecturale et paysagère;

Les bâtiments abritant les équipements des SSR seront réalisés sur des emplacements à proximité de la ligne, au plus près des points d'injection. Généralement, il est recommandé de respecter un rayon d'implantation de l'ordre de 200 mètres afin de permettre de limiter le nombre de feeders d'injection.

La recherche d'un terrain adapté doit se faire sur la base des contraintes locales identifiées. Les localisations finales des SSR doivent être validées au début de la phase d'avant-projet. Les démarches d'acquisition foncière sont à la charge du maître d'ouvrage.

### **SSR PRÉFABRIQUÉES**

Ces SSR sont réalisées en 2 sous-modules (en général d'une surface de 2 x 24m<sup>2</sup>) dans lesquels l'ensemble des équipements et des connexions électriques est installé en usine (à l'exception du transformateur de traction qui n'est installé que sur place à cause de son poids important). L'implantation des équipements est donc optimisée.

Ces SSR ont une surface au sol moins importante que les SSR classiques et sont installés plus rapidement. Leur coût est par ailleurs très légèrement inférieur à celui d'une SSR classique.

L'inconvénient principal de cette solution est l'exigüité des lieux pour la maintenance des équipements. Une SSR préfabriquée peut également être enterrée.

**Figure 3.11 Exemple d'une SSR préfabriquée**



Les SSR préfabriquées sont recommandées pour la majeure partie des SSR de la ligne, pour des raisons de coût et de durée de chantier.

### **SSR "CLASSIQUES "**

Ces SSR sont généralement construites par un lot différent de celui qui fournira les équipements de traction. Ces SSR peuvent être aériennes ou souterraines. Les équipements de la SSR peuvent également être installés dans des bâtiments existants.

Les contraintes à prendre en compte dans la recherche de ces emplacements doivent intégrer :

- Un besoin de surface de l'ordre de 80m<sup>2</sup> pour l'implantation de la SSR.
- Une aire de manutention de l'ordre de 100m<sup>2</sup> pour permettre les opérations de maintenance (identique pour une SSR préfabriqué).

**Figure 3.12 Exemple d'une SSR classique****ALIMENTATION EN PARALLÈLE (FEEDER DE LIGNE)**

Afin de limiter le nombre de SSR, des feeders d'alimentation seront installés le long de la ligne. Ils sont distribués à partir des SSR, auxquels ils sont connectés sur des jeux de barres de cuivre.

Ces feeders seront en cuivre ou en aluminium isolés et acheminés dans des multitubulaires enfouies généralement en rive de la chaussée.

Des liaisons vers les lignes aériennes de contact seront faites vers les lignes aériennes par le biais de câbles de cuivre isolés. Les remontées se font à chaque support de ligne aérienne, et ces installations sont protégées de la foudre par un parafoudre installé sur ce même support.

- **Avantage :**
  - ▶ Réduction du nombre de SSR car plus grande distance entre ceux-ci;
  - ▶ Risque de chute de tension diminué sur les lignes aériennes.
- **Inconvénient :**
  - ▶ Puissance, surface et coût des postes de redressement plus importants;
  - ▶ Coût induit à l'installation des feeders d'alimentation (matériel, travaux, entretien).

**3.4.6 Impacts de la traction électrique en courant continu**

La mise en place d'une ligne de trolleybus alimentée en courant continu engendre des problèmes sur l'environnement, notamment la pollution harmonique vis-à-vis du réseau Hydro-Québec.

**LES HARMONIQUES**

Le raccordement d'une installation électrique de type non-linéaire (le redresseur des SSR) sur un réseau de distribution est générateur de courants harmoniques. Ces courants harmoniques, rapportés

sur la partie MT (dans le cas présent le réseau 25 kV d'Hydro-Québec), sont eux-mêmes générateurs de tensions harmoniques.

Afin d'éviter la mise en place de filtres (actifs ou passifs) coûteux et à la maintenabilité délicate, l'utilisation d'un redresseur de type dodécaphasé est préférable à celle d'un redresseur hexaphasé.

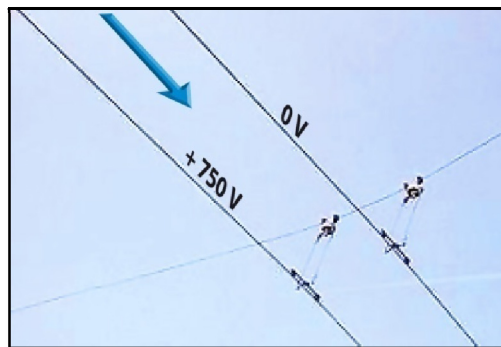
Une étude complémentaire sur les harmoniques devra préciser si, malgré cette précaution, des filtres sont nécessaires dans certains SSR afin de respecter les normes Hydro-Québec en matière de rejets harmoniques.

### 3.4.7 Ligne aérienne de contact – LAC:

Une Ligne Aérienne de Contact (LAC) sera constituée de deux fils de contact de cuivre rainurés et écartés de 0,70 m.

Dans le sens de la circulation, le fil de contact positif (+ 750 V) est placé à gauche et le fil à 0 V placé à droite.

Figure 3.13 Détail de la LAC



#### DÉFINITION DE LA HAUTEUR DE LA LIGNE AÉRIENNE

La hauteur de la ligne aérienne de contact devra répondre à des exigences normatives pour le dégagement électrique par rapport à la chaussée et des contraintes de hauteur de captation des perches du matériel roulant.

Une hauteur nominale de 5.50m peut être envisagée sur la longueur du parcours car elle répond aux différentes normes et référentiels en vigueur au Québec, à savoir :

- Norme du Ministère des Transports du Québec : Hauteur et distance d'éloignement des têtes de feux de circulation;
- Norme Hydro-Québec D1700 du volume B.41-11 : Dégagement au-dessus des routes, rues, ruelles, chemins et entrées;
- Gabarits de transports exceptionnels à Montréal et Laval.

Concernant les feux de signalisation, leur partie basse doit se situer à une hauteur comprise entre 4,60m et 5,80m.

Concernant la norme d'Hydro-Québec sur les hauteurs de dégagement, il apparaît que les lignes électriques aériennes situées entre 4,40m et 4,70m peuvent engager les gabarits de transports hors-

normes. De plus, ces hauteurs sont incompatibles avec la cohabitation des lignes aériennes de contact situées à 5,50m.

Afin de réduire le nombre de conflits, il sera nécessaire d'envisager l'enfouissement des traversées électriques sur le corridor Pie IX et à Laval.

Ces travaux permettront de libérer l'espace visuel, d'éviter les conflits entre les gabarits hors-normes et les lignes aériennes, et éviteront les problèmes occasionnées par les conditions climatiques (dépôt de givre).

La hauteur minimale et maximale autorisée par le matériel roulant devra être compatible avec les exigences propres au tracé du SRB Pie-IX. Notamment les passages sous des ouvrages à faible hauteur, les traversées de convois exceptionnels et la traversée de la voie ferrée de marchandises à Laval.

Les types d'armements de la LAC ne doivent pas engager le gabarit des matériels roulants.

La hauteur standard au droit des suspensions est de 5,80m afin d'assurer une hauteur minimale de 5,50 au milieu des portées. Ceci est applicable à l'ensemble de la ligne, sauf aux points suivants :

- Les passages sous les ouvrages d'art;
- Les zones de changement de pentes du profil en long de la voie;
- Le franchissement de la voie ferrée à Laval.

Pour le franchissement de la voie ferrée, la norme CSA C22.3 No. 1-06 indique que la hauteur minimale pour un fil de trolley à une tension de 750 V est de 6,70 m.

Selon la norme Hydro-Québec D1740 B41,11, les hauteurs suivantes sont requises :

- Hauteur minimale: 5,50m
- Hauteur en franchissement voie ferrée: 6,70m
- Hauteur sous ouvrage:
  - ▶ Minimum 4,90m
  - ▶ 30cm entre LAC et intrados du viaduc.

Des panneaux réglementaires, indiquant la limitation de hauteur sous fils de contact et la présence de tension, ainsi que des dispositifs de protection spéciaux (portiques rigides) limitant la hauteur du gabarit routier à 0,75m au-dessous des fils de contact, seront installés de part et d'autre des ouvrages et des carrefours lorsque la hauteur de 5.50m au-dessus de la voirie ne pourra être obtenue.

### 3.4.8 Types d'équipements de LAC

Plusieurs types d'équipements de la LAC sont possibles :

- Type classique d'accroche de LAC:
  - ▶ support central avec double potence;
  - ▶ support latéral avec potence;
  - ▶ supports latéraux avec câble transversal;
- Accroche de LAC sous ouvrage;

### **SUPPORT CENTRAL AVEC DOUBLE POTENCE**

Ce type d'équipement est utilisé lorsque les voies de circulation des trolleybus sont axées sur la chaussée. Les voies de circulations sont séparées par une berme sur laquelle sont implantés les supports.

Ce type d'insertion est le moins coûteux des supports LAC car ceux-ci sont de faibles sections dues aux efforts symétriques appliqués. Les fondations seront elles-mêmes moins importantes.

Il est possible d'utiliser ces supports pour une mutualisation avec de l'éclairage public.

**Figure 3.14 Exemple de support central avec double potence**



### **SUPPORT LATÉRAL AVEC POTENCE**

Ce type d'équipement est utilisé lorsque les voies de circulation des bus sont du même côté de la chaussée. Dans ce cas, on utilise une potence suffisamment longue pour pouvoir suspendre les LAC des deux bus.

Ce type d'équipement peut également être utilisé lorsque la largeur de la chaussée est très grande et que les trolleybus circulent en bordure de la voirie, ou lorsque les trajets des deux directions sont dissociés.

Ces supports peuvent être mutualisés avec l'éclairage public, permettant ainsi d'éclairer la chaussée et les trottoirs.

**Figure 3.15 Exemple de support latéral avec potence****SUPPORTS LATÉRAUX AVEC CÂBLE TRANSVERSAL**

L'utilisation de ce type d'équipement se fait lorsqu'il est impossible d'équiper les voies de trolleybus aux abords de celles-ci.

Dans ce cas, les supports sont implantés sur les trottoirs ou emplacements bien définis afin de ne pas gêner la circulation des personnes, et la suspension des LAC est assurée par un câble synthétique de type « parafil ».

Le parafil est un câble synthétique à haute résistance qui est recouvert d'une pellicule de polyéthylène. Il ne se corrodé pas et ne retient pas la neige ou le givre. Il est isolant et son montage ne nécessite donc pas l'utilisation d'isolateurs. De plus, il offre une excellente stabilité thermique, réduisant ainsi les efforts appliqués aux supports de LAC par temps froid.

L'avantage de ce type d'équipement est qu'il permet une plus grande distance entre l'axe de la voie de circulation du trolleybus et la zone d'implantation des supports de LAC. Ceci s'avère parfois utile pour l'intégration des supports de LAC à l'aménagement urbain, par exemple en mutualisant supports de LAC et d'éclairage situés en bordure de rue.

**Figure 3.16 Exemple de supports latéraux avec câble transversal**



#### **ANCORAGE SOUS OUVRAGE D'ART**

Lorsque la hauteur libre est limitée sous un ouvrage d'art, il est possible de venir ancrer la LAC sous l'ouvrage d'art.

Dans un tel cas un rail d'isolation est mis en place, ce qui permet de limiter la distance entre la LAC et l'intrados de l'ouvrage à quelques 15 cm.

Une attention particulière sera apportée à la protection de l'ouvrage contre les contacts électriques entre les parties sous tension d'une part, et les masses métalliques, les écoulements de fluides, et les personnes situées en partie supérieure de l'ouvrage d'autre part.

**Figure 3.17 Exemple d'ancrage sous ouvrage d'art**



### 3.4.9 Supports de LAC

#### SPÉCIFICITÉ TECHNIQUE DES SUPPORTS DE LAC

Le choix et l'aspect esthétique des supports de LAC font partie de l'étude de requalification urbaine réalisée conjointement par l'AMT et la Ville de Montréal.

Dans la cadre du présent mandat il est convenu que les supports standards de LAC en ligne seront de type cylindro-coniques à semelle, qu'ils seront réalisés en acier, galvanisés à chaud et revêtus d'une couche de peinture en usine. Une couche de protection anti-graffiti sera disposée en pied de support, sur une hauteur de 3 mètres ainsi qu'une couche anticorrosion (« goudron »).

Afin d'assurer une fluidité en terme architectural des supports de la ligne, lors du dimensionnement des supports LAC, une attention particulière sera apportée aux diamètres des supports. Tous les supports auront un diamètre en pied de l'ordre de 340 mm.

Les supports seront en acier pour les supports de petites classes. Les quelques supports de grande classe d'efforts ne pouvant être réalisés en acier avec un diamètre en pied de 340 mm seront en fonte.

Afin de faciliter la mise en œuvre des tiges d'ancrage et d'éviter toute confusion en phase chantier, les entraxes et types de tiges seront standardisés autant que possible.

La semelle de fixation des supports présentera, en son centre, un espace vide suffisant afin de permettre la remontée des différents fourreaux et câbles (injection, parafoudre, feux de présence tension...) à l'intérieur des supports.

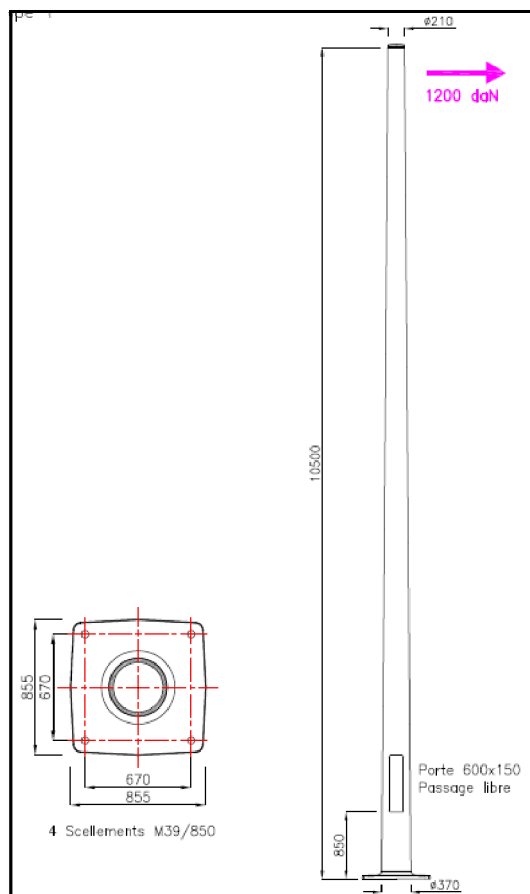
Les supports LAC pourront servir à la fixation de divers éléments tels que : Éclairage Public, Signalisation, Mobilier de Station, Caméras, Haut-Parleurs.

**Figure 3.18 Détails de supports de LAC**



Le choix de support cylindro-conique se justifie par :

- Un aspect mécanique : Les supports LAC seront de résistance omnidirectionnelle.
- Un aspect sécuritaire : Les remontées de câbles se feront à l'intérieur des supports. L'accès se fera avec une trappe de visite située à env 1.00m du sol.
- Un aspect esthétique : Meilleur intégration visuelle que des supports de type HE.

**Figure 3.19 Spécificités techniques de supports de LAC****MUTUALISATION DU SUPPORT DE LAC AVEC D'AUTRES SYSTÈMES**

Afin de minimiser les émergences le long du parcours du trolleybus, notamment sur les trottoirs, il est d'usage de mutualiser les supports en leur affectant plusieurs fonctions :

- Éclairage de rue;
- Éclairage de trottoir;
- Signalisation lumineuse (feux);
- Signalisation fixe;
- Support de la LAC.

Afin de permettre cette cohabitation de fonctions, certaines règles sont cependant à respecter.

- Les appareils d'éclairage et leurs accessoires, lorsqu'ils sont placés sur des supports de lignes électriques aériennes BT en conducteurs nus, doivent être à au moins 1 mètre de ces conducteurs;
- Les installations d'éclairage (câbles, luminaires, protections) devront être réalisées selon le principe de la double isolation entre traction et éclairage.

## **LOCALISATION DES SUPPORTS DE LAC**

Les règles principales appelées « Règles de piquetage » régissent et définissent l'ensemble des équipements des voies courantes et des stations. Elles permettent la cohérence du projet et la mise en œuvre des points suivants :

- Définition de la répartition longitudinale des supports en voie courante et en tenant compte de leur environnement tel que les signaux lumineux, éclairage, canalisations, bâtiments, accès riverains, abords des ouvrages, carrefours...
- Élaboration du tracé de la LAC en tenant compte de l'axe de circulation des véhicules, du découpage électrique, mécanique et de la position des isolements de la ligne aérienne.

Des règles d'implantation, seront appliquées afin de régir et définir l'ensemble des équipements sur le tracé de la ligne. Elles permettent d'assurer la cohérence du projet et la mise en œuvre des points suivants :

- Répartition longitudinale des supports en tenant compte de leur environnement
  - ▶ Les ouvrages (pont-route, pont-rail, carrefour, traversées ferroviaires,...),
  - ▶ Bâtiments,
  - ▶ Réseaux enterrés (eau, télécommunications, gaz,...),
  - ▶ Lignes de transport énergie aérienne et souterraine (HT, BT)
  - ▶ Signalisation routière lumineuse ou non,
  - ▶ Éclairage public,
  - ▶ Espaces verts,
  - ▶ Aménagement urbain (voies dédiées, stationnement);
  - ▶ Position des Sous Stations de Redressement,
  - ▶ Etc.
- L'élaboration du tracé de la LAC en tenant compte de l'axe de circulation des véhicules, du découpage électrique;
- Les règles de piquetage qui déterminent les portées maximales de la ligne aérienne en fonction du tracé de voie. Par portée, nous désignons la distance entre deux suspensions de ligne de contact;
- Les contraintes dues à l'environnement proche de la plate-forme du trolleybus, notamment lorsque le site est considéré mixte, utilisé par d'autres modes de transport;
- Les prescriptions de sécurité régies par les villes de Montréal et Laval ainsi que par le Ministère des transports du Québec (ex : dégagement pour des contraintes de déneigement ou la circulation des véhicules d'urgence).

Dans le cadre du projet du SRB Pie-IX, une interdistance moyenne de 25m entre les supports de LAC est considérée.

### **3.5 ENVIRONNEMENT CLIMATIQUE**

#### **3.5.1 Paramètres climatiques à considérer**

Dans le cadre de l'électrification du SRB Pie IX, les conditions climatiques à considérer seront les suivantes :

##### **TEMPÉRATURES**

La plage de température ambiante à prendre en considération pour la ligne aérienne est comprise entre  $-40^{\circ}$  et  $+40^{\circ}$  Celsius. La température moyenne pour les conducteurs à considérer est de  $0^{\circ}$  C.

##### **CONDITIONS PARASISMQUES**

Conformément aux règles du Code Canadien du Bâtiment, les charges et effets pris en compte pour vérification de la résistance des structures aux séismes seront affectés de coefficients de pondération réduits à l'unité.

##### **CONDITIONS ISOKÉRAUNQUES (FOUDRE)**

Les hypothèses de calculs de l'infrastructure de la ligne aérienne tiennent compte des normes françaises et Européennes de protection contre la foudre en vigueur (EN 50125-2).

##### **CONDITIONS GÉOGRAPHIQUES**

La carte de charges climatiques à considérer est la norme canadienne CSA C22.3 n° 1-06 indiquant que la région de Montréal est située dans une zone de forte présence de givre. Celui-ci peut atteindre une épaisseur de 13mm radialement.

À cette contrainte, il faut considérer une vitesse du vent élevée exerçant une pression latérale de  $400\text{N/mm}^2$  env à la température la plus basse, soit  $-20^{\circ}\text{C}$ .

De ce fait, le dimensionnement des éléments constituant le système caténaire doit impérativement se faire en tenant compte de ces éléments climatiques.

#### **3.5.2 Mesures de lutte contre le givre**

Afin de permettre un fonctionnement adéquat du système caténaire, des moyens de lutte contre le givre ont été mis en place dans diverses villes ayant des conditions climatiques semblables à celles de Montréal (Norvège, Chicago, Toronto, Lausanne...):

##### **SYSTÈME DE RÉCHAUFFAGE DES LAC**

Un câble électrique isolé chauffant est installé par pincement au-dessus de lignes de contact afin de faire fondre la glace. Il est assez coûteux et ne se justifie pas du fait du peu d'utilisations annuelles.

##### **SYSTÈME DE DÉGIVRAGE MOTORISÉ**

Un véhicule équipé de perches dites "raclantes" parcourt le trajet avant la première mise en service, afin de libérer les lignes de contact du givre.

## **PROCÉDÉ CHIMIQUE**

Ce procédé utilise des installations de dégivrage à base de glycol. L'installation de dégivrage est spécialement conçue à cette fin et est plus onéreuse que pour les méthodes mentionnées ci-dessus, mais il s'agit de la méthode la plus rapide. Elle présente également l'avantage que toute nouvelle accumulation de neige et de glace est différée et plus facile à éliminer.

Une attention particulière doit être portée quant à l'utilisation de ce produit:

- Suivant une notice technique d'un fabricant de Glycol, ce produit gèle à -18°C;
- Ce produit est considéré comme nocif suivant une directive européenne (1999/45/CE);
- Le fabricant prescrit de ne pas rejeter ce produit dans les canalisations souterraines, eaux superficielles et souterraines.

Le dégivrage par glycol ne doit donc pas être utilisé dans le milieu urbain, s'il y a risque de pollution et/ou de projection aérienne.

À ce stade des études et pour les fins d'estimations des coûts, nous avons considéré qu'un dégivrage motorisé serait utilisé. Ce choix devra être confirmé ultérieurement.

## 4.0 ANALYSE DE LA PRÉFAISABILITÉ TECHNIQUE DE L'ÉLECTRIFICATION DU SRB PIE-IX

L'analyse de la pré faisabilité technique de l'électrification du corridor Pie-IX consiste principalement à :

- Identifier les impacts de l'électrification sur les tronçons urbains du SRB Pie-IX;
- Identifier les points durs le long du parcours et évaluer si les contraintes qu'ils représentent sont compatibles avec les principes classiques d'électrification;
- Proposer des alternatives, le cas échéant, afin de résoudre les problèmes rencontrés. Ces solutions peuvent toucher à des éléments alternatifs en matière de technique et d'exploitation.

Les différents points et secteurs d'analyse identifiés sont:

- La cohabitation des bases des supports de LAC avec les massifs de la CSEM;
- La cohabitation de la LAC avec les feux de circulation;
- En section courante Montréal;
- En franchissement des ouvrages d'art à faible hauteur à Montréal;
- En franchissement des stations;
- Sur le pont reliant Montréal à Laval;
- Sur le secteur autoroutier à Laval;
- En franchissement de la voie ferrée à Laval;
- Sur le secteur en site propre à Laval.

Dans le cadre de ce mandat, il ne s'agit pas de définir le projet d'électrification de l'axe Pie-IX, mais bien d'en évaluer la pré faisabilité et d'y identifier des solutions potentielles en soulignant les bénéfices, les impacts et les coûts.

Ainsi, la démarche d'analyse de la pré faisabilité de l'électrification va principalement se baser sur des coupes type le long du tracé, avec une mise en plan uniquement pour un carrefour type avec station, afin d'évaluer les contraintes que représentent les diverses transitions présentes au niveau des aménagements.

Au niveau du passage sur des ponts et/ou viaducs, le consultant propose un dimensionnement préliminaire des éléments nécessaires à l'électrification de la ligne (efforts en pied de support LAC, dimension mini de multitubulaire,...).

Une synthèse de l'évaluation de la pré faisabilité de l'électrification du corridor Pie-IX vient préciser les principales contraintes du projet et la manière de les solutionner et/ou de les contourner.

#### 4.1 COHABITATION BASES SUPPORTS DE LAC AVEC MASSIFS CSEM

La cohabitation des bases des supports de LAC avec les massifs existants de la CSEM est possible, sans devoir déplacer ces derniers sur l'ensemble du linéaire. Afin de faciliter la mise en place des bases, il est possible de devoir ponctuellement déplacer certains massifs.

Le principe est de localiser la semelle de la base en dessous du massif de la CSEM, selon les deux cas suivants:

- Dans la très grande majorité des cas le dessous du massif CSEM est moins profond que 1400mm. Il est donc possible de positionner la base sous le massif CSEM sans déplacer celui-ci. Cette solution sera appliquée dans les cas où il faut construire un nouveau massif de la CSEM;
- Si le dessous du massif CSEM est plus profond il est possible d'enterrer la base plus profondément, pour la faire passer sous le massif.

**Figure 4.1 Exemple de dimensions d'une base de support de LAC et cohabitation possible avec massif CSEM**

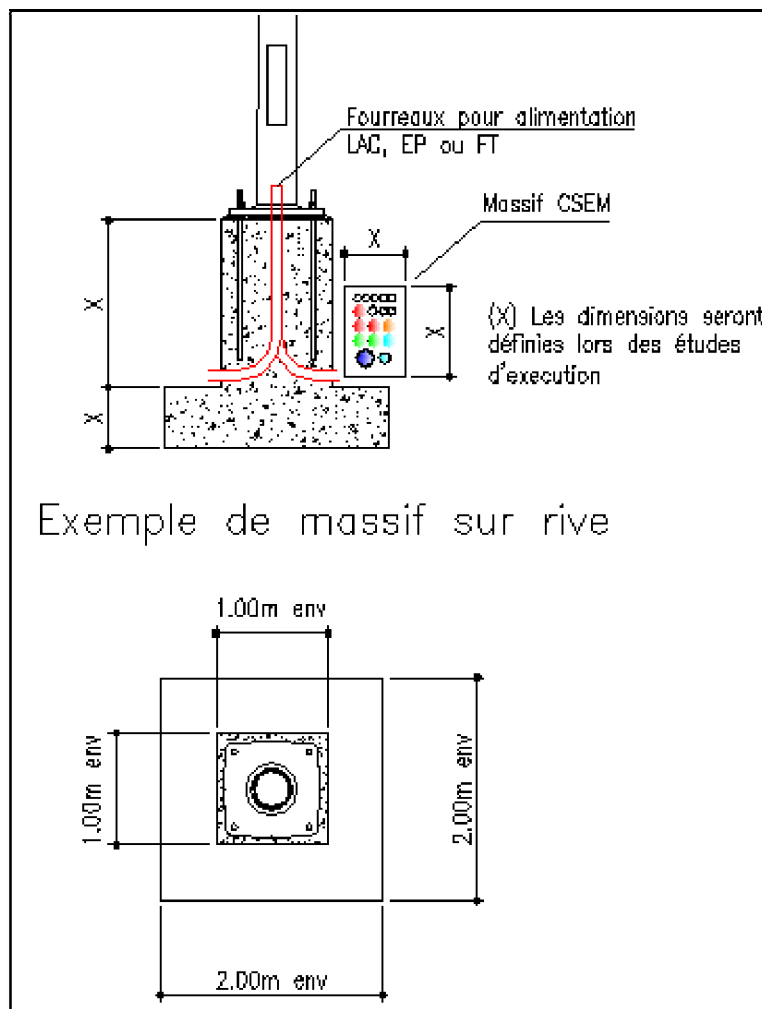


**Figure 4.2** Exemple de la plaque de boulonnage d'un support de LAC



## **4.2 COHABITATION LAC – FEUX DE CIRCULATION**

Un point à analyser est la cohabitation de la LAC avec les feux de circulation, notamment de s'assurer que les supports de la LAC ne vont pas obstruer la visibilité des feux de circulation.

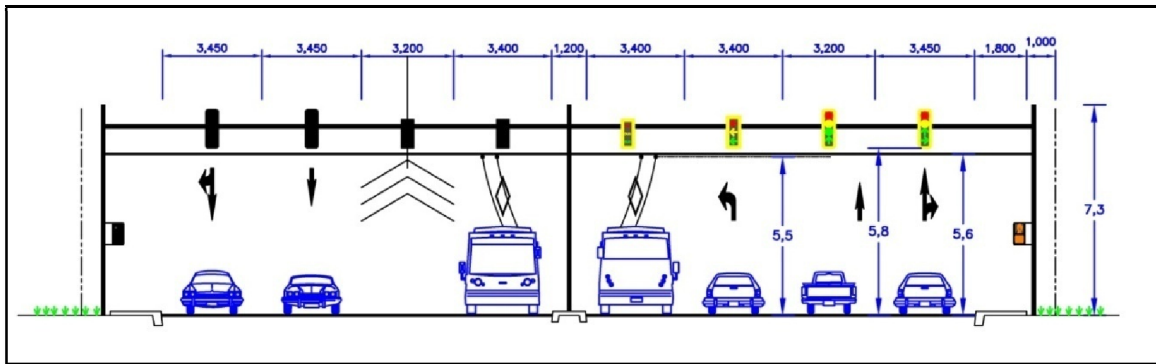
Selon les normes du MTQ (Tome V, chapitre 8), la hauteur libre sous une tête de feux doit être située entre 4,60 et 5,80m.

Selon les standards de la Ville de Montréal et de Laval, la hauteur libre sous une tête de feux doit être de 5,8m.

La LAC étant à une hauteur de 5.50m, le dégagement de sécurité de 0.30m (ou 1 pi) sera respecté.

Dans le cas d'une mixité de support LAC et feux de circulation, les LAC seront suspendues de manière à ce qu'elles ne soient pas à proximité immédiate des feux, afin d'assurer une meilleure visibilité de ceux-ci. Dans le cas du projet SRB Pie-IX, il est considéré que les têtes de feux seront posées sur des portiques.

Ainsi, il n'y a pas d'interférence physique ou visuelle entre les supports de la LAC et les têtes de feux (voir la figure 4.3 ci-après).

**Figure 4.3 Coupes-types de carrefours: cohabitation LAC – feux**

### 4.3 SECTION COURANTE MONTRÉAL – SITE BILATÉRAL "MEDIAN"

En section courante (site médian) à Montréal, il n'y a pas de contrainte particulière qui risque de perturber l'électrification du SRB Pie-IX. Le principal enjeu se situe au niveau du type et de la localisation des supports de la LAC.

#### 4.3.1 Implantation des supports

Dans les tronçons où le SRB Pie-IX est localisé en voie réservée sur la voie médiane (voie de droite affectée au stationnement, au virage à droite ou à la station), deux options d'implantation des supports de la LAC sont possibles :

- Supports en position latérales, sur les trottoirs, avec potence longue pour soutenir la LAC (8,50 m);
- Supports en position latérales, sur les trottoirs, avec câble tendu en travers de la chaussée pour soutenir la LAC.

#### POSITION SUR LES TROTTOIRS AVEC POTENCE LONGUE (~8M)

##### *Évaluation des impacts et des enjeux*

- Supports latéraux avec potence longue;
- Fondation importante pour la base du support de LAC en raison des importants efforts horizontaux;
- Possibilité de positionner les bases des supports de la LAC en dessous des massifs de la CSEM;
- Nécessite suffisamment de place dans les massifs actuels de la CSEM pour l'alimentation de la LAC, ainsi que pour l'alimentation des stations;
- Permet d'atténuer l'impact visuel des supports, notamment si arborisation des trottoirs. Cependant les longues potences auront un impact visuel certain;
- Potentiel de conflits avec les arbres matures, pouvant toutefois être atténué en modifiant ponctuellement l'alignement et l'interdistance des supports de LAC si besoin.

## **POSITION SUR LES TROTTOIRS AVEC CÂBLE**

### ***Évaluation des impacts et des enjeux***

- Supports sur les trottoirs avec câble tendu (synthétique);
- Fondations importantes pour les bases des supports de LAC en raison des importants efforts horizontaux;
- Possibilité de positionner les bases des supports de la LAC en dessous des massifs de la CSEM;
- Nécessite suffisamment de place dans les massifs actuels de la CSEM pour l'alimentation de la LAC, ainsi que pour l'alimentation des stations;
- Permet d'atténuer l'impact visuel, notamment si arborisation des trottoirs;
- Potentiel de conflits avec les arbres matures, pouvant toutefois être atténué en modifiant ponctuellement l'alignement et l'interdistance des supports de LAC si besoin.

### **RECOMMANDATION**

Variante avec supports latéraux et câble de support de la LAC semble plus appropriée. De plus, cela permet de donner une uniformité à l'aménagement urbain dans le secteur montréalais.

## **4.4 TRANSITION MÉDIANE - CENTRAL**

Dans le tronçon où la voie réservée passe d'une position médiane à une position centrale, il n'y a pas de contrainte particulière qui risque de perturber l'électrification du SRB Pie-IX. Le principal enjeu se situe au niveau du type et de la localisation des supports de la LAC.

Pour ce cas spécifique, une seule solution de localisation des supports de la LAC est possible, car la LAC change trop d'alignement: supports de LAC sur trottoirs avec câble.

## **POSITION SUR LES TROTTOIRS AVEC CÂBLE**

### ***Évaluation des impacts et des enjeux***

- Supports sur les trottoirs avec câble tendu (synthétique)
- Fondations importantes pour les bases des supports de LAC en raison des importants efforts horizontaux;
- Possibilité de positionner les bases des supports de la LAC en dessous des massifs de la CSEM;
- Nécessite suffisamment de place dans les massifs actuels de la CSEM pour l'alimentation de la LAC, ainsi que pour l'alimentation des stations;
- Permet d'atténuer l'impact visuel, notamment si arborisation des trottoirs;
- Potentiel de conflits avec les arbres matures, pouvant toutefois être atténué en modifiant ponctuellement l'alignement et l'interdistance des supports de LAC si besoin.

### **RECOMMANDATION**

Solution avec supports latéraux et câble de support de la LAC est la seule possible.

## 4.5 SECTION COURANTE MONTRÉAL – SITE CENTRAL

En section courante (site central) à Montréal, il n'y a pas de contrainte particulière qui risque de perturber l'électrification du SRB Pie-IX. Le principal enjeu se situe au niveau du type et de la localisation des supports de la LAC.

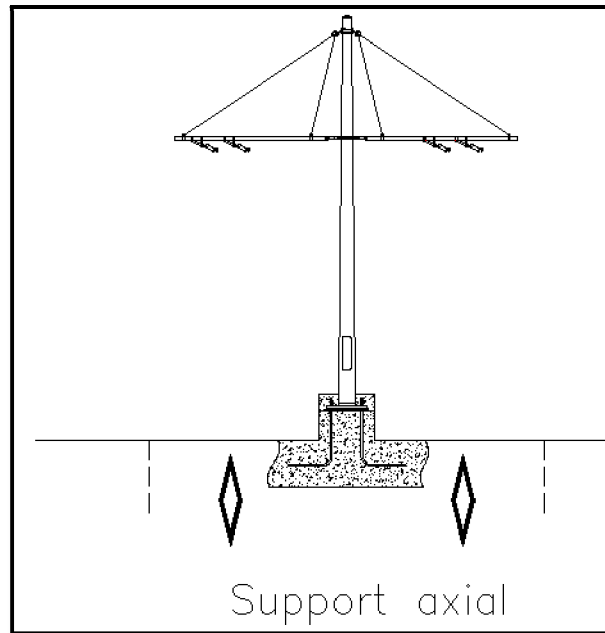
### 4.5.1 Implantation des supports d'alimentation

Dans les tronçons où le SRB Pie-IX est localisé en voie réservée au centre de la chaussée, deux options d'implantation des supports de la LAC sont possibles:

- Supports en position centrale, sur le terreplein, avec double potence pour soutenir la LAC;
- Supports en position latérales, sur les trottoirs, avec câble tendu en travers de la chaussée pour soutenir la LAC.

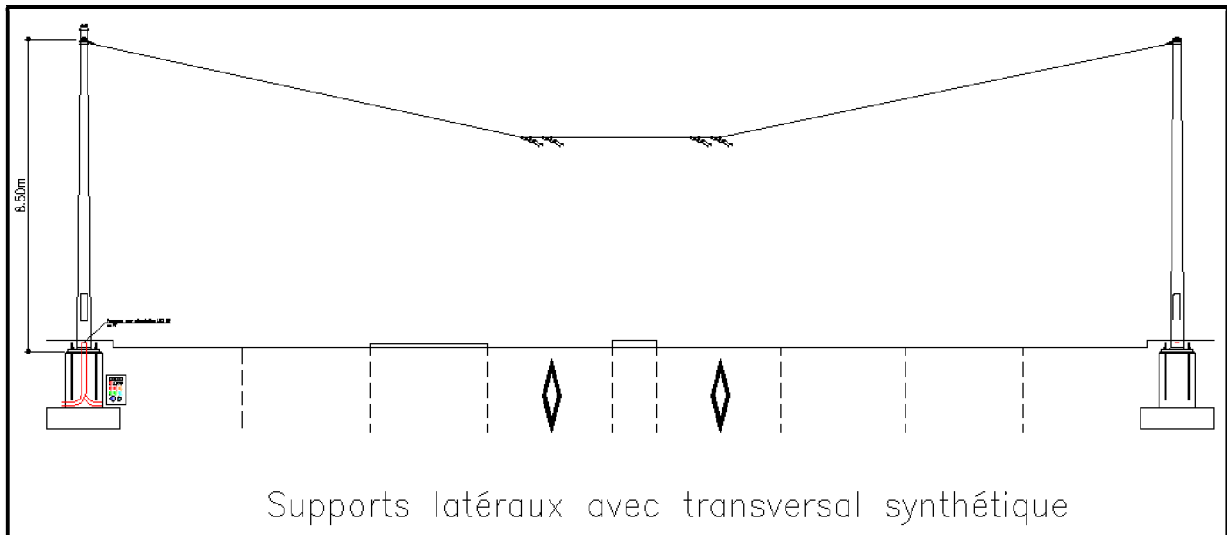
#### POSITION CENTRALE AVEC DOUBLE POTENCE

**Figure 4.4** Accroche de LAC par support central et double potence



#### **Évaluation des impacts et des enjeux**

- Supports centraux avec double potence;
- Nécessite un nouveau massif central pour l'alimentation de la LAC, ainsi que pour l'alimentation des stations;
- Peu de contraintes avec les réseaux et infrastructures souterraines;
- Permet de réduire la taille des bases des supports de LAC car efforts symétriques;
- Impact visuel certain;
- Permet de réduire les coûts liés aux supports de LAC.

**POSITION SUR LES TROTTOIRS AVEC CÂBLE****Figure 4.5 Accroche de LAC par support latéraux et câble transversal****Évaluation des impacts et des enjeux**

- Supports sur les trottoirs avec câble tendu (synthétique);
- Fondations importantes pour les bases des supports de LAC en raison des importants efforts horizontaux;
- Possibilité de positionner les bases des supports de la LAC en dessous des massifs de la CSEM;
- Nécessite suffisamment de place dans les massifs actuels de la CSEM pour l'alimentation de la LAC, ainsi que pour l'alimentation des stations;
- Permet d'atténuer l'impact visuel, notamment si arborisation des trottoirs;
- Potentiel de conflits avec les arbres matures, pouvant toutefois être atténué en modifiant ponctuellement l'alignement et l'interdistance des supports de LAC si besoin.

**RECOMMANDATION**

Les deux solutions sont possibles

Le choix final se fera en fonction de:

- Impacts visuels;
- Place disponible dans les massifs CSEM;
- Impacts sur les arbres.

Cependant, en raison que la variante avec supports latéraux et câble de support de la LAC est recommandée sur tous les autres tronçons à Montréal, il serait préférable de retenir cette solution pour les sections courantes, afin d'assurer une certaine harmonie au projet.

Les choix de conception des différents systèmes pourront faire l'objet d'optimisation en terme des coûts lors des phases subséquentes du projet (avant-projets, plans et devis, stratégie de construction, réalisation, mise en service et exploitation.).

#### 4.6 FRANCHISSEMENT DES STATIONS – SITE CENTRAL

En franchissement des stations à Montréal, il n'y a pas d'espace disponible pour implanter un support de LAC sur le quai de la station ou sur le terreplein opposé. Ainsi, une seule solution de localisation des supports de la LAC est possible: supports de LAC sur trottoirs avec câble.

Ce système de soutien de la LAC sera à intégrer au concept architectural des stations, afin d'assurer sa bonne intégration visuelle.

##### **Évaluation des impacts et des enjeux**

- Supports sur les trottoirs avec câble tendu (synthétique);
- Fondations importantes pour les bases des supports de LAC en raison des importants efforts horizontaux;
- Possibilité de positionner les bases des supports de la LAC en dessous des massifs de la CSEM;
- Nécessite suffisamment de place dans les massifs actuels de la CSEM pour l'alimentation de la LAC, ainsi que pour l'alimentation des stations;
- Permet d'atténuer l'impact visuel, notamment si arborisation des trottoirs;
- Potentiel de conflits avec les arbres matures, pouvant toutefois être atténué en modifiant ponctuellement l'alignement et l'interdistance des supports de LAC si besoin.

##### **RECOMMANDATION**

Du fait de l'implantation centrale des voies de circulation des SRB, l'équipement des lignes aériennes ne pourra se faire que par les supports implantés sur les trottoirs, entre les arbres et équipés d'un câble synthétique en « parafil », résistant aux conditions climatiques (dépôt de givre), isolant et ayant une résistance mécanique importante.

Ce type d'équipement est courant dans les électrifications urbaines en Europe, et est utilisé depuis plus de 20 ans dans plusieurs villes de France.

**Figure 4.6 Exemple d'accroche de LAC par support latéraux et câble transversal**



#### 4.7 FRANCHISSEMENT DES OUVRAGES D'ART À FAIBLE HAUTEUR À MONTRÉAL

Deux ouvrages à hauteur limitée sont présents sur le tracé du tramway:

- **Autoroute métropolitaine (A-40):**
  - ▶ Limitée à 4,20m
  - ▶ Hauteur libre réelle: 4,25m
  - ▶ Route décaissée pour assurer une hauteur libre suffisante

**Figure 4.7 Prises de vue du viaduc de l'A-40**



- **Voie ferrée (Industriel):**
  - ▶ Limitée à 4,20m
  - ▶ Hauteur libre réelle: 4,72m
  - ▶ Pas de mesure spécifique pour le passage sous ce viaduc

**Figure 4.8 Prise de vue du viaduc Industriel**



La hauteur de ces viaducs est inférieure à la recommandation de la norme Hydro-Québec D1740 B41,11:  $4,9\text{m} + 0,3\text{m de dégagement} = 5,20\text{m}$ .

La hauteur minimale recommandée de 4,90m tient certainement compte d'une circulation générale sous la LAC avec des véhicules pouvant avoir un gabarit supérieur au trolleybus (3,70m).

Dans le cadre du projet de SRB Pie-IX, seuls les autobus et les trolleybus vont emprunter la voie réservée centrale. Ainsi deux contraintes sont à adresser:

- Le franchissement du viaduc par le trolleybus;
- Le franchissement d'un axe transversal à proximité d'un viaduc.

#### **4.7.1 Franchissement du viaduc par le trolleybus**

Dans le cadre du franchissement du viaduc par le trolleybus il est possible de déroger à la norme Hydro-Québec D1740 B41,11, en tenant compte des éléments suivants:

- Véhicule capable de captage d'énergie avec une LAC à 3,70m;
- Possibilité d'isoler la LAC sous le viaduc en installant un "rail" d'isolation sous le viaduc. Dans un tel cas la distance réelle entre la LAC et l'intrados du viaduc est de  $\sim 15\text{cm}$ .

Ainsi, il serait techniquement possible de franchir un viaduc de 3,85m.

Dans le cas des deux viaducs à l'étude, il est donc possible de les franchir avec un trolleybus et une LAC abaissée.

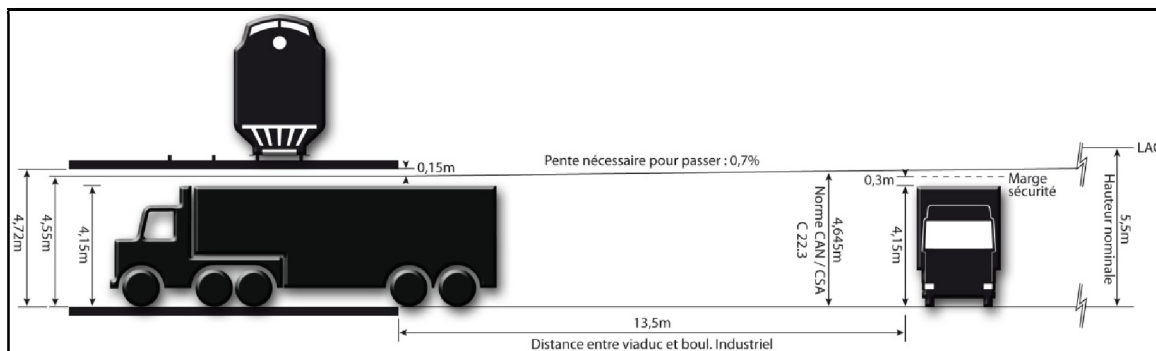
#### **4.7.2 Franchissement de la LAC par circulation transversale**

Le cas le plus discriminant se situe à la hauteur de la rue Industriel. En effet, cet axe est situé à  $\sim 13,50\text{m}$  au nord du viaduc ferroviaire qui possède une hauteur libre de 4,72m.

En appliquant les hypothèses décrites ci-avant il serait donc possible d'avoir une LAC avec une hauteur de 4,55m sous le viaduc et qui atteindrait une hauteur de 5,50m en franchissement de la rue Industriel.

Selon la norme CAN/CSA-C22.3 n°1, la hauteur minimale d'un conducteur 750 V en franchissement d'une chaussée est de 4,42m plus un dégagement de 0,225m, soit au total une hauteur libre de 4,645m.

En ce qui concerne les gabarits des véhicules standards, il se situe à 4,15m. Normalement le MTQ s'accorde une marge de sécurité supplémentaire de l'ordre de 0,30m pour la hauteur libre totale de 4,45m.

**Figure 4.9 Profil en long à la hauteur du viaduc Industriel**

La norme CAN/CSA-C22.3 n°1 est donc la plus contraignante avec une hauteur libre nécessaire de 4,625m au droit d'Industriel. Afin de respecter la norme minimale de 4,645m, la LAC aurait une pente 0,7% (voir la Figure 4.9).

Dans le cas où on souhaiterait maintenir une hauteur libre de 5,50m en franchissement du carrefour, qui est la même qu'à tous les autres carrefours du tracé, la pente de la LAC serait alors de 7%. Cette pente de 7% de la LAC ne pose pas de problème spécifique d'exploitation.

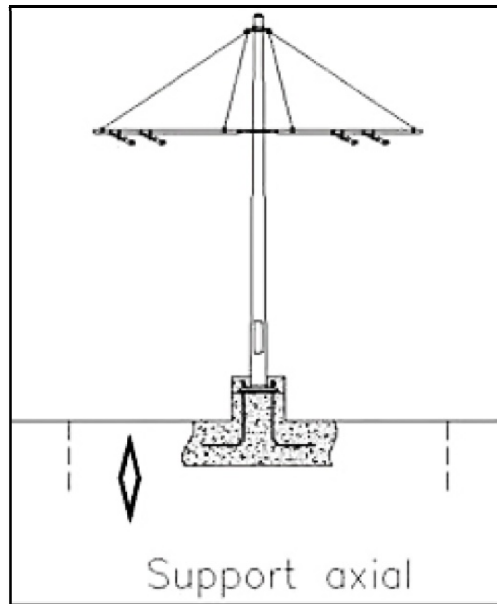
Il n'y a donc pas de contrainte de gabarit pour que les véhicules standards franchissent la LAC à la hauteur du boulevard Industriel.

## 4.8 PONT RELIANT MONTRÉAL À LAVAL (PONT PIE-IX)

### 4.8.1 Implantation des supports de LAC

Pour limiter la taille des bases et des efforts transmis au tablier du pont, il est souhaitable d'accrocher la LAC sur un support avec double potence. Les bases pour ces supports devraient être intégrées à la nouvelle glissière rigide médiane du pont (glissière médiane rigide), dans le cadre de la réfection de celui-ci.

Afin de respecter la taille de la plaque de boulonnage du support de LAC, la section de la glissière rigide devrait être de l'ordre de 1250mm à sa base. La section prévue par le MTQ de la glissière rigide est de l'ordre de 750mm dans le cadre de son projet de réfection du pont. Il s'agit donc de récupérer quelques 500mm en redistribuant les largeurs des différentes voies de circulation pour permettre l'aménagement d'une glissière rigide compatible avec les besoins du trolleybus.

**Figure 4.10 Exemple d'implantation des supports de LAC sur le pont Pie-IX**

#### 4.8.2 Analyse de circulation et de sécurité

Le réaménagement du Pont Pie-IX comporte deux voies véhiculaires en direction nord et quatre voies en direction sud dont une réservée aux autobus. En direction nord, les trolleybus emprunteront une voie régulière lorsqu'ils circuleront sur le Pont Pie-IX. La vitesse pratiquée maximale des trolleybus est de 65 km/h, ce qui est inférieur à la limite affichée (80 km/h) et à la vitesse pratiquée par les usagers du pont (94 km/h). Les déplacements en trolleybus présentent un différentiel de vitesse important avec les autres véhicules, ce qui soulève des préoccupations en termes de circulation et de sécurité.

Ainsi, la section suivante présente une analyse permettant de déterminer si l'implantation de trolleybus sur le pont engendrera des problématiques de circulation et de sécurité.

#### MÉTHODOLOGIE

Afin d'évaluer l'impact des trolleybus sur la circulation et la sécurité sur le Pont Pie-IX en direction nord, une microsimulation a été réalisée à l'aide du logiciel *Paramics*. Ce logiciel permet de modéliser le mouvement de chaque véhicule à l'intérieur d'un réseau de transport tout en considérant les transports collectifs, les différents types de véhicules, etc. Il considère les caractéristiques des véhicules (longueur, taux d'accélération, etc.), les règles de la physique et le comportement des conducteurs (file d'attente, changements de voie, choix des routes, etc.). Par ailleurs, *Paramics* comprend une application permettant de programmer le logiciel pour effectuer des analyses particulières. Grâce à cette flexibilité du logiciel, il a été possible d'évaluer l'impact de la circulation des trolleybus sur la sécurité routière.

En premier lieu, la microsimulation a permis de déterminer la vitesse moyenne des véhicules sur le pont afin de mettre en évidence la présence ou non d'une problématique de circulation. Par la suite, une analyse des conflits entre les véhicules a été réalisée pour évaluer l'impact sur la sécurité.

Les deux scénarios suivants ont été considérés dans cette analyse :

- Scénario de base : 22 autobus/h circulent sur le Pont Pie-IX;
- Scénario 1 : 10 trolleybus/h et 12 autobus/h circulent sur le Pont Pie-IX.

Chaque scénario a été simulé pour les heures de pointe du matin (7 h 30 à 8 h 30) et de l'après-midi (16 h à 17 h). Les paramètres considérés pour ces simulations sont :

- Autobus et trolleybus circulent dans la voie de droite;
- Limite de vitesse sur le Pont Pie-IX : 80 km/h (valeur non utilisée dans les analyses; les vitesses pratiquées des véhicules ont plutôt été utilisées);
- Vitesse pratiquée au 85<sup>e</sup> centile des automobiles, autobus et véhicules lourds : 94 km/h<sup>4</sup>;
- Vitesse pratiquée des trolleybus : 55,3 km/h qui représente la vitesse au 85<sup>e</sup> centile de la vitesse maximale d'un trolleybus (65 km/h) ;
- Débits véhiculaires sur le Pont Pie-IX en direction nord : 2 240 véhicules (AM) et 2 925 véhicules (PM);
- % véhicules lourds : 7 % (AM) et 3 % (PM).

### **ANALYSE DE CIRCULATION**

La microsimulation permet d'estimer la vitesse moyenne des véhicules lorsqu'ils circulent sur le pont. Les tableaux 4.1 et 4.2 présentent la moyenne des vitesses et l'écart-type des véhicules motorisés (automobiles, autobus et véhicules lourds) et des trolleybus respectivement. Mentionnons que l'écart-type permet de mesurer la dispersion des vitesses des véhicules. Plus l'écart-type est élevé, plus les vitesses sont variables entre les véhicules.

**Tableau 4.1 Vitesse moyenne et écart-type des véhicules motorisés**

| Période de pointe | Scénarios        | Vitesse pratiquée moyenne (km/h) | Écart-type (km/h) |
|-------------------|------------------|----------------------------------|-------------------|
| AM                | Scénario de base | 89,61                            | 0.10              |
|                   | Scénario 1       | 87,04                            | 0.10              |
| PM                | Scénario de base | 89,03                            | 0.09              |
|                   | Scénario 1       | 85,49                            | 0.20              |

**Tableau 4.2 Vitesse moyenne et écart-type des trolleybus**

| Période de pointe | Scénarios  | Vitesse pratiquée moyenne (km/h) | Écart-type (km/h) |
|-------------------|------------|----------------------------------|-------------------|
| AM                | Scénario 1 | 54,46                            | 0.13              |
| PM                | Scénario 1 | 54,40                            | 0.24              |

Selon les tableaux pour le scénario de base, les véhicules motorisés circulent en moyenne à une vitesse de 89 km/h aux heures de pointe du matin et de l'après-midi. Peu de variation de la vitesse

<sup>4</sup> Cette vitesse représente la vitesse maximale à laquelle 85 % des usagers circulent sur le pont en direction nord. Cette vitesse a été déterminée à l'aide d'un relevé des vitesses instantanées sur le pont réalisé le 28 juillet 2011 durant les périodes de 7 h 35 à 8 h 35 (210 relevés), 13 h 43 à 14 h 43 (212 relevés) et 16 h 30 à 17 h 30 (241 relevés).

entre les véhicules motorisés est notée puisque l'écart-type est faible, soit de l'ordre de 0,09 à 0,10 km/h.

Pour ce qui est du scénario impliquant les trolleybus (scénario 1), un différentiel important entre la vitesse des trolleybus et celle des véhicules motorisés est observé pour les deux périodes de pointe de la journée. En effet, la vitesse recensée pour les automobiles, véhicules lourds et autobus est de 87 km/h le matin et de 85 km/h l'après-midi tandis que les trolleybus circulent à 54 km/h aux deux périodes. Toutefois, la vitesse des véhicules motorisés demeure uniforme puisque l'écart-type est faible (0,20 km/h, l'après-midi), ce qui indique que la circulation n'est pas perturbée par la présence des trolleybus.

En conclusion, les résultats de cette analyse pour les deux scénarios n'ont révélé aucune problématique de circulation sur le Pont Pie-IX, tant pour l'heure de pointe du matin que pour celle de l'après-midi.

### **ANALYSE DES CONFLITS VÉHICULAIRES**

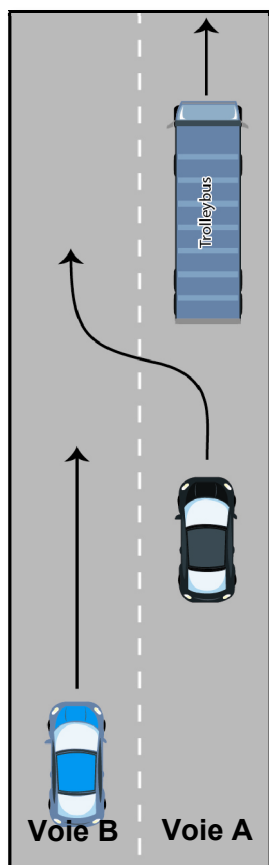
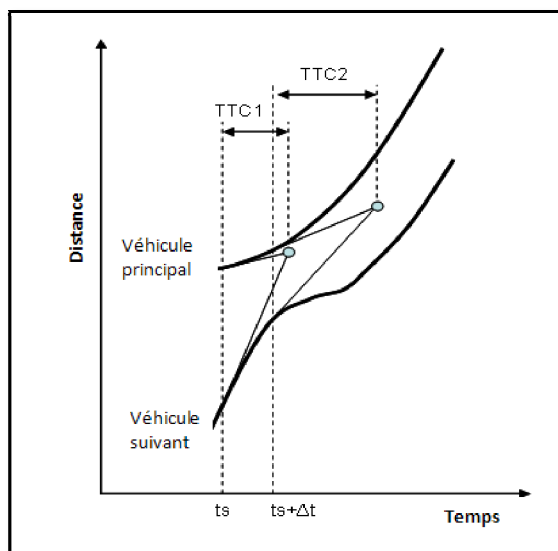
La microsimulation à l'aide du logiciel *Paramics* permet d'estimer le nombre de conflits potentiels pouvant survenir sur le Pont Pie-IX entre les divers véhicules, et ce, pour les deux scénarios à l'étude. Cette analyse est basée sur l'observation de points de conflit sur le Pont Pie-IX lorsque des manœuvres de changements de voie et des décélérations surviennent. Une description détaillée des deux types de conflits potentiels est présentée ci-dessous.

#### ***Conflit créé par un changement de voie***

Ce type de conflit survient entre un véhicule effectuant un changement de voie, soit de la voie A vers la voie B, et le véhicule qui le suit dans la voie B tel qu'illustré à la Figure 4.11.

De façon plus théorique, la Figure 4.12 présente l'évolution temporelle du véhicule effectuant le changement de voie et du véhicule qui le suit dans cette voie. Les courbes supérieure et inférieure du graphique illustrent, respectivement, le véhicule effectuant le changement de voie et le véhicule qui le précède:

- Au temps  $t_s$ , le véhicule principal amorce une manœuvre de changement de voie;
- Le temps nécessaire pour que le second véhicule atteigne la position initiale du véhicule principal, suite au changement de voie, est défini comme étant le temps de conflit (TTC1);
- Au temps  $t_s + \Delta t$ , un second changement de voie est initié et un nouveau temps de conflit est obtenu.

**Figure 4.11** Illustration d'un point de conflit lors d'un changement de voie**Figure 4.12** Évolution temporelle d'un changement de voie

Un conflit est enregistré lorsque les temps de conflits obtenus (TTC) sont inférieurs à un seuil prédéfini. Dans le cas échéant, le seuil prédéfini est de 1,5 seconde et est basé sur les données du FHWA<sup>5</sup> concernant les temps de conflit.

Donc, si le véhicule suivant prend moins de 1,5 seconde pour se rendre à la position initiale du véhicule ayant effectué un changement de voie, il y a collision.

<sup>5</sup> *Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models*, FHWA, 2003 (FHWA-RD-03-050)

### Conflit créé par une décélération/freinage brusque

Ce type de conflit survient entre un véhicule qui effectue un freinage brusque et le véhicule qui le suit dans la même voie, tel qu'illustré à la Figure 4.13.

De façon théorique, la Figure 4.14 présente l'évolution temporelle d'un véhicule décélérant ou freinant et du véhicule qui le suit.

L'évolution dans le temps de cette manœuvre est la même que celle d'un changement de voie, décrite précédemment.

- Au temps  $t_s$ , le véhicule principal décélère ou freine;
- TTC correspond au temps que prend le second véhicule pour atteindre la position du premier véhicule (position au début de la décélération/freinage);
- D'autres véhicules décélérant/freinant débutent leur manœuvre aux temps  $t_s + \Delta t$ ,  $t_s + 2\Delta t$

Un conflit est enregistré lorsque les temps de conflits obtenus (TTC) sont inférieurs à 1,5 seconde. Il s'agit du même seuil que celui considéré pour les manœuvres de changement de voie. Donc, si le véhicule suivant ne décélère pas suite au freinage/décélération du véhicule principal (TTC de faible valeur), une collision survient.

**Figure 4.13** Illustration d'un point de conflit lors d'un freinage brusque

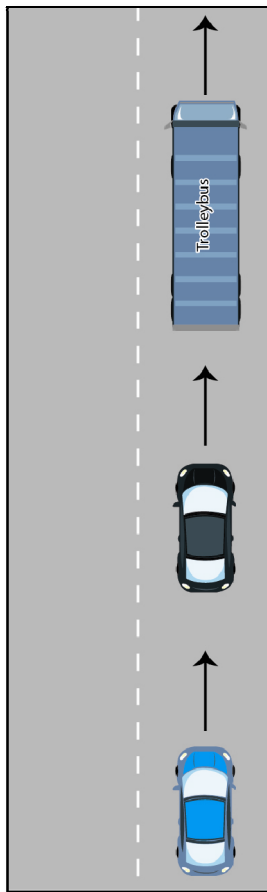
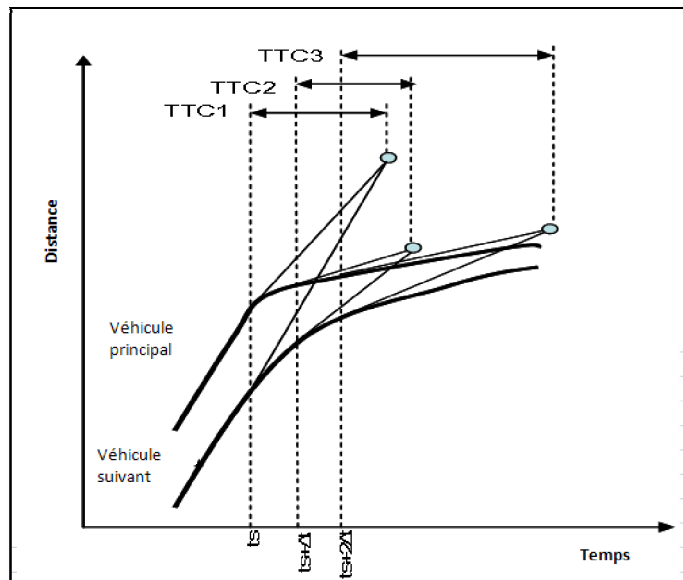


**Figure 4.14** Évolution temporelle d'un freinage



Le tableau 4.3 présente les résultats de l'analyse des conflits réalisée pour les deux scénarios à l'heure de pointe du matin et à celle de l'après-midi, et ce, pour les manœuvres de changements de voie et les décélérations.

**Tableau 4.3 Analyse des conflits véhiculaires**

| Période de pointe | Manœuvres et conflits |       | Scénario de base | Scénario 1 | % Changement |
|-------------------|-----------------------|-------|------------------|------------|--------------|
| AM                | Débits véhiculaires   |       | 2 240            | 2 240      |              |
|                   | Nombre de manœuvres   | 1 408 | 1 429            | 1,5%       | 14 %         |
|                   |                       | 0     | 0                | 0 %        | 0 %          |
|                   |                       | 0     | 0                | 0 %        | 0 %          |
|                   | Nombre de conflits    | 0     | 0                | 0 %        | 0 %          |
| PM                | Débits véhiculaires   |       | 2 925            |            |              |
|                   | Nombre de manœuvres   | 1 448 | 1 456            | 0,6 %      | 138 %        |
|                   |                       | 0     | 0                | 0 %        | 0 %          |
|                   |                       | 0     | 0                | 0 %        | 0 %          |
|                   | Nombre de conflits    | 0     | 0                | 0 %        | 0 %          |

Selon ce tableau, l'ajout de trolleybus sur le réseau occasionne autant de changements de voie chez les conducteurs que la situation actuelle. En effet, à l'heure de pointe du matin, le nombre de changements de voie passe de 1408 à 1429 alors qu'en pointe PM, le nombre de manœuvres augmente de 1448 à 1456. Ces légères augmentations représentent des hausses de 1.54% et 0.6 % du nombre de changements de voie en période de pointe AM et PM, respectivement. Toutefois, ces changements de voie n'ont occasionné aucun conflit tel que décrit précédemment où le temps de collision est inférieur à 1,5 seconde.

En ce qui a trait au nombre de freinages, aucun n'a été recensé tant pour le scénario de base que pour le scénario 1.

Ainsi, aux heures de pointe, aucun conflit lié à une manœuvre de changement de voie ou à un freinage brusque n'a été recensé pour le scénario de base et le scénario 1.

## **CONCLUSIONS**

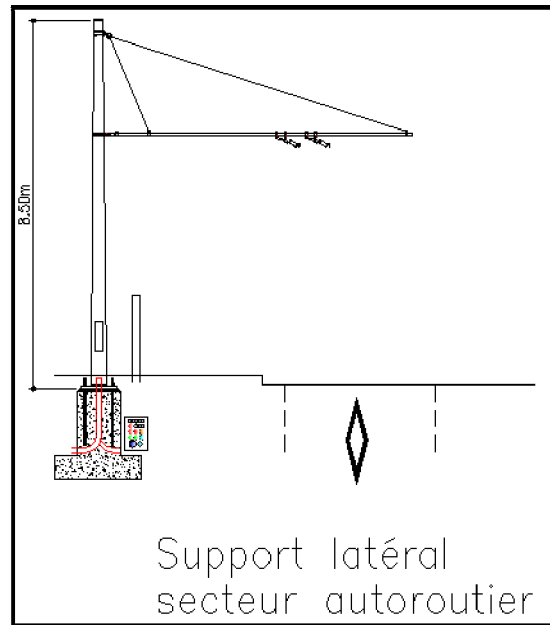
Selon les microsimulations réalisées à l'aide du logiciel *Paramics*, les trolleybus circulant dans une voie véhiculaire régulière du Pont Pie-IX en direction nord, limitée à 80km/h, ne pénalisent pas la circulation sur cet ouvrage de même que la sécurité des usagers de cette route.

Cette situation sera d'autant moins problématique avec l'abaissement de la vitesse à 70 km/h prévu par le MTQ dans le cadre de la réfection du pont Pie-IX.

#### 4.9 SECTEUR AUTOROUTIER À LAVAL

En ce qui concerne le tronçon autoroutier entre Concorde et Saint-Martin, il est prévu que le trolleybus emprunte l'accotement de droite. Ainsi les supports de la LAC avec une potence seront positionnés en retrait de la glissière de sécurité, afin d'éviter qu'un véhicule sortant de la chaussée ne vienne s'empaler dessus et ne le brise.

**Figure 4.15 Exemple d'implantation des supports de LAC le long de l'autoroute à Laval**



#### 4.10 FRANCHISSEMENT DE LA VOIE FERRÉE À LAVAL

La norme CAN/CSA-C22.3 n°1 impose une hauteur de franchissement des voies ferrées de 6,70m pour tout conducteur électrique de 0 à 750V.

Des données de constructeurs nous donnent des hauteurs de captation pouvant aller à 7,00m (Vancouver, Lyon). Nous n'avons pas été en mesure de savoir à quelle vitesse d'exploitation cette hauteur de captation était garantie. Mais dans le cadre de ce projet, le franchissement de la voie ferrée ne pourra se faire qu'à vitesse réduite étant donné la configuration du tracé

Lors du choix du matériel roulant cette donnée devra être prise en compte.

**Figure 4.16** Prise de vue de la voie ferrée à la hauteur de St-Martin

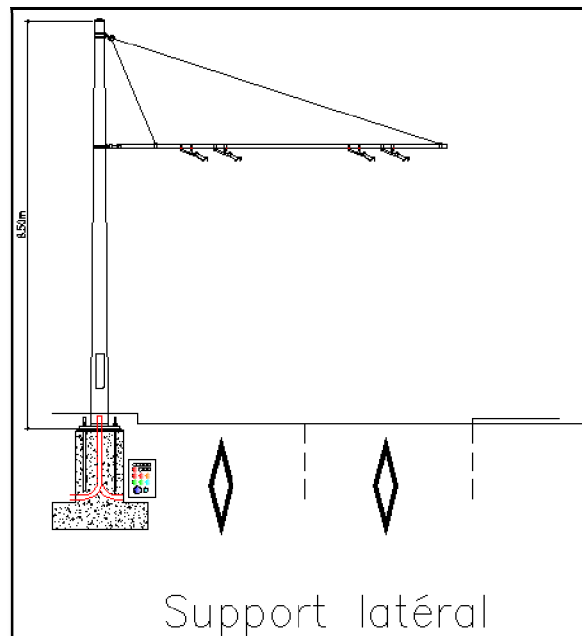
#### 4.11 SECTEUR EN SITE PROPRE À LAVAL

Au niveau du site propre à Laval entre Saint-Martin et le terminus de la Montée Saint-François, il n'y a pas de contrainte spécifique à l'électrification.

Les supports de la LAC peuvent être de plusieurs types :

- Latéral avec potence pour accroche des deux LAC;
- Latéral avec rappel souple
- Bilatéraux avec câble de support synthétique.

Pour les besoins de l'estimation des coûts du projet, l'option avec supports bilatéraux et câble de support est retenue.

**Figure 4.17** Exemple d'implantation des supports de LAC le long du site propre à Laval

## 4.12 SECTEUR URBAIN À LAVAL

Au niveau de l'échangeur Concorde et du secteur Rose-de-Lima, il est proposé de localiser les supports de LAC sur les trottoirs potence simple, en raison de la séparation des deux sens de circulation du trolleybus sur deux itinéraires différents. La présence de nombreuses courbes dans le tracé du trolleybus va nécessiter la mise en place de câbles de tensions et de supports de LAC supplémentaires sur les trottoirs opposés.

### **Évaluation des impacts et des enjeux**

- Supports sur les trottoirs avec potence simple soutenant une LAC;
- Fondations importantes pour les bases des supports de LAC en raison des importants efforts horizontaux;
- Nécessite de construire des massifs dédiés pour l'alimentation de la LAC, ainsi que pour l'alimentation des stations;
- Impact visuel certain avec les câbles de tensions supplémentaires nécessaires dans les courbes.

## 5.0 PROPOSITION DE MESURES DE MISE EN ŒUVRE DE L'ÉLECTRIFICATION

Une fois l'analyse de la pré faisabilité complétée, il s'agit de définir les principes retenus pour l'électrification potentielle du corridor Pie-IX pour des trolleybus, notamment:

- Les travaux nécessaires
  - ▶ Bases de support de LAC;
  - ▶ Construction de massifs pour les besoins du projet;
  - ▶ Impacts sur les réseaux et infrastructures souterrains existants.
- Les équipements nécessaires
  - ▶ Équipements LAC (Supports de LAC, câbles transversaux et LAC);
  - ▶ Postes de redressements;
  - ▶ Feeder d'alimentation;
  - ▶ Sectionneurs;
  - ▶ Raccordement au réseau Hydro-Québec.

### 5.1 SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE EN MATIÈRE D'AMÉNAGEMENTS

Dans la présente étude, le scénario de référence retenu pour évaluer les mesures à mettre en place pour assurer l'électrification du système correspond à l'aménagement élaboré dans le cadre de l'étude d'avant-projet préliminaire pour l'implantation du SRB dans l'axe Pie-IX (septembre 2010). Cet aménagement se définit par les éléments suivants :

- **Secteur Montréal**
  - ▶ L'aménagement du SRB Pie-IX, avec notamment la reconstruction de la partie centrale du boulevard à la hauteur des stations et des carrefours équipés de voie de virage à gauche;
  - ▶ Le maintien des trottoirs existants, hormis à la hauteur des stations et des carrefours équipés de voie de virage à gauche où seulement un côté du boulevard sera réaligné;
  - ▶ Le maintien de l'éclairage de rue sur le terreplein central du boulevard, hormis à la hauteur des stations et des carrefours équipés de voie de virage à gauche où il sera relocalisé sur les nouveaux aménagements;
  - ▶ La mise en place de nouveaux feux de circulation à l'ensemble des carrefours à feux:
    - Ces feux seront accrochés sur des portiques traversant l'ensemble du boulevard, de part et d'autre des carrefours;
    - La mise en place de ces portiques va intégrer les impacts sur les infrastructures et réseaux souterrains existants (déplacement de PA et de massifs);
  - ▶ La mise en place du marquage et de la signalisation (aérienne) de la voie réservée.

- **Secteur autoroutier (y compris pont Pie-IX)**

- ▶ L'aménagement du SRB Pie-IX, avec notamment la réfection du pont Pie-IX (3 voies + voies réservée en direction sud et 2 voies en direction nord) et l'aménagement de voies réservées sur accotement entre les échangeurs Concorde et St-Martin;
- ▶ La réfection du pont Pie-IX comprend la reconstruction de la glissière rigide médiane (glissière rigide médiane) qui inclue les éléments suivants:
  - L'aménagement de conduits pour l'alimentation des lampadaires;
  - La conception structurale de la glissière rigide médiane et de ses ancrages dans le tablier du pont, afin de pouvoir reprendre les efforts des supports d'éclairage
- ▶ L'aménagement de la rampe d'accès au pont Pie-IX direction sud depuis le boulevard de la Concorde;
- ▶ Le réaménagement des bretelles des échangeurs St-Martin (entrée et sortie) et Concorde (sorties)
- ▶ La mise en place du marquage et de la signalisation (aérienne) de la voie réservée;

- **Secteur urbain de Laval**

- ▶ L'aménagement du SRB Pie-IX, avec notamment le franchissement de la voie ferroviaire à la hauteur de la sortie St-Martin de l'autoroute et l'aménagement d'un site propre pour rejoindre le stationnement incitatif de la montée St-François;
- ▶ L'aménagement d'un pôle d'échange à la hauteur de l'échangeur Concorde, en direction Sud (évolution prise en compte par rapport aux conclusions de l'APP).

## 5.2 MESURES COMPLÉMENTAIRES NÉCESSAIRES À L'ÉLECTRIFICATION

Sur la base du scénario de référence décrit ci-avant, les principales mesures nécessaires pour assurer l'électrification du SRB Pie-IX sont décrites ci-après.

### 5.2.1 Travaux nécessaires

#### BASES DE SUPPORT DE LAC

Pour permettre l'installation de la LAC, les supports nécessitent la mise en place de bases capables de reprendre les contraintes majeures auxquelles ils sont soumis. En effet, il s'agit de reprendre d'importants moments à la base des supports de LAC qui sont produits par:

- Les charges du câble transversal;
- Les charges de la potence;
- Les efforts liés à la contraction des éléments filaires (LAC, câble transversal) lors des périodes froides.

Ainsi, pour répondre à cette préoccupation, la mise en place de base rectangulaire est envisagée. Ces bases comportent normalement une semelle dont les dimensions sont généralement de l'ordre de 2,0m de côté, ainsi que d'une colonne de l'ordre de 1,50m de hauteur et de 1,00m de diamètre en raison de la plaque de boulonnage du support de la LAC qui est de l'ordre de 850mm (voir la Figure 4.1).

Dans les secteurs où la mise en place de telles bases pourrait s'avérer problématique (emprise disponibles, impacts du chantier, etc.) il serait possible d'adopter une option alternative aux bases

classiques qui serait d'implanter des bases cylindriques forées de l'ordre de 1,20m de diamètre pour 3,50m de profondeur (voir la Figure 5.1).

**Figure 5.1** Exemple de tarière utilisée pour forer les bases cylindriques



En cas de réalisation du projet d'électrification du SRB Pie-IX, il serait important de faire une analyse détaillée pour déterminer quel type de base à retenir pour les différents tronçons du projet, afin minimiser le coût et les inconvénients lors des travaux.

Pour déterminer le nombre de supports de LAC, nous considérons un espacement d'environ 25m. Il est à noter que les bases pour implanter les feux de circulation le long du tracé ne sont pas considérées dans notre estimation puisqu'elles sont déjà incluses dans le projet initial du SRB Pie-IX. Ainsi, il sera nécessaire d'implanter quelques 944 bases supplémentaires le long du tracé du SRB Pie-IX pour en assurer l'électrification (avec supports en rive. Ce nombre sera inférieur pour une implantation centrale). L'hypothèse est posée que la berme centrale du pont Pie-IX, qui a une largeur de 725mm dans le projet du MTQ, sera conçue initialement pour respecter les contraintes liées au trolleybus qui requiert une largeur d'au moins 1 200mm.

**Tableau 5.1 Synthèse des supports de LAC et bases nécessaires**

| Tronçon                                       | Implantation du support                                        | Type de support support                                | Nombre de support nécessaire | Nombre de bases nécessaires |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Montréal                                      | Sur les trottoirs, de part et d'autre du boulevard Pie-IX      | Support simple avec câble transversal                  | 685                          | 685                         |
|                                               |                                                                | Portiques avec feux*                                   | 38                           | 76                          |
| Pont Pie-IX                                   | Sur la glissière rigide médiane                                | Support avec double potence (1 LAC de part et d'autre) | 25                           |                             |
| Autoroute                                     | À l'arrière de la glissière, de part et d'autre de l'autoroute | Support avec potence simple (1 LAC)                    | 58                           | 58                          |
| Échangeurs                                    | Dans le talus, en retrait de la bretelle                       | Support avec potence simple (1 LAC)                    | 72                           | 72                          |
| Échangeur Concorde – Entrée sud               | Sur berme centrale                                             | Support avec potence simple (1 LAC)                    | 13                           | 13                          |
| Secteur Concorde (stationnement Rose-de-Lima) | Sur les trottoirs                                              | Support avec potence simple (1 LAC)                    | 31                           | 31                          |
| Secteur St-François                           | En retrait de la chaussée                                      | Support avec potence simple (2 LAC)                    | 70                           | 70                          |
| Secteur St-Martin                             | En retrait de la chaussée                                      | Support avec potence simple (2 LAC)                    | 15                           | 15                          |
| <b>TOTAL</b>                                  |                                                                |                                                        | <b>1007</b>                  | <b>1020</b>                 |

\* Portiques et bases non comptabilisées dans les coûts du projet de l'électrification car travaux de toute manière nécessaire en phase 1. Seul un différentiel de coût pourrait être considéré si les calculs structurels montrent que les portiques et bases doivent être renforcés pour reprendre les efforts engendrés par le câble transversal de support de la LAC

### **CONSTRUCTION DE MASSIFS POUR LES BESOINS DU PROJET**

Il est admis que le transport de l'énergie nécessaire au projet s'effectuera en souterrain sur l'ensemble du tracé du SRB Pie-IX, selon les modalités suivantes:

- Sur le territoire de Montréal desservi par la CSEM, il est admis que les massifs existants ne possèdent pas suffisamment d'espaces résiduels pour accueillir les câbles nécessaires à l'électrification du système trolleybus. La CSEM prendra donc à son compte la réalisation de cet ouvrage et des puits d'accès nécessaires (PA). Il est à noter que l'alimentation en courant faible des stations est déjà compris dans le projet initial du SRB Pie-IX;
- Sur le Pont Pie-IX, la nouvelle glissière rigide médiane sera équipée des conduits nécessaires aux besoins du trolleybus;
- Sur le territoire de Laval, aussi bien le long de l'autoroute que sur le réseau routier urbain et le long du site propre il sera nécessaire de construire des massifs pour assurer les besoins du trolleybus. Il est à préciser qu'il sera nécessaire d'équiper les deux côtés de l'autoroute avec des massifs pour alimenter chaque direction de la ligne. Les massifs prévus à Laval seront de simples conduits non bétonnés.

## **DÉVIATIONS DES ÉQUIPEMENTS EXISTANTS**

A l'étape de l'étude de pré faisabilité technique, il n'est pas possible d'estimer précisément les impacts des supports de LAC et de leurs bases sur les massifs, puits d'accès (PA) et chambres de transformation existants, notamment à Montréal. Il est cependant raisonnable de penser que 15% des supports de LAC seront en conflit mineur avec les massifs et PA de la CSEM et qu'il sera nécessaire de les déplacer localement. Chaque déviation de massif CSEM nécessitera son déplacement sur une longueur de 7m. De plus il est admis qu'il serait nécessaire de déplacer deux chambres de transformation le long du parcours.

### **5.2.2 Les équipements nécessaires**

Afin d'assurer l'alimentation électrique des trolleybus, les différents équipements suivants seront nécessaires:

#### **ÉQUIPEMENTS LAC**

Les équipements de la LAC nécessaires à l'électrification du SRB Pie-IX sont:

- Des supports de LAC cylindro-conique de 8,50m à 10,50m de hauteur:
  - ▶ ~700 supports de rive pour accroche de câble transversal (Montréal);
  - ▶ ~250 supports de rive avec potence simple et accroche d'une LAC (autoroute et Laval urbain);
  - ▶ ~85 supports de rive avec potence simple et accroche de deux LAC (Laval site propre);
  - ▶ ~25 supports avec double potence (Pont Pie-IX);
- ~350 câbles transversaux en parafil de 28m à 32m de portée, pour soutenir la LAC à Montréal (y compris les câbles nécessaires dans les portiques des feux de circulation aux carrefours);
- ~60 km de LAC (longueur tracé \* 4 fils de contact);
- 3 postes de déperchage / perchage sur les axes perpendiculaires au boulevard Pie-IX, aux stations Jean-Talon, Pierre-de-Coubertin et Sainte-Catherine, afin de permettre aux trolleybus d'effectuer leur retournement.

#### **POSTES DE REDRESSEMENTS**

Sur l'ensemble du tracé il est nécessaire d'aménager 7 postes de redressement pour assurer l'alimentation du système de trolleybus.

L'option privilégiée est l'implantation de SSR préfabriquées.

La localisation fine de ces éléments devra faire l'objet d'une étude détaillée lors de l'avant-projet et elle devra respecter les réglementations de la ville et des arrondissements (urbanisme ou autres) relatives à l'implantation de même qu'à l'intégration architecturale et paysagère.

#### **FEEDER D'ALIMENTATION**

Sur l'ensemble du tracé il est nécessaire d'installer un feeder d'alimentation du système de trolleybus sur quelques 17km. Il est en effet nécessaire d'équiper chaque sens de circulation de son propre feeder entre le passage à niveau St-Martin et le pont Pie-IX.

## **RACCORDEMENT AU RÉSEAU HYDRO-QUÉBEC**

L'hypothèse retenue de raccordement au réseau Hydro-Québec est que chaque SSR est directement raccordée au réseau d'alimentation de Hydro-Québec.

### **5.3 MESURES ÉVENTUELLES À METTRE EN PLACE LORS DES TRAVAUX INITIAUX DU SRB PIE-IX**

Afin de minimiser les impacts des travaux de l'électrification du SRB Pie-IX, il serait envisageable d'intégrer certaines mesures nécessaires à l'électrification aux travaux de réalisation de la première phase du SRB Pie-IX (opéré avec des autobus traditionnels). Les mesures qui pourraient être mise en place lors des travaux initiaux sont:

- Le séparateur du pont Pie-IX à designer pour reprendre les efforts des supports de LAC tous les 25m;
- Les portiques de support de feux et leurs bases à designer pour être capable d'installer les câbles transversaux et être capable de reprendre les efforts de support de la LAC;
- Les lampadaires sur les trottoirs à refaire nécessiteraient une base capable de reprendre les efforts d'un support de LAC;
- La construction du massif et des PA nécessaires au système de transport devraient être réalisés lors des travaux de réaménagement des trottoirs, afin de minimiser les gênes liées au chantier lors d'une intervention ultérieure.

Au cas où la Ville de Montréal souhaite mener à bien son projet de réaménagement urbain du boulevard Pie-IX, en parallèle à la première phase des travaux du SRB Pie-IX, les travaux préliminaires d'électrification seraient alors étendus à l'ensemble des bases, massifs, PA et chambres de transformation des trottoirs du secteur urbain de Pie-IX.

## 5.4 EXEMPLES D'ILLUSTRATIONS DU TROLLEYBUS PIE-IX

Sur la base des hypothèses détaillées ci-avant, des exemples d'illustration du SRB Pie-IX ont été produites (voir les figures 5.2 à 5.5 ci-après).

**Figure 5.2 Exemple d'illustrations du trolleybus Pie-IX - Beaubien**



**Figure 5.3 Exemple d'illustrations du trolleybus Pie-IX - Fleury**



**Figure 5.4 Exemple d'illustrations du trolleybus Pie-IX – Pont Pie-IX**



**Figure 5.5 Exemple d'illustrations du trolleybus Pie-IX – Autoroute Laval**



## 6.0 ESTIMATION DES COÛTS DE MESURES PROPOSÉES

### 6.1 HYPOTHÈSES DE CALCUL

L'estimation des coûts de l'électrification du SRB Pie-IX pour l'opérer à l'aide de trolleybus se base sur les mesures nécessaires de mise en œuvre détaillées au chapitre précédent ainsi que sur la construction d'un nouveau massif sur le territoire de Montréal, au cas où la CSEM n'avait pas de capacité résiduelle dans les massifs existants pour les besoins du projet.

Il est à souligner que les coûts du matériel roulant n'ont pas été estimés, ni les frais reliés à l'équipement nécessaire d'un garage-atelier adapté aux besoins des trolleybus. En effet, il n'est pas encore défini quelles seraient les lignes d'autobus potentielles qui feraient l'objet d'une électrification.

Ainsi, l'estimation des coûts ne se penche que sur les travaux et équipements nécessaires à électrifier l'axe du SRB Pie-IX. En effet, il est pris comme hypothèse que toutes les installations déjà prévues dans le projet du SRB Pie-IX ne sont pas comptabilisées. Entre autres, aux intersections, il est supposé que les installations soutenant les feux de circulation permettront également de soutenir la LAC. Donc, lors de l'électrification, seuls les câbles transversaux devront être installés.

### 6.2 ESTIMATION DES COÛTS DES MESURES PROPOSÉES

Les coûts des mesures nécessaires à l'électrification du SRB Pie-IX se décomposent de la manière suivante:

**Tableau 6.1 Décomposition des coûts des mesures nécessaires à l'électrification**

| Poste de dépense        | Détails                                                  | Coût estimé     |
|-------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------|
| Travaux                 | Fourniture et installation des bases des supports de LAC | 5,4 M\$         |
|                         | Fourniture et installation des massifs à Laval           | 0,4 M\$         |
|                         | Fourniture et installation des massifs à Montréal        | 4,0 M\$         |
|                         | Fourniture et installation de PA Montréal                | 11,8 M\$        |
|                         | Déplacements des réseaux aériens d'Hydro-Québec          | 6,5 M\$         |
|                         | Déplacements des massifs à Montréal                      | 0,4 M\$         |
|                         | Déplacement de PA                                        | 1,8 M\$         |
|                         | Déplacements de chambre de transformation                | 3,0 M\$         |
| Équipements LAC         | Supports LAC                                             | 18,1 M\$        |
|                         | Parafil                                                  | 1,1 M\$         |
|                         | LAC                                                      | 2,3 M\$         |
|                         | Postes déperchage / perchage                             | 0,3 M\$         |
| Alimentation électrique | Sous-stations de redressement                            | 13,8 M\$        |
|                         | Feeder                                                   | 3,5 M\$         |
|                         | SCADA et équipements de sécurité                         | 2,6 M\$         |
|                         | Raccordements Hydro-Québec                               | 4,8 M\$         |
| <b>TOTAL</b>            |                                                          | <b>61,3 M\$</b> |

Une fois ces coûts des travaux intégrés aux estimations de l'AMT des autres coûts imputables au projet, l'électrification du SRB Pie-IX s'élève à 205,8 M\$, soit ~19 M\$/km (longueur ~14,5 km). La décomposition de ces coûts est la suivante:

**Tableau 6.2 Décomposition du coût global du projet d'électrification du SRB Pie-IX**

| Poste de dépense                                         | Coût estimé      |
|----------------------------------------------------------|------------------|
| Travaux, surveillance, ingénierie                        | 93 M\$           |
| Acquisition                                              | 7 M\$            |
| Livraison, services juridiques, etc.                     | 0,8 M\$          |
| Contingence, frais généraux et intérêts, marge de risque | 105 M\$          |
| <b>TOTAL</b>                                             | <b>205,8 M\$</b> |

Il ne faut toutefois pas perdre de vue que le coût de l'électrification de l'axe Pie-IX ne représente pas le coût du projet dans sa globalité. En effet, pour permettre l'exploitation du SRB Pie-IX par des trolleybus, il faut notamment y ajouter un garage et des véhicules. Ainsi le projet, dans sa globalité, pourrait aisément dépasser les 400 M\$<sup>6</sup>.

Dans la présente étude, le nombre identifié (85) trolleybus sur Pie-IX représente une référence probable et une hypothèse pour les fins d'estimation. Ce nombre représente un écart entre le projet d'origine SRB (avec les autobus existants) et la mise en place d'un SRB électrifié avec trolleybus.

Le coût avancé pour le centre d'entretien représente référence probable et une hypothèse pour les fins d'estimation. Il y a possibilité de minimiser cette évaluation si l'entretien des trolleybus était intégré aux centres d'entretien actuels.

La STM a confirmé que le seuil de rentabilité pour un réseau de trolleybus se situait au-dessus d'une centaine de véhicules. Pour le moment, il n'est pas possible de confirmer si la modification à un centre d'entretien est possible pour ce quantité critique. La STL ne prévoit pas ajouter des trolleybus à son réseau actuel et ses installations ne seront pas modifiées pour accueillir des trolleybus.

### 6.3 ESTIMATION DES COÛTS DES MESURES PRÉLIMINAIRE À METTRE EN PLACE LORS DE LA RÉALISATION DU SRB PIE-IX

L'estimation des coûts des mesures préliminaire à mettre en place lors de la réalisation du SRB Pie-IX couvre les éléments suivants:

- Le séparateur du pont Pie-IX;
- Les bases des supports de LAC, sur l'ensemble du boulevard Pie-IX à Montréal<sup>7</sup> et le long des sections à réaménager du secteur Concorde à Laval, avec les déplacements nécessaires des massifs, PA et chambres de transformations;
- L'installation d'un massif dédié au système de transport à Montréal et dans le secteur de l'échangeur Concorde à Laval, avec les PA nécessaires;
- Le déplacement des réseaux aériens d'Hydro-Québec en traversée du boulevard Pie-IX à Montréal.

Les coûts des mesures préliminaire à mettre en place lors de la réalisation du SRB Pie-IX se décomposent de la manière suivante:

<sup>6</sup> Hypothèses:

- garage = 100M\$
- Matériel roulant : électrification de deux lignes de 20 km avec fréquence cumulée de 2 minutes nécessite l'achat de quelques 85 trolleybus à 1,5 M\$ l'unité = 127,5 M\$

<sup>7</sup> Dans ce cas il est admis que la Ville de Montréal relocalise l'éclairage public sur les trottoirs lors de la phase 1 des travaux.

**Tableau 6.3 Décomposition des coûts des mesures préliminaires nécessaires à l'électrification**

| Poste de dépense | Détails                                                  | Coût estimé     |
|------------------|----------------------------------------------------------|-----------------|
| Travaux          | Fourniture et installation des bases des supports de LAC | 3,5 M\$         |
|                  | Fourniture et installation des massifs à Laval           | 0,1 M\$         |
|                  | Fourniture et installation des massifs à Montréal        | 4,0 M\$         |
|                  | Fourniture et installation de PA                         | 9,4 M\$         |
|                  | Déplacements des réseaux aériens d'Hydro-Québec          | 6,5 M\$         |
|                  | Déplacements des massifs à Montréal                      | 0,4 M\$         |
|                  | Déplacement de PA                                        | 1,8 M\$         |
|                  | Déplacements de chambre de transformation                | 3,0 M\$         |
|                  | Adaptation du séparateur du point Pie-IX                 | 0,2 M\$         |
| <b>TOTAL</b>     |                                                          | <b>28,8 M\$</b> |

Une fois ces coûts des travaux intégrés aux estimations de l'AMT des autres coûts imputables au projet, les travaux préliminaires nécessaires à l'électrification du SRB Pie-IX s'élève à 69,9 M\$. La décomposition de ces coûts est la suivante:

**Tableau 6.4 Décomposition du coût global du projet d'électrification du SRB Pie-IX**

| Poste de dépense                                         | Coût estimé     |
|----------------------------------------------------------|-----------------|
| Travaux, surveillance, ingénierie                        | 33,7 M\$        |
| Acquisition                                              | 0 M\$           |
| Livraison, services juridiques, etc.                     | 0,4 M\$         |
| Contingence, frais généraux et intérêts, marge de risque | 34,8 M\$        |
| <b>TOTAL</b>                                             | <b>69,9 M\$</b> |

## 7.0 ÉLÉMENTS DE MISE EN ŒUVRE DU PROJET DE TROLLEYBUS PIE-IX

Comme tout projet la mise en place d'un service de trolleybus, l'électrification du SRB Pie-IX est soumise à un certain nombre d'éléments qui vont influencer sa réalisation. Afin d'aider la prise de décision sur l'éventuelle conversion du SRB Pie-IX en mode électrique avec des trolleybus, certains de ces éléments ont été identifiés :

- la réduction de la pollution atmosphérique, notamment les GES et les particules fines :
  - ▶ utilisation d'un mode de propulsion avec aucun impact sur la pollution atmosphérique;
  - ▶ amélioration de la qualité de vie pour les riverains avec une réduction en pollution de l'air;
  - ▶ respect des engagements politiques envers l'électrification du transport au Québec;
  - ▶ énergie produite par l'hydroélectricité, technologie propre;
- l'aspect visuel de la LAC et l'impact du projet sur l'environnement paysager des secteurs urbains:
  - ▶ la mise en place d'une LAC et de ses supports vient modifier le paysage urbain en ajoutant de nombreux éléments dont l'intégration paysagère n'est pas toujours évidente;
  - ▶ le retour de fils aérien le long de l'axe Pie-IX, un axe où les fils ont été enterrés;
  - ▶ dans le cas du tronçon urbain de Montréal, ce seront près de 700 émergences supplémentaires qui seront à implanter sur les trottoirs et près de 350 câbles qui seront installés en travers du boulevard Pie-IX.
- les coûts liés à l'électrification:
  - ▶ l'électrification du SRB Pie-IX va engendrer des coûts importants (travaux, équipements, matériel roulant, garage, etc.), alors que le niveau du service offert aux usagers ne va pas sensiblement évoluer. Il s'agit donc de développer un argumentaire solide en faveur de l'électrification du SRB Pie-IX, afin de permettre de justifier ce projet;
  - ▶ afin d'améliorer la "rentabilité" de l'électrification du SRB Pie-IX, il s'agira d'intégrer ce projet à un programme plus général d'électrification du transport collectif pour permettre certaines économies d'échelle et l'arrimer à une politique générale, pour ne pas en faire un projet isolé;
- les trolleybus sont plus silencieux que les autobus diesel :
  - ▶ amélioration pour les riverains avec une réduction de la pollution sonore;
  - ▶ peut parfois se retourner contre les trolleybus, car ils sont moins perceptibles par les piétons ce qui peut parfois provoquer des situations délicates en terme de sécurité;
- le besoin d'avoir un parc de matériel roulant dédié:
  - ▶ la signature des véhicules améliore l'image du service et participe au renforcement de la perception du transport collectif pour les usagers;

- ▶ l'électrification du SRB Pie-IX nécessite d'avoir une flotte dédiée de véhicule à ce service, si le projet n'est pas intégré à une opération plus vaste d'électrification du transport collectif dans l'agglomération montréalaise;
- ▶ afin d'assurer la disponibilité des véhicules, en cas d'une flotte de taille réduite il est nécessaire de prévoir un plus grand nombre de véhicules de réserve et d'équiper un garage atelier pour l'entretien de ces véhicules, ce qui augmente d'autant les coûts marginaux du projet.
- le besoin de former du personnel pour l'entretien et l'exploitation des trolleybus:
  - ▶ l'introduction d'une nouvelle technologie véhiculaire nécessite également de revoir les manières de faire des employés des sociétés de transport impliquées, aussi bien au niveau des chauffeurs que du personnel d'entretien et d'exploitation des services;
  - ▶ la propulsion électrique étant déjà en vigueur à la STM avec le métro, le saut technologique devrait être relativement aisé à effectuer pour le personnel d'entretien.
- l'impact de la construction des bases des poteaux de LAC :
  - ▶ la mise en place de près de 1000 supports de LAC, dont près de 700 à Montréal va souvent nécessiter d'empiéter sur des terrains privés pour assurer le bon déroulement des travaux;
  - ▶ les bases pourront engendrer des coupes d'arbres additionnels;
- la cohabitation d'autobus et de trolleybus sur l'axe du SRB Pie-IX, avec des trolleybus qui risquent d'être en infériorité:
  - ▶ en effet, à minima seule la ligne STM du SRB Pie-IX serait électrifiée (10 trolleybus/h/sens), qui ne compte que pour 15% à 20% des véhicules sur Pie-IX à Montréal;
  - ▶ pour avoir un impact significatif, il faudrait qu'une plus grande part du réseau de la STM soit convertie au trolleybus (lignes 507, 508, 509 par exemple);
- la mise en place de LAC qui va à l'encontre de la mission de la CSEM:
  - ▶ la CSEM a entre autres pour mission d'assurer l'enfouissement des réseaux aériens:
    - l'article 2 du règlement sur la CSEM (numéro 02-101) qui vise à favoriser l'enfouissement des câbles et des fils aériens, conformément aux orientations et politiques de la Ville;
    - l'action 13.1 du plan d'urbanisme adopté en 2004 qui vise à «soutenir l'élaboration et la mise en œuvre du Plan directeur d'élimination des fils et des poteaux».
    - en vertu de l'article 4 du règlement sur la CSEM (numéro 02-101) l'approbation de la CSEM est requise pour l'installation et la détermination de l'emplacement des structures hors sol, notamment : tous les poteaux, haubans, socles, cabinets, piédestaux et autres accessoires complémentaires à un réseau câblé (sur les domaines public et privé). Aussi, certaines dispositions du Règlement sur les réseaux câblés (numéro 09-023) prévoient l'emplacement et les dimensions des appareils et équipements hors sol et sur poteau, de même que l'interdiction d'installer de nouveaux poteaux sous réserve de quelques exceptions. Il faudra valider l'application des dispositions de ce règlement au présent projet notamment pour l'installation des supports et des fils aériens;
  - ▶ une dérogation devra être obtenue pour permettre l'électrification du projet.

- l'électrification du SRB Pie-IX, après sa mise en service initiale avec un service d'autobus, risque d'avoir des impacts importants lors des travaux:
  - ▶ la circulation des axes de circulation adjacents au SRB Pie-IX va être impactée lors des travaux d'électrification puisqu'il faudra généralement monopoliser une voie de circulation;
  - ▶ les riverains et usagers des axes à l'étude risquent de mal percevoir le fait qu'on entreprenne des travaux quelques années après les travaux initiaux du SRB Pie-IX
- l'impact des sous-stations sur des terrains adjacents:
  - ▶ la localisation des SSR est toujours un sujet délicat de tout projet d'électrification;
  - ▶ au-delà de trouver des localisations adaptées aux besoins techniques de ces éléments, il s'agit de se soucier de l'environnement immédiat des sites, afin d'assurer la bonne intégration des SSR;
  - ▶ le règlement sur les réseaux câblés et les réglementations d'urbanisme s'appliqueront pour l'implantation de même que pour l'aménagement et l'intégration architecturale et paysagère des SSR.
- le risque que l'électrification du SRB Pie-IX retarde la mise en œuvre de la première phase du projet (SRB avec autobus classiques):
  - ▶ l'électrification du SRB augmente sensiblement l'ampleur du projet, ce qui pourrait affecter celui-ci en terme d'échéancier cadre et d'enveloppe budgétaire totale;
  - ▶ une bonne planification des mesures à mettre en place lors de la première phase des travaux devrait permettre de limiter les risques de dérapage d'échéancier et financier.

## 8.0 CONCLUSION

L'analyse de pré faisabilité de l'électrification du SRB Pie-IX démontre clairement qu'il n'y a pas d'obstacle technique à la réalisation de ce projet. Seules quelques adaptations mineures seraient nécessaires pour satisfaire à l'ensemble des contraintes recensées, dont:

- équiper les véhicules de perches allongées pour garantir la hauteur libre nécessaire en franchissement de la voie ferroviaire à Laval;
- accrocher un rail d'isolation de la LAC sous les viaducs;
- concevoir la nouvelle glissière rigide médiane du pont Pie-IX de manière à accommoder les supports de LAC et le feeder d'alimentation.

Bien que le projet de base du SRB Pie-IX englobe les réaménagements géométriques nécessaires et l'équipement des carrefours à feux, le projet de l'électrification du SRB Pie-IX nécessite d'importants travaux, notamment liés à l'implantation de près de 1000 supports de LAC dont près de 700 à Montréal. Afin de minimiser les impacts de ces travaux et d'offrir un aménagement final de qualité il s'agira d'évaluer l'opportunité de jumeler l'opération d'électrification du SRB à une opération de réaménagement urbain des secteurs urbains du projet.

Au niveau des opportunités de réalisation de travaux nécessaires à l'électrification lors des travaux du projet initial du SRB Pie-IX, les éléments suivants devraient être pris en compte, afin de s'assurer qu'ils puissent satisfaire aux exigences du trolleybus

- la conception de la glissière rigide médiane du pont Pie-IX;
- la conception des portiques de signalisation et de leurs bases aux carrefours à feux de Montréal et Laval.

L'estimation des coûts des mesures nécessaires à électrifier le SRB Pie-IX se monte à quelques 206 M\$, soit un coût unitaire de ~19 M\$/km. Le projet global, avec acquisition des véhicules et construction d'un garage pourrait se monter à plus de 400 M\$.

L'électrification du SRB Pie-IX pour des trolleybus permettrait de limiter les impacts environnementaux du projet, notamment en matière de bruit et de pollution atmosphérique (notamment les GES et les particules fines). Cependant le projet de trolleybus Pie-IX devra résoudre certains enjeux, afin d'en assurer une exploitation optimale et d'assurer que les décideurs et les usagers adhèrent au projet. Ces principaux enjeux sont:

- l'aspect visuel, l'implantation de même que l'intégration architecturale et paysagère des installations requises pour ce projet (LAC, potences, SSR et autres) en regard des politiques et règlements de la Ville et des arrondissements;
- la cohabitation d'autobus et de trolleybus sur l'axe du SRB Pie-IX, avec des trolleybus qui risquent d'être en infériorité si le réseau structurant de la STM n'est pas également converti au trolleybus;
- les coûts liés à l'électrification (travaux, équipements, matériel roulant, garage, etc.) pour un service à la clientèle sensiblement identique, bien que plus confortable (réduction du bruit, accélérations plus souples, etc.).

# **ANNEXES**

## **Annexe A1 - Détail de l'estimation des coûts**

| Tronçon                                       | Implantation du support                                        | Type de support support                               | Nombre de support nécessaire | Nombre de bases nécessaire | Nombre de câbles transversaux | Massifs à construire (m) | PA à construire | Massifs à déplacer (m) | PA à déplacer | Chambre de transformation à déplacer |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------|------------------------|---------------|--------------------------------------|
| Montréal                                      | Sur les trottoirs, de part et d'autre du boulevard Pie-IX      | Poteau simple avec câble transversal                  | 685                          | 685                        | 343                           | 10200                    | 68              | 720                    | 10            | 2                                    |
|                                               |                                                                | Portiques avec feux*                                  | 38                           | 76                         | 19                            |                          |                 |                        |               |                                      |
| Pont Pie-IX                                   | Sur la glissière rigide médiane                                | Poteau avec double potence (1 LAC de part et d'autre) | 25                           |                            |                               |                          |                 |                        |               |                                      |
| Autoroute                                     | À l'arrière de la glissière, de part et d'autre de l'autoroute | Poteau avec potence simple (1 LAC)                    | 58                           | 58                         |                               | 1370                     | 5               |                        |               |                                      |
| Échangeurs                                    | Dans le talus, en retrait de la bretelle                       | Poteau avec potence simple (1 LAC)                    | 72                           | 72                         |                               | 1977                     | 7               |                        |               |                                      |
| Échangeur Concorde                            | Sur berme centrale                                             | Poteau avec potence simple (1 LAC)                    | 13                           | 13                         |                               | 316                      | 1               |                        |               |                                      |
| Entrée sud                                    |                                                                | Poteau avec potence simple (1 LAC)                    | 31                           | 31                         |                               | 936                      | 3               |                        | 2             |                                      |
| Secteur Concorde (stationnement Rose-de-Lima) | Sur les trottoirs                                              | Poteau avec potence simple (1 LAC)                    | 70                           | 70                         |                               | 1717                     | 6               |                        |               |                                      |
| Secteur St-François                           | En retrait de la chaussée                                      | Poteau avec potence simple (1 LAC)                    | 15                           | 15                         |                               | 433                      | 1               |                        |               |                                      |
| Secteur St-Martin                             | En retrait de la chaussée                                      | Poteau avec potence simple (2 LAC)                    |                              |                            |                               |                          |                 |                        |               |                                      |
| TOTAL                                         |                                                                |                                                       | 1007                         | 1020                       | 362                           | 16949                    | 91              | 720                    | 12            | 2                                    |

\* Portiques et bases non comptabilisées dans les coûts du projet de l'électrification car travaux de toute manière nécessaire en phase 1. Seul un différentiel de coûts pourrait être considéré si les calculs structurels montrent que les portiques et bases doivent être renforcés pour reprendre les efforts engendrés par le câble transversal de support de la LAC

| Poste de dépense        | Détails                                                            | Quantité | Coût unitaire (\$CAN) |               | Coût de base (\$CAN) | Incertitude sur quantité / coût unitaires (%) | Coût avec incertitude (\$CAN) | Coût avec incertitude (\$CAN) |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|---------------|----------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Travaux                 | Fourniture et installation des bases des supports de LAC (carrées) | 729      | 3 500,00 \$           | \$/unité      | 2 551 500,00 \$      | 30%                                           | 3 316 950,00 \$               | 3 300 000,00 \$               |
|                         | Fourniture et installation des bases des supports de LAC (forées)  | 215      | 7 625,00 \$           | \$/unité      | 1 639 375,00 \$      | 30%                                           | 2 131 187,50 \$               | 2 100 000,00 \$               |
|                         | Fourniture et installation des massifs à Laval                     | 6749     | 50,00 \$              | \$/m          | 337 450,00 \$        | 30%                                           | 438 685,00 \$                 | 400 000,00 \$                 |
|                         | Fourniture et installation des massifs à Montréal                  | 10200    | 300,00 \$             | \$/m          | 3 060 000,00 \$      | 30%                                           | 3 978 000,00 \$               | 4 000 000,00 \$               |
|                         | Fourniture et installation de PA                                   | 91       | 100 000,00 \$         | \$/unité      | 9 100 000,00 \$      | 30%                                           | 11 830 000,00 \$              | 11 800 000,00 \$              |
|                         | Déplacements des réseaux aériens HQ                                | 1        | 5 000 000,00 \$       | \$/unité      | 5 000 000,00 \$      | 30%                                           | 6 500 000,00 \$               | 6 500 000,00 \$               |
|                         | Déplacements des massifs à Montréal                                | 720      | 300,00 \$             | \$/m          | 216 000,00 \$        | 100%                                          | 432 000,00 \$                 | 400 000,00 \$                 |
|                         | Déplacements de PA                                                 | 12       | 100 000,00 \$         | \$/unité      | 1 200 000,00 \$      | 50%                                           | 1 800 000,00 \$               | 1 800 000,00 \$               |
|                         | Déplacements de chambre de transformation                          | 2        | 1 000 000,00 \$       | \$/unité      | 2 000 000,00 \$      | 50%                                           | 3 000 000,00 \$               | 3 000 000,00 \$               |
|                         | Supports de LAC et équipement                                      | 969      | 15 530,00 \$          | \$/unité      | 15 048 570,00 \$     | 20%                                           | 18 058 284,00 \$              | 18 100 000,00 \$              |
|                         | Etudes + Essais                                                    | 1        | 950 000,00 \$         | \$            | 950 000,00 \$        | 20%                                           | 1 140 000,00 \$               | 1 100 000,00 \$               |
|                         | LAC                                                                | 30       | 70 000,00 \$          | \$/km de voie | 2 100 000,00 \$      | 10%                                           | 2 310 000,00 \$               | 2 300 000,00 \$               |
| Équipements LAC         | Postes déperchage / repérage                                       | 3        | 67 000,00 \$          | \$/unité      | 201 000,00 \$        | 50%                                           | 301 500,00 \$                 | 300 000,00 \$                 |
|                         | Sous-stations de redressement                                      | 7        | 1 643 000,00 \$       | \$/unité      | 11 501 000,00 \$     | 20%                                           | 13 801 200,00 \$              | 13 800 000,00 \$              |
| Alimentation électrique | Feeder                                                             | 17       | 170 600,00 \$         | \$/km         | 2 900 200,00 \$      | 20%                                           | 3 480 240,00 \$               | 3 500 000,00 \$               |
|                         | SCADA et équipements sécurité                                      | 1        | 2 000 000,00 \$       | \$/unité      | 2 000 000,00 \$      | 30%                                           | 2 600 000,00 \$               | 2 600 000,00 \$               |
|                         | Raccordement Hydro-Québec                                          | 1        | 4 000 500,00 \$       | \$/unité      | 4 000 500,00 \$      | 20%                                           | 4 800 600,00 \$               | 4 800 000,00 \$               |
|                         | TOTAL                                                              | 7        | 571 500,00 \$         |               | 63 805 595,00 \$     | 25%                                           | 79 918 646,50 \$              | 79 900 000,00 \$              |

5 400 000,00 \$

Source des coûts unitaires  
CIMA+  
SYSTRA/CANARAIL  
Hydro-Québec  
CSEM

| Éléments                                 | Coût avec incertitude (\$CAN) |
|------------------------------------------|-------------------------------|
| Électrification Pie-IX                   | 205 800 000,00 \$             |
| Garage trolleybus                        | 100 000 000,00 \$             |
| Matériel roulant (85 véhicules @ 1,5M\$) | 127 500 000,00 \$             |
| <b>TOTAL</b>                             | <b>433 300 000,00 \$</b>      |

Coût projet selon calcul AMT

85 véhicules = électrification de 2 lignes avec fréquences cumulées de 2 minutes et distance moyenne de 20km

| Poste de dépense      | Détails                                                  | Quantité | Coût unitaire (\$CAN) |          | Coût de base (\$CAN) | Incertitude sur quantité / coût unitaires (%) | Coût avec incertitude (\$CAN) | Coût avec incertitude (\$CAN) |
|-----------------------|----------------------------------------------------------|----------|-----------------------|----------|----------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Travaux préliminaires | Fourniture et installation des bases des supports de LAC | 767      | 3 500,00 \$           | \$/unité | 2 684 500,00 \$      | 30%                                           | 3 489 850,00 \$               | 3 500 000,00 \$               |
|                       | Fourniture et installation des massifs à Montréal        | 10200    | 300,00 \$             | \$/m     | 3 060 000,00 \$      | 30%                                           | 3 978 000,00 \$               | 4 000 000,00 \$               |
|                       | Fourniture et installation des massifs à Laval           | 1252     | 50,00 \$              | \$/m     | 62 600,00 \$         | 30%                                           | 81 380,00 \$                  | 100 000,00 \$                 |
|                       | Fourniture et installation de PA                         | 72       | 100 000,00 \$         | \$/unité | 7 200 000,00 \$      | 30%                                           | 9 360 000,00 \$               | 9 400 000,00 \$               |
|                       | Déplacements de PA                                       | 12       | 100 000,00 \$         | \$/unité | 1 200 000,00 \$      | 50%                                           | 1 800 000,00 \$               | 1 800 000,00 \$               |
|                       | Déplacements de chambre de transformation                | 2        | 1 000 000,00 \$       | \$/unité | 2 000 000,00 \$      | 50%                                           | 3 000 000,00 \$               | 3 000 000,00 \$               |
|                       | Déplacements des massifs à Montréal                      | 720      | 300,00 \$             | \$/m     | 216 000,00 \$        | 100%                                          | 432 000,00 \$                 | 400 000,00 \$                 |
|                       | Adaptation séparateur médian pont Pie-IX                 | 444      | 300,00 \$             | \$/m     | 133 200,00 \$        | 30%                                           | 173 160,00 \$                 | 200 000,00 \$                 |
|                       | Déplacements des réseaux aériens HQ                      | 1        | 5 000 000,00 \$       | \$/unité | 5 000 000,00 \$      | 30%                                           | 6 500 000,00 \$               | 6 500 000,00 \$               |
|                       | TOTAL                                                    |          |                       |          | 21 556 300,00 \$     | 0,336703887                                   | 28 814 390,00 \$              | 28 800 000,00 \$              |

Source des coûts unitaires

|              |
|--------------|
| CIMA+        |
| Hydro-Québec |
| CSEM         |

## **Annexe A2 - Alternatives à la LAC pour l'alimentation électrique**

## 1.0 PANORAMA DES SYSTÈMES D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

Par opposition aux bus conventionnels équipés de moteurs thermiques, les trolleybus sont équipés de moteurs électriques dont le fonctionnement nécessite une alimentation continue en courant électrique. Cette source d'alimentation peut provenir :

- D'une ligne électrifiée en contact continu avec le véhicule. Le déplacement du véhicule repose alors sur la réalisation d'une infrastructure lourde tout au long du parcours de la ligne. Deux options de mises en œuvre sont envisageables:
  - ▶ La ligne aérienne de contact (LAC) qui est la solution classique pour les trolleybus, qui consiste à alimenter les véhicules par l'intermédiaire d'une ligne aérienne électrifiée;
  - ▶ L'alimentation par le sol, dont les recherches restent au stade expérimental. Une des avancées les plus notables sur ce type de technologie concerne le prototype OLEV (On-Line Electric Vehicle) développé par le centre de recherche sud-coréen KAIST dont le principe d'alimentation repose sur un transfert de puissance inductif par le sol. Un autre système (PRIMOVE) est actuellement développé par Bombardier et testé en Allemagne.
- De systèmes de stockage d'énergie embarqués. L'utilisation du véhicule génère alors une succession de charges et de décharges appelée « biberonnage ». La recharge des systèmes de stockage nécessite l'implantation d'installations fixes dont la complexité varie selon le principe de biberonnage retenu. Trois types d'équipements de stockage d'énergie sont disponibles: les batteries, les volants d'inertie et les super-condensateurs.

Dans le contexte du projet de Pie IX, l'alimentation par le sol paraît être une solution trop risquée au regard du stade de développement de cette technologie et des efforts supplémentaires qui seront nécessaires pour fiabiliser le système dans les conditions hivernales de Montréal, notamment la présence de sels de déglacage dans un système d'alimentation électrique. Cette solution est donc écartée.

La seule alternative à la LAC qui reste envisageable pour le projet su SRB Pie-IX consiste donc en des systèmes de stockage d'énergie embarqués dans les véhicules. Des solutions mixtes existent également. Les parties suivantes mettent l'accent sur ces technologies et leur mode de fonctionnement.

## 2.0 LES TECHNOLOGIES DE STOCKAGE D'ÉNERGIE

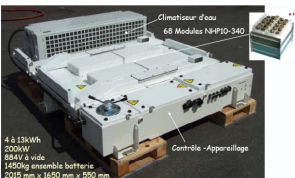
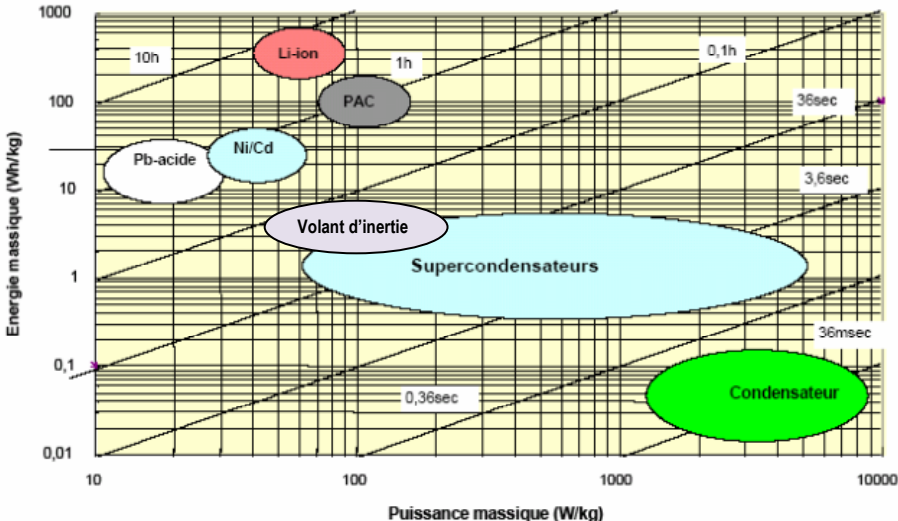
---

La performance et l'autonomie des véhicules est dépendante de la puissance disponible et de l'énergie stockée dans les systèmes embarqués.

Le tableau ci-dessous présente un comparatif des trois principaux types d'équipements de stockage disponibles : les batteries, les volants d'inertie et les super-condensateurs.

Le diagramme montre que les super condensateurs peuvent libérer une puissance massique instantanée cinquante fois supérieure à celles des batteries électrochimiques et permettent des charges/décharges d'une durée de quelques dizaines de secondes. De leurs côté, les batteries offrent des décharges supérieures à la dizaine de minutes, mais nécessitent en compensation des temps de charge relativement longs, compris entre 1 et 5 heures. Leur énergie massique est dix fois supérieure à celle des super condensateurs, ce qui leur confère une plus grande autonomie.

Les volants d'inertie offrent des performances intéressantes pour des applications transports mais leur fonctionnement pose encore des problèmes de sécurité qui ralentissent leur introduction commerciale.

|                                               | Volant d'inertie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Batterie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Super condensateur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Principe général</b>                       | <b>Stockage électromécanique</b><br>Le volant d'inertie est une masse qui tourne à très grande vitesse, jusqu'à 22 000 tours par minute et qui fonctionne sur le principe d'une « toupie ». L'énergie cinétique emmagasinée par cette masse lors du freinage est restituée par un générateur électrique à la chaîne de traction lors de l'accélération suivante.  | <b>Stockage électrochimique</b><br>Les batteries fournissent de l'énergie électrique à un circuit extérieur sous forme de courant continu en basse tension, en transformant progressivement leurs éléments chimiques internes suivant une réaction d'oxydation/réduction aux électrodes. La régénération des éléments initiaux se réalise sous l'effet du passage d'un courant électrique.  | <b>Stockage électrostatique</b><br>Le super condensateur de puissance est un composant électrotechnique dédié au stockage de puissance plutôt qu'à celui d'énergie. Le stockage résulte d'une répartition des ions issus de l'électrolyte suivant une double couche électrique au voisinage des deux électrodes de grande surface à base de charbon actif.  |
| <b>Densité de puissance et d'énergie</b>      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Temps de recharge</b>                      | Moyenne 80 à 120 s                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Long > 1h                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Faible < 30 s                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Durée de vie</b>                           | Équivalente à celle du véhicule : 30 ans                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Limitée à 5 ans : de 5000-10000 charges/décharges                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 10 à 15 ans : 1 millions de charges/décharges                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Tenue en température de fonctionnement</b> | Peu sensible à la température                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Dégradation de la durée de vie au dessus de 30 degrés (environ 25%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | L'expérience montre que les super condensateurs ont une meilleure tenue en température que les batteries, mais leurs performances tendent à se dégrader à moins de -20 °C.                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Commentaires</b>                           | Performances de sécurité et de disponibilité du système à améliorer.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Propriété limitée par le processus chimique inhérent d'une batterie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | La densité énergétique est faible mais les performances s'améliorent                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

### 3.0 LES TYPES DE BIBERONNAGE

---

Les recharges des systèmes de stockage se font au niveau des installations fixes d'alimentation. Celles-ci peuvent être localisées à différents endroits selon le dispositif de biberonnage mis en place. 3 schémas de fonctionnement existent :

- Recharge en bout de ligne;
- Recharge en ligne aux arrêts;
- Recharge en ligne à partir d'une LAC.

Le tableau ci-après présente un comparatif entre les 3 dispositifs de biberonnage existants.

Si les dispositifs de biberonnage en bout de ligne sont les plus répandus, pour le moment l'offre est principalement pour des minibus d'une capacité d'environ 20-30 places sur des courts trajets et pour quelques bus allant jusqu'à 12 m de longueur. Aucune offre de constructeur n'existe pour des bus de 18m.

La mise en œuvre de dispositifs de biberonnage en ligne aux arrêts est un secteur en plein développement avec de nombreuses expérimentations en cours. Les produits développés concernent des systèmes entiers bus et systèmes d'alimentation. Les résultats sont encourageants mais des efforts doivent être menés pour rencontrer les objectifs de niveaux de service et minimiser les coûts d'investissements.

Les dispositifs de recharge depuis la LAC peuvent être intéressants pour des projets de trolleybus conventionnels avec LAC où des solutions doivent être mises en œuvre pour éviter l'implantation de lignes aériennes de contact dans des secteurs protégés. Ils nécessitent tout de même des investissements considérables en infrastructures.

|                                           | Bout de ligne                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | En ligne aux arrêts                                                                                                                                                                                                                                                                            | En ligne depuis la LAC                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Description</b>                        | La recharge des véhicules électriques est réalisée aux terminus d'un trajet prédéfini.<br><br>L'intervention humaine peut être nécessaire pour relier le véhicule à la source d'alimentation.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | La recharge des véhicules s'effectue en ligne pendant les arrêts aux stations. Le faible temps de recharge nécessite de délivrer des puissances importantes.<br><br>Le système de recharge doit être automatisé.                                                                               | La recharge s'effectue de façon continue en ligne à partir de la LAC.<br><br>L'énergie emmagasinée permet ensuite de franchir des courtes distances.                                                           |
| <b>Systèmes existants</b>                 | Exclusivement des bus courts (moins de 12 m). Pas d'offre pour des véhicules de 18m.<br><br>► Montmartrobus, Paris<br><br>Depuis 2001. La recharge est partielle en journée (~6min à chaque terminus), complète la nuit.<br><br>► Ecolobus, Québec<br><br>Depuis 2008. Interrompu en 2011 suite à une série d'incidents de surchauffe de batterie. Société Technobus. En service à Madrid, Rome (anciens modèles).<br><br>► Système Proterra,<br><br>En expérimentation depuis 2010 sur la ligne 291 de Foothill, CA | Pas de systèmes éprouvés, seulement des prototypes en expérimentation. Les résultats sont encourageants.<br>Quelques exemples :<br><br>► Système WATT de PVI, France<br><br>► Système de bus Elfo à recharge inductive, Turin<br><br>► Système SINAUTEC, mis en service depuis 2006 à Shanghai | Principe fréquemment mis en œuvre pour des lignes de tramway (exemple: Nice).<br><br>Référence trolleybus :<br><br>► Rome ligne 90, trolleybus articulé de 18m (3.6km parcouru sans LAC sur un total de 20km). |
| <b>Distance d'autonomie des véhicules</b> | Élevée, plusieurs kilomètres                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Faible, quelques centaines de mètres                                                                                                                                                                                                                                                           | Variable, de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres.                                                                                                                                               |
| <b>Temps des recharges</b>                | Supérieur à 30min pour une recharge complète.<br><br>Des recharges partielles en journée peuvent suffire.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | De 10 à 30s max (selon le temps d'arrêt en station)                                                                                                                                                                                                                                            | Recharge longue et continue                                                                                                                                                                                    |
| <b>Nature des infrastructures</b>         | Stations terminus équipées de chargeurs.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Poste de recharge en station avec accumulateur.<br><br>Alimentation peut se faire par le toit ou au sol par induction.                                                                                                                                                                         | Infrastructure usuelle de LAC : (supports, ligne aérienne, sous-stations)                                                                                                                                      |
| <b>Coût des infrastructures</b>           | Faible                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Élevé                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Très élevé                                                                                                                                                                                                     |

## 4.0 APPLICATION AU CAS DE PIE-IX

---

### 4.1 BESOINS ÉNERGÉTIQUES

En prenant pour hypothèse une consommation moyenne de la ligne de 3kWh/km (traction, auxiliaires et énergie régénérée compris), un trajet simple d'un terminus à l'autre nécessiterait environ 43kWh.

Pour mettre en place un dispositif de biberonnage de type bout de ligne, il serait nécessaire de disposer d'un chargeur capable de délivrer une énergie de 40kWh minimum en une durée inférieure au temps d'immobilisation en fin de parcours. En considérant cette durée de 10 min, la puissance de charge nécessaire serait de 240kW. Un optimum doit être recherché entre le temps de recharge au terminus, le parc de véhicules électriques, et le dimensionnement des infrastructures de charge.

Si la solution de biberonnage en ligne aux arrêts était envisagée, il serait alors nécessaire de rechercher l'optimum entre le nombre de postes d'alimentation et la puissance à installer. Si on envisage l'option où seule la moitié des arrêts est équipée de postes de recharge, alors il serait nécessaire d'installer 11 postes qui délivreraient 3,91kWh sur une durée d'arrêt d'environ 20s. La puissance à installer serait alors d'environ 700kW.

### 4.2 CONCLUSIONS

Les systèmes d'alimentation électrique sans LAC sont très prometteurs mais restent à ce jour au stade de développement et seuls quelques prototypes sont actuellement en cours d'expérimentation.

Il serait certainement risqué d'envisager un système de biberonnage pour le projet de Pie IX dans sa version initiale. En revanche, le projet doit être en mesure de pouvoir évoluer ultérieurement vers ce type de technologie et il est nécessaire, dès sa conception initiale, de correctement prévoir les évolutions futurs pour assurer l'évolutivité du système.