



Étude de faisabilité technique du tramway de Québec et de Lévis

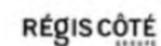


Dossier P-12-600-04

Consortium Tramway Québec-Lévis



et ses partenaires



Intitulé du document

LIVRABLE 1.21 MODE D'ALIMENTATION SRB ELECTRIQUE

Numéro du document

610879-2100-4BER-0001

Révision

00

PRINCIPAUX COLLABORATEURS :

Pascal CHOVIN

Guillaume LIRON

Gabriel THELISSON

VÉRIFIÉ PAR : Cedrick CHATENET

APPROUVÉ PAR : André GENDREAU

NUMÉRO DU DOCUMENT :		610879-2100-4BER-0001
REV.	DATE	TYPE DE RELÂCHE
PA	28/07/2014	Émission préliminaire interne
PB	26/08/2014	Émission préliminaire au RTC
00	18/11/2014	Émission finale au RTC

SOMMAIRE

GLOSSAIRE ET DEFINITIONS	5
1. INTRODUCTION ET MISE EN CONTEXTE	6
1.1 SERVICE RAPIDE PAR AUTOBUS.....	6
1.2 SITUATION DANS LE PROJET.....	7
1.2.1 LE MANDAT DE SERVICES PROFESSIONNELS CONFIE AU CONSORTIUM.....	7
1.3 PRESENTATION DU LIVRABLE 1.21- MODE D'ALIMENTATION SRB ELECTRIQUE	8
1.3.1 OBJECTIFS DU PRESENT LIVRABLE	8
1.3.2 PRESENTATION DU SOUS-SYSTEME « ALIMENTATION ELECTRIQUE TRACTION » SRB ELECTRIQUE	8
1.3.3 OBJECTIF DE L'ETUDE DE FAISABILITE « ALIMENTATION ELECTRIQUE TRACTION ».....	8
1.3.4 EXIGENCES GENERALES.....	8
1.3.5 CONTENU DU PRESENT LIVRABLE.....	8
2. INTRANTS.....	9
2.1 SYSTEME SRB ELECTRIQUE	9
2.2 MATERIEL ROULANT	9
2.3 EXPLOITATION	9
2.4 ZONES A ELECTRIFIER POUR LE SRB ELECTRIQUE	9
3. CRITERES DE CONCEPTION INSTALLATIONS TRACTION.....	10
3.1 REFERENTIEL TECHNIQUE PRINCIPAL.....	10
3.2 ENVIRONNEMENT CLIMATIQUE.....	10
3.3 TENSION D'ALIMENTATION TRACTION	10
3.4 LIGNE AÉRIENNE DE CONTACT.....	10
3.5 PERFORMANCES	12
3.5.1 PARAMÈTES D'ENTRÉE IMPORTANTS	12
3.5.2 PRINCIPE PREDIMENSIONNEMENT DE L'ENERGIE DE TRACTION	12
3.5.3 CRITÈRES DE PERFORMANCE	13
3.6 IDENTIFICATION DES INSTALLATIONS DU SYSTEME SRB A ALIMENTER EN ELECTRICITE	13
4. LIGNE AERIENNE DE CONTACT	14
4.1 DESCRIPTION FONCTIONNELLE.....	14
4.2 TYPES DE LAC	14
4.3 TECHNOLOGIE DES LIGNES	14
4.4 PARAMETRES PRINCIPAUX	15
4.5 SUPPORT LAC.....	15
4.6 INSERTION DES LAC	15
4.7 EQUIPEMENTS LAC.....	15
4.7.1 ARMEMENTS LAC.....	15
4.7.2 MATERIEL DE SUSPENSIONS DES FILS DE CONTACT.....	15
4.7.3 ISOLATION – PROTECTION DES PERSONNES	16
4.7.4 FIL DE CONTACT	16
4.7.5 ÉQUIPEMENTS SPÉCIAUX.....	16
4.8 GABARIT ROUTIER - POINTS SINGULIERS	18

4.9 CENTRE D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN	20
5. TRACTION	21
5.1 AVERTISSEMENTS	21
5.2 LIMITATIONS DE VITESSE	21
5.3 ROBUSTESSE	21
5.4 PARAMETRES ELECTRIQUES DES INSTALLATIONS	21
5.5 RECUPERATION DE L'ENERGIE DE FREINAGE.....	22
5.6 ANALYSE A DIRE D'EXPERT	22
5.6.1 TRACE	22
5.6.2 INTERVALLES D'EXPLOITATION.....	22
5.6.3 TEMPS D'ARRET EN STATION	22
5.6.4 PARAMETRES MATERIEL ROULANT	23
5.6.5 VITESSES.....	23
5.6.6 MODES PARTICULIERS D'EXPLOITATION	23
5.6.7 EXTRAPOLATION ET ANALYSE	23
5.7 SYNTHESE TRACTION	24
6. CENTRE DE COMMANDE ENERGIE.....	25
7. MISE A LA TERRE ET TRAITEMENT DES PERTURBATIONS HARMONIQUES.....	26
7.1 MISE A LA TERRE	26
7.2 PERTURBATIONS HARMONIQUES.....	26
7.3 TRAITEMENT DES COURANTS VAGABONDS.....	26
8. EXPLOITATION ET ENTRETIEN DU SYSTEME D'ALIMENTATION ELECTRIQUE TRACTION	27

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Les 5 mandats	7
Figure 2 :	Schéma d'exploitation envisagée en 2026	9
Figure 3 :	Schéma d'exploitation envisagée en 2041	9
Figure 4 :	Exemples de montage type de la LAC SRB électrique (trolleybus)	10
Figure 5 :	Intégration en centre-ville historique, ancrages en façade	11
Figure 6 :	Photo insertion LAC Trolleybus site mixte - Lyon	11
Figure 7 :	Dévoisement possible du véhicule sur 1 file de circulation adjacente	12
Figure 8 :	insertion LAC Trolleybus type caténaire pour maximiser la portée entre 2 supports – Ceské Budejovice 12	
Figure 9 :	Photo exemple LAC Trolleybus site mixte – Lyon – accrochage sur poteaux	14
Figure 10 :	Photo de différents types suspension LAC Trolleybus - Lyon	16
Figure 11 :	Photo suspension LAC Trolleybus type tramway- Lyon	16
Figure 12 :	Photo passage sous ouvrage LAC Trolleybus - Lyon	16
Figure 13 :	Photo insertion aiguillage LAC Trolleybus - Lyon	17
Figure 14 :	Photo appareil de croisement de 2 LAC Trolleybus - Lyon	17
Figure 15 :	Photo insertion alimentation et isolateur de section LAC Trolleybus – Lyon	17
Figure 16 :	Photo insertion alimentation et isolateur de section LAC Trolleybus - Lyon	18
Figure 17 :	Photo guide d'emperchage LAC Trolleybus - Lyon	18
Figure 18 :	Photo guide d'emperchage LAC Trolleybus – zoom - Lyon	18
Figure 19 :	Synoptique architecture Commande Centralisée installations électriques SRB	25
Figure 20 :	Schéma général du réseau de terre – Système SRB Électrique (trolleybus)	26
Figure 21 :	Schéma général du réseau de terre – Système tramway	26
Figure 22 :	Photo d'un camion « rail/route » avec nacelle de grandes dimensions	28
Figure 23 :	Photo d'un camion « route » avec nacelle de grandes dimensions	28

GLOSSAIRE ET DEFINITIONS

Glossaire

Abréviations	Définitions
A	Ampère
ac ou ~	Courant alternatif
APU	Auxiliaire de puissance électrique
BHNS	Bus à haut niveau de service
BT	Basse tension
cc ou =	Courant continu
CEE	Centre d'exploitation et d'entretien
CV	Courants vagabonds
GLO	Gabarit Limite d'Obstacle
GTC	Gestion Technique Centralisée
HQ	Hydro Québec
LAC	Ligne aérienne de contact
LATE	Ligne aérienne de traction électrique Même signification pour les 2 abréviations
m	Mètre
MALT	Mise à la terre
MR	Matériel roulant
MT	Moyenne tension
PCC	Poste de Commande Centralisé
RTC	Réseau de transport de la Capitale
SAEIV	Système d'Aide à l'Exploitation et à l'Information Voyageurs
SRB	Service rapide par autobus
SST	Sous-Station Traction
STI	Systèmes de transport intelligents
STLévis	Société de transport de Lévis
V	Volt

Définitions

Centre d'échanges :	Point de convergence et d'échanges des usagers du SRB avec le réseau d'autobus ou avec tout autre mode de transport; le centre d'échanges peut être un terminus d'autobus, un stationnement incitatif pour automobiles, un stationnement pour un système d'auto-partage, un stationnement pour vélos ou un regroupement total ou partiel de toutes ces fonctions.
Ligne du SRB :	Axe opérationnel (défini avec un horaire d'exploitation), utilisant une partie, un ou plusieurs tracé(s) (infrastructures) spécifiquement aménagé(s) pour le SRB.
Section électrique :	Portion de ligne située entre 2 sous-stations de traction.
Site propre :	Les voies du SRB sont exclusivement utilisées par le SRB.
Site mixte :	Une (1) des deux (2) voies du SRB est utilisée par les véhicules particuliers.
Site banal :	Les deux (2) voies du tramway sont utilisées par les véhicules particuliers.
Sous-section électrique :	Sous découpage d'une section électrique de ligne.
Sous-station :	Local ou bâtiment regroupant les équipements électriques d'acquisition MT, production/distribution traction, commande/contrôle, basse tension.
Station :	Point d'embarquement ou de débarquement des usagers du SRB le long du tracé.

1. INTRODUCTION ET MISE EN CONTEXTE

1.1 SERVICE RAPIDE PAR AUTOBUS

Dans l'optique où le réseau de transport à haut niveau de service passerait par une étape de Service rapide par autobus (SRB), quatre scénarios ont été définis par le RTC; soit :

- Scénario - SRB évolutif (hybride – batteries);
- Scénario - SRB fiabilisé (hybride – batteries);
- Scénario - SRB de base (hybride – batteries);
- Scénario - SRB électrique (trolleybus).

Les hypothèses communes à ces scénarios sont les suivantes :

- le SRB utilisera l'emprise prévue pour le tramway;
- si requis, l'emprise du tramway sera élargie pour le SRB et/ou ajustée localement pour tenir compte des particularités du système de SRB (rayon de giration, largeur de la plateforme en station, etc.);
- les stations sont localisées aux mêmes points kilométriques (P.K.) que pour le tramway;
- les quais seront conçus pour recevoir deux (2) autobus articulés de 18 m ou un (1) autobus bi-articulé de 24 m;
- le matériel roulant SRB sera constitué d'autobus bi-articulés de 24 m;
- le système doit être accessible à tous (accessibilité universelle);
- la priorité absolue est donnée au SRB à tous les carrefours;
- tous les travaux du tracé est-ouest, de la station Desjardins à la station D'Estimauville, et du tracé nord-sud doivent être réalisés (± 38 km);
- entre Charest et le Grand-Théâtre, les SRB vont circuler en rive dans les voies réservées tant à l'aller qu'au retour;
- des boucles de retournement pour les autobus seront aménagées en bout de ligne ainsi qu'aux extrémités des services renforcés.

Les hypothèses spécifiques au Scénario - SRB évolutif sont les suivantes :

- le SRB évolutif est conçu afin de minimiser la conversion vers un tramway;
- le matériel roulant sera constitué d'autobus hybride (diesel-batteries) bi-articulés de 24,00 m;
- la plateforme du SRB évolutif sera une pré-plateforme tramway; soit la plateforme du tramway sauf pour la partie supérieure (béton de calage, voie ferrée et revêtement). Cette partie de la plateforme sera remplacée par une finition adaptée au SRB évolutif;
- la plateforme du SRB évolutif sera mise en place partout sauf entre le boulevard Charest et le Grand-Théâtre. Sur ce tronçon, les autobus vont circuler sur chaussée régulière;
- les massifs des poteaux LAC seront mis en place dès le début là où la plateforme est construite;
- les réseaux souterrains seront déviés;
- l'opération du SRB évolutif, avec ± 100 véhicules, requiert l'extension des installations de remisage et d'entretien du RTC rue Armand-Viau, ainsi que la construction d'une aire de remisage, de révision et d'entretien journalier pour une partie de la flotte à Lévis (site à déterminer).

Les hypothèses spécifiques au Scénario – SRB fiabilisé sont les suivantes :

- le matériel roulant sera constitué d'autobus hybrides (diesel-batteries) bi-articulés de 24,00 m;
- la plateforme sera une plateforme conçue pour répondre aux besoins du SRB fiabilisé (non une pré-plateforme tramway);
- la plateforme du SRB fiabilisé sera mise en place partout sauf entre le boulevard Charest et le Grand-Théâtre. Sur ce tronçon, les autobus circuleront sur une chaussée régulière;
- les réseaux souterrains seront déviés;
- l'opération du SRB fiabilisé, avec ± 100 véhicules, requiert l'extension des installations de remisage et d'entretien du RTC rue Armand-Viau, ainsi que la construction d'une aire de remisage, de révision et d'entretien journalier pour une partie de flotte à Lévis (site à déterminer).

Les hypothèses spécifiques au Scénario – SRB de base sont les suivantes :

- le matériel roulant sera constitué d'autobus hybrides (diesel-batteries) bi-articulés de 24,00 m;
- la plateforme sera une plateforme conçue pour répondre aux besoins du SRB de base (non une pré-plateforme tramway);
- la plateforme du SRB sera mise en place partout sauf entre le boulevard Charest et le Grand-Théâtre. Sur ce tronçon, les autobus circuleront sur une chaussée régulière;
- les réseaux souterrains ne seront pas déviés;
- l'opération du SRB, avec ± 100 véhicules, requiert l'extension des installations de remisage et d'entretien du RTC rue Armand-Viau, ainsi que la construction d'une aire de remisage, de révision et d'entretien journalier pour une partie de flotte à Lévis (site à déterminer).

Les hypothèses spécifiques au Scénario - SRB électrique sont les suivantes :

- le matériel roulant sera constitué d'autobus électrique (trolleybus) bi-articulés de 24 m;
- la plateforme du SRB électrique est une plateforme conçue pour rencontrer les besoins du SRB électrique;
- entre Charest et le Grand-Théâtre, les autobus circuleront en surface sur des voies réservées aux autobus avec plateforme et stations SRB;
- les réseaux souterrains seront déviés;
- la construction d'un CEE principal à Québec sur le site Verdun;
- la construction d'un CEE secondaire à Lévis rue Plante.

1.2 SITUATION DANS LE PROJET

1.2.1 Le mandat de services professionnels confié au consortium

Le mandat de services professionnels confié au Consortium Roche, SNC-Lavalin et Egis Rail dans le cadre de l'étude de faisabilité du tramway de Québec et de Lévis fait partie d'un ensemble d'études coupées en cinq (5) mandats.

La figure ci-après présente ces cinq (5) mandats.

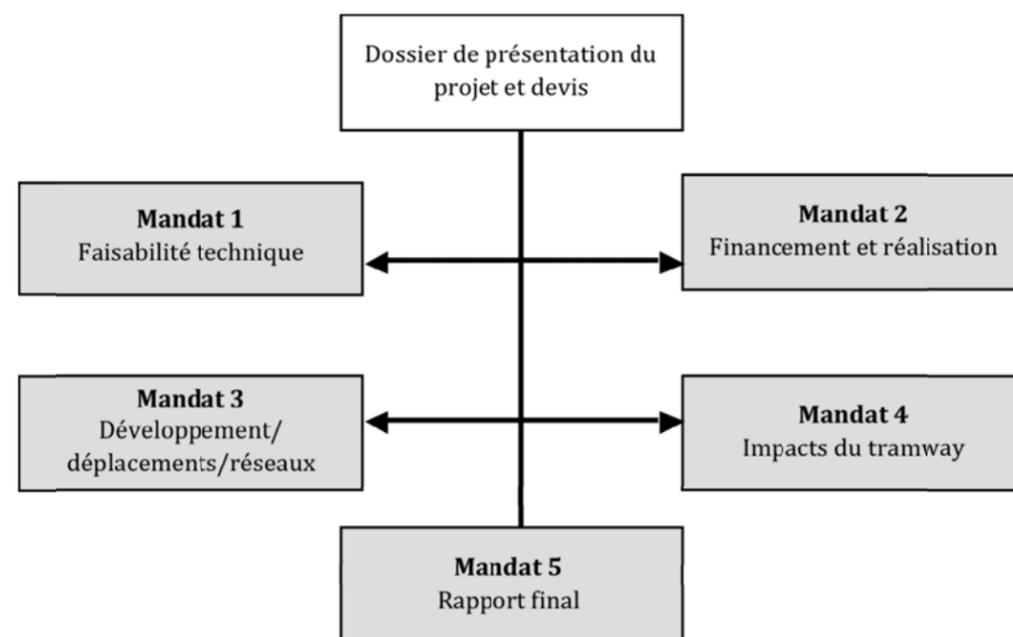


Figure 1 : Les 5 mandats

Le Réseau de transport de la Capitale (RTC) a regroupé ces mandats en trois (3) lots :

- le lot 1 comprend le mandat 1 (faisabilité technique);
- le lot 2 comprend le mandat 2 (modes de financement et de réalisation);
- le lot 3 comprend les mandats 3, 4 et 5 (développement/déplacements/réseaux, impacts du tramway et rapport final).

Le lot 1- mandat 1 : Étude de faisabilité technique du tramway a été confié par le RTC au Consortium tramway Québec-Lévis composé des firmes Roche, SNC-Lavalin et Egis Rail.

Dans un premier temps, la mission du Consortium mandataire du Lot 1 – Mandat 1 consiste à réaliser l'étude de faisabilité technique du tramway de Québec et de Lévis. Ce dossier est constitué de 8 livrables soit :

- Livrable 1.1 – Projet de référence, variantes et enjeux du tramway;
- Livrable 1.2 – Technologie et insertion;
- Livrable 1.3 – Mode d'alimentation du système;
- Livrable 1.4 – Équipements, exploitation, maintenance et dépôt;
- Livrable 1.5 – Phasage et échéancier de construction du projet;

- Livrable 1.6 – Coûts d'immobilisation et d'exploitation;
- Livrable 1.7 – Impacts de la mise en place d'un BHNS à Lévis;
- Livrable 1.8 – Rapport technique du mandat 1.

Dans un deuxième temps, la mission du Consortium mandataire du Lot 1 – Mandat 1 consiste à réaliser les études relatives à l'intégration dans le projet de différents scénarios de SRB (service rapide par autobus).

Ce dossier est constitué de 14 livrables soit :

- Livrable 1.10 – Projet SRB de référence, variantes et enjeux;
- Livrable 1.11 – Insertion - SRB;
- Livrable 1.12 – Équipements d'exploitation - SRB;
- Livrable 1.13 – Coûts d'immobilisation - SRB;

Livrable 1.14 – Coûts d'exploitation - SRB;

- Livrable 1.15 – Échéancier de construction - SRB;
- Livrable 1.20 – Insertion - SRB électrique;
- Livrable 1.21 – Mode d'alimentation – SRB électrique;
- Livrable 1.22 – CEE - SRB électrique;
- Livrable 1.23 – Équipements d'exploitation - SRB électrique;
- Livrable 1.24 – Coûts d'immobilisation - SRB électrique;
- Livrable 1.25 – Coûts d'exploitation – SRB électrique;
- Livrable 1.26 – Échéancier de construction - SRB électrique;
- Livrable 1.27 – Sommaire phase SRB (intégré au livrable 1.8).

1.3 PRESENTATION DU LIVRABLE 1.21- MODE D'ALIMENTATION SRB ELECTRIQUE

1.3.1 Objectifs du présent livrable

Les objectifs du présent livrable sont de définir les installations d'alimentation électrique traction pour la configuration **SRB électrique de type trolleybus**.

Pour cette configuration, le matériel roulant retenu est la technologie trolleybus bi-articulé de 24 m.

Dans le projet tel qu'initialement défini par le RTC, la mise en œuvre des installations fixes devait se réaliser en 2 phases :

- Phase 1 (2026) : électrification trolleybus du tracé Est-Ouest :
 - de la station 4e Avenue à Lévis, jusqu'à la station D'Estimauville à Québec;
 - du Centre d'Exploitation et d'Entretien (CEE) SRB sur le site de Verdun.
- Phase 2 (2041) : électrification trolleybus du tracé Nord-Sud :
 - de la station 41^e Rue à la station Grand Théâtre;
 - et complément des installations d'alimentation traction au CEE SRB de Verdun.

L'évolution du projet fait qu'il est maintenant prévu d'implanter le SRB électrique sur l'ensemble du tracé en une ou plusieurs phases ; soit sur le tracé Est-Ouest entre les stations terminales Desjardins et D'Estimauville et sur le tracé Nord-Sud entre les stations terminales Galeries Charlesbourg et Grand-Théâtre.

La définition des installations d'alimentation électrique traction présentée dans le présent document n'est pas impactée par cette évolution du projet. Seules les quantités sont impactées et elles sont prises en compte dans l'évaluation des coûts de ce projet.

1.3.2 Présentation du sous-système « Alimentation électrique traction » SRB électrique

Le sous-système d'alimentation électrique traction du SRB électrique de type Trolleybus se compose de trois sous-ensembles fonctionnels :

- la transformation de l'énergie Moyenne Tension (MT) du réseau de distribution d'électricité en énergie de traction continue d'alimentation des matériels roulants et en énergie Basse Tension (BT) qui alimente les stations voyageurs et le dépôt (Centre d'Exploitation et d'Entretien CEE), et les équipements en ligne;
- la distribution de l'énergie de traction, au matériel roulant qui se fait au moyen de lignes aériennes de contact (LAC) sur poteaux ou sur ancrages en façade, intégrées au paysage urbain;
- la commande et le contrôle des équipements électriques à partir du centre de commande énergie.

1.3.3 Objectif de l'étude de faisabilité « Alimentation électrique traction »

À l'instar des autres systèmes, l'étude de faisabilité de l'alimentation électrique a pour objectif :

- de s'assurer de la faisabilité du système « alimentation électrique traction » dans le respect des normes et des lois;
- de caractériser les équipements de ce système dans un détail nécessaire et suffisant pour estimer les coûts d'investissement avec une précision de +/- 30 %;

- de déterminer la consommation en énergie et en puissance électrique du système SRB électrique (trolleybus) et d'en déterminer le coût annuel avec une précision de +/- 30 %;
- de caractériser les requis en entretien (équipement et personnel) et d'en déterminer le coût moyen annuel avec une précision de +/- 30 %.

1.3.4 Exigences générales

Dans l'élaboration des concepts techniques, les principes de base à considérer, pour le projet de référence sont les suivants :

- appliquer un concept éprouvé et sécuritaire;
- tenir compte des conditions climatiques (très grande variation entre les hivers froids et l'été), du relief (dénivelé importante de la ligne), et des conditions de circulation en environnement urbain;
- minimiser les impacts sur l'environnement;
- optimiser les coûts d'immobilisation et d'exploitation sur la durée de vie des infrastructures;
- optimiser l'implantation des divers équipements en milieu urbain;
- faciliter l'entretien des infrastructures et des équipements servant à l'électrification.

1.3.5 Contenu du présent livrable

Pour les installations d'alimentation traction, de nombreux éléments sont similaires pour le SRB électrique (trolleybus) et pour un tramway. De ce fait, le présent livrable s'appuie sur les livrables 1.3 déjà émis pour le tramway, à savoir :

- rapport d'étape 1.3 – Mode d'alimentation du système, référence 610879-0300-40ER-0001;
- 1^{er} sous-livrable 1.3 – Critères de conception, référence 610879-0010-4AEN-0002;
- 2^e sous-livrable 1.3 – Hypothèses pour le pré-dimensionnement traction, avec annexe résultats simulations traction, référence 610879-0300-4AEN-0006;
- 3^e sous-livrable 1.3 – Ligne aérienne de Contact, référence 610879-0300-4AEN-0002;
- 4^e sous-livrable 1.3 – Centre de commande énergie, 610879-0010-4AEN-0002;
- 5^e sous-livrable 1.3 – Récupération de l'énergie de freinage, 610879-0300-4AEN-0004;
- 6^e sous-livrable 1.3 – Mise à la terre et traitement des perturbations harmoniques, référence 610879-0300-4AEN-0005;
- 7^e sous-livrable 1.3 – Exploitation et entretien des équipements énergie et ligne aérienne de contact, référence 610879-0300-4CEN-0001.

Le présent livrable est structuré de la façon suivante, suite au présent chapitre d'introduction et de mise en contexte :

- Chapitre 3 : Intrants;
- Chapitre 4 : Critères de conception installations traction;
- Chapitre 5 : Ligne aérienne de contact;
- Chapitre 6 : Traction;
- Chapitre 7 : Centre de commande énergie;
- Chapitre 8 : Mise à la terre et traitement des perturbations harmoniques;
- Chapitre 9 : Exploitation et entretien du système alimentation électrique traction.

2. INTRANTS

2.1 SYSTEME SRB ELECTRIQUE

Suite à la production du livrable « 1.10 – Projet de référence SRB, variantes et enjeux », référence 610879-1100-4BER-0001, le RTC a retenu pour l'étude du SRB électrique de type trolleybus, avec du matériel roulant bi-articulé de 24 m de longueur.

2.2 MATERIEL ROULANT

Le matériel roulant retenu par le RTC pour établir l'étude est un véhicule à alimentation électrique (trolleybus).

Les paramètres principaux de MR pris en compte pour la présente étude sont les suivants :

- véhicule bi-articulé;
- longueur : environ 24 m;
- capacité : environ 150 personnes;
- alimentation électrique;
- dispose d'un système de secours embarqué pour pouvoir parcourir quelques centaines de mètres en autonome.

Les hypothèses prises concernant le matériel roulant sont définies au paragraphe « 5.6.4 - Paramètres matériel roulant ».

2.3 EXPLOITATION

Les informations d'exploitation pour le SRB électrique communiquées par le RTC comme intrants sont les suivantes :

- la demande 2026 requiert une fréquence aux trois (3) minutes aux heures de pointe sur le tracé Est-Ouest.

Le synoptique suivant illustre l'exploitation envisagée à l'horizon 2026.

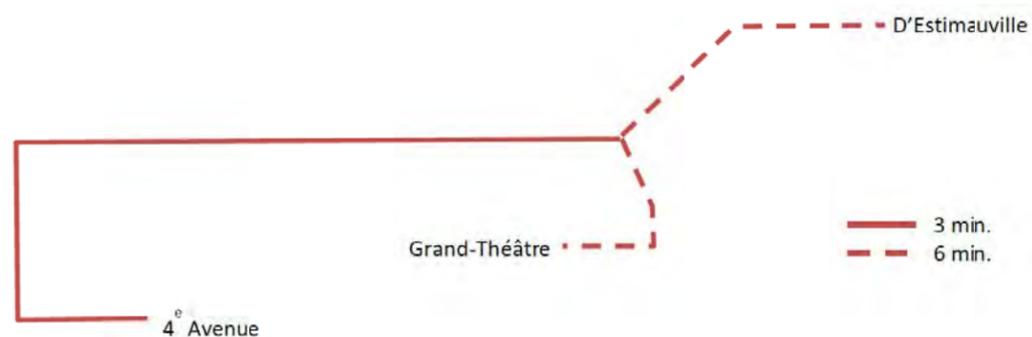


Figure 2 : Schéma d'exploitation envisagée en 2026

- pour la demande 2041, il faut considérer une demande plus forte nécessitant une fréquence de tronc commun aux deux (2) minutes aux heures de pointe. L'exploitation SRB inclut également des services sur le tracé Nord-Sud.

Le synoptique suivant illustre l'exploitation envisagée à l'horizon 2041.

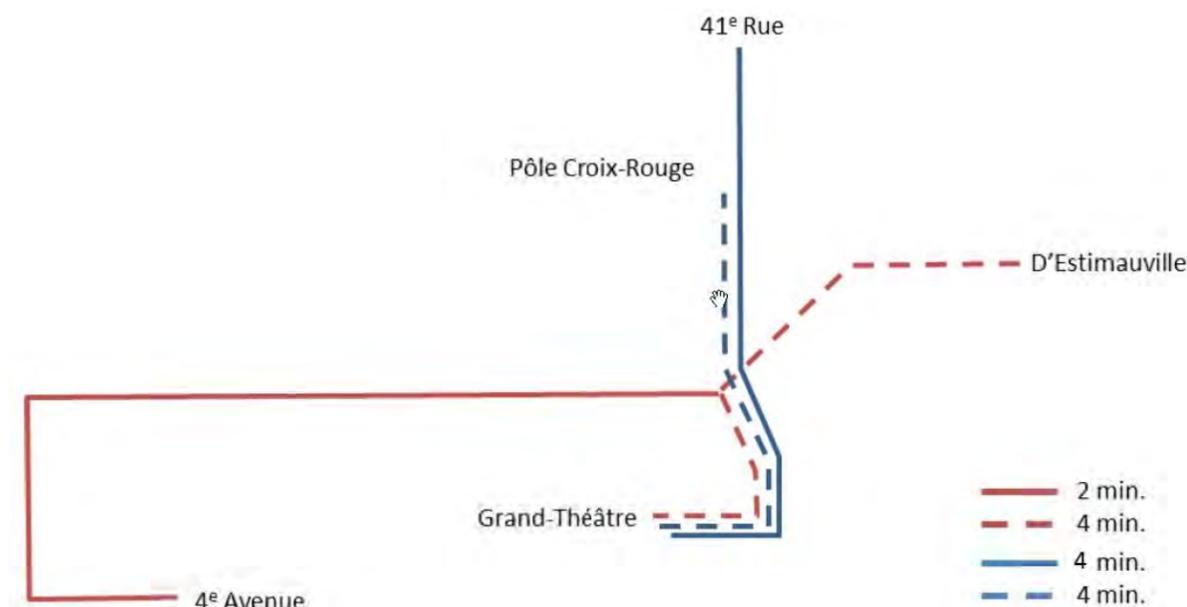


Figure 3 : Schéma d'exploitation envisagée en 2041

2.4 ZONES A ELECTRIIFIER POUR LE SRB ELECTRIQUE

Sur la base du projet initialement défini par le RTC, la mise en œuvre des installations d'alimentation traction devait être réalisée en 2 phases :

- Phase 1 (2026) : électrification de type trolleybus du tracé Est-Ouest :
 - de la station 4^e Avenue à Lévis, jusqu'à la station D'Estimauville à Québec;
 - du Centre d'Exploitation et d'Entretien (CEE) du système SRB électrique, sur le site de Verdun;
 - hypothèse : l'électrification sur le tracé Est-Ouest de la station 4^e Avenue à la station D'Estimauville est faite dès 2026 en prenant en compte l'intervalle d'exploitation 2041 sur ce tracé.
- Phase 2 (2041) : électrification de type trolleybus du tracé Nord-Sud :
 - de la station 41^e Rue à la station Grand-Théâtre;
 - et complément des installations d'alimentation traction au CEE SRB électrique de Verdun.

3. CRITERES DE CONCEPTION INSTALLATIONS TRACTION

3.1 REFERENTIEL TECHNIQUE PRINCIPAL

Le référentiel technique principal à prendre en compte pour l'alimentation du système SRB électrique (trolleybus) est constitué des textes :

- normes canadiennes;
- normes Hydro-Québec;
- des normes européennes pour ce qui relève des installations de traction.

Le lecteur est invité à lire la 4^e section du 1^{er} sous-livrable 1.3 « Mode d'alimentation du système – Critères de conception », référence 610879-0010-4AEN-0002.

3.2 ENVIRONNEMENT CLIMATIQUE

Les critères de conception pour l'environnement climatique sont définis dans le 1^{er} sous-livrable 1.3 « Mode d'alimentation du système – Critères de conception » référence 610879-0010-4AEN-0002, au chapitre 5.

3.3 TENSION D'ALIMENTATION TRACTION

Le choix de la tension d'alimentation traction concerne à la fois les installations fixes de traction (sous-stations traction, ligne aérienne de contact, etc.), et le matériel roulant.

Comme pour le tramway, la tension de 750V= courant continu est préconisée pour le SRB électrique (trolleybus). Cette tension est à privilégier par rapport à la tension historique de 600V= pour les trolleybus. La tension de 750V= permet de réduire les courants et les pertes dans la LAC par rapport au 600V=, et de faciliter le transport de l'énergie.

3.4 LIGNE AÉRIENNE DE CONTACT

La solution avec ligne aérienne de contact (LAC) est depuis des décennies le système de référence concernant l'alimentation en énergie de traction des SRB électrique (trolleybus).

L'insertion de la ligne aérienne de contact (LAC) consiste à déterminer les différents modes de supportages possibles et le mieux adapté au site traversé.

Les grandes familles d'insertion possible pour la LAC sont les suivants :

- supports (poteau ou ancrage en façade) bilatéraux avec suspension sous transversal;
- poteaux latéraux avec suspension sous consoles couvrant 1 ou 2 voies;
- poteaux axiaux (entre les 2 voies de circulation du SRB), avec suspension sous 2 consoles courant chacune 1 voie;
- fixations sous ouvrages.

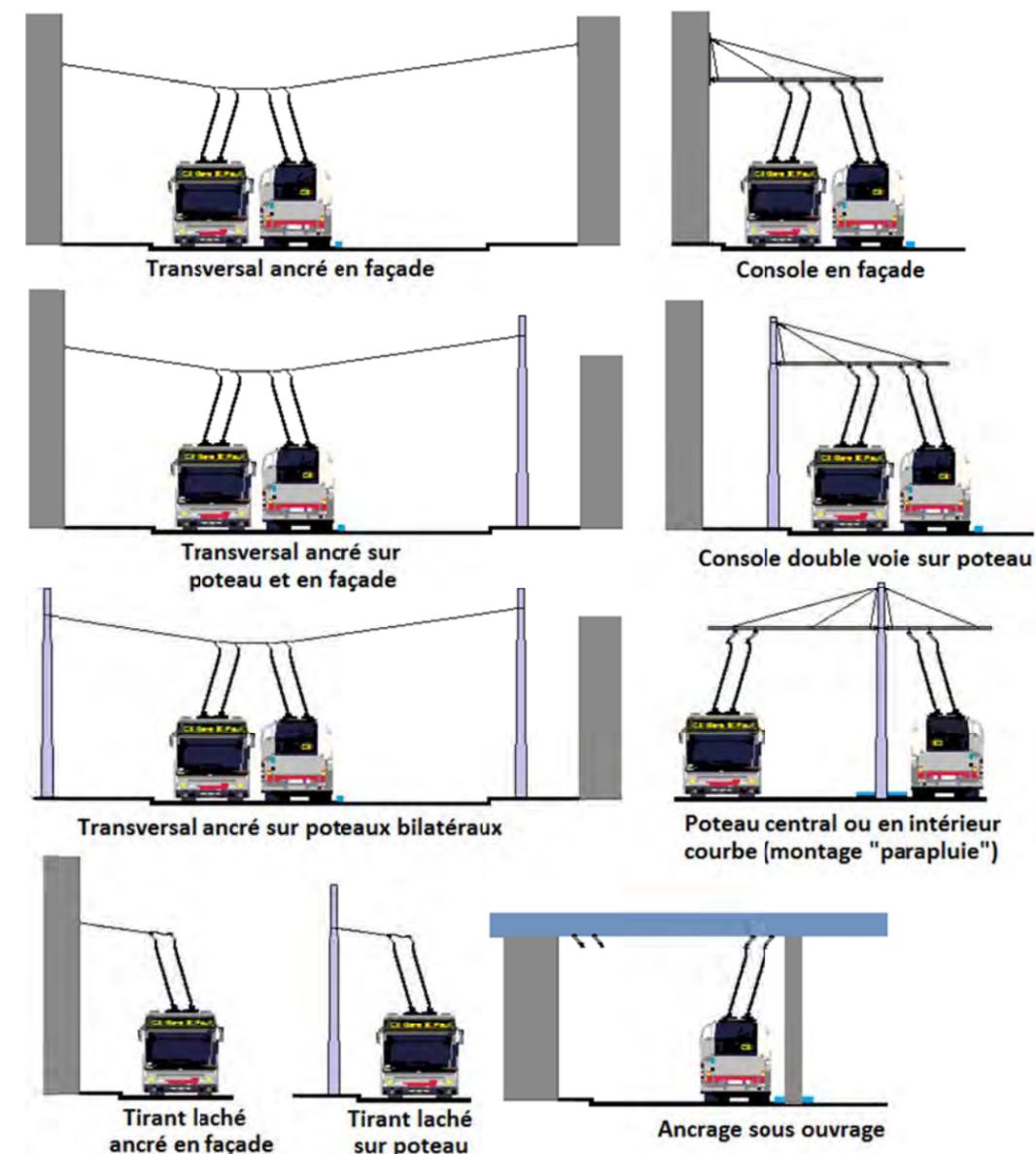


Figure 4 : Exemples de montage type de la LAC SRB électrique (trolleybus)

Le lecteur est invité à lire la présentation LAC à la 6^e section du 1^{er} sous-livrable 1.3 « Mode d'alimentation du système – Critères de conception », référence 610879-0010-4AEN-0002.

La ligne aérienne de contact (LAC) pour un système SRB électrique (trolleybus) comporte des spécificités par rapport à celle d'un système tramway. Le tableau suivant présente un récapitulatif des principales particularités de la LAC SRB par rapport à la LAC tramway.

Particularités LAC	SRB électrique (trolleybus)	Tramway
Polarité traction « positif »	Par LAC	Par LAC
Polarité traction « négatif »	Par LAC	Par les rails de roulement
Captation MR	Par perches	Par pantographe
Aiguillage de changement de ligne	Montages LAC nécessitant des appareils d'aiguillages aériens.	Montages LAC statiques, l'aiguillage étant assuré par la voie ferrée.
Solutions techniques	LAC simple unifilaire (1 fil de contact pour le positif et 1 fil de contact pour le négatif) Caténaire légère mise en œuvre sur des réseaux SRB électrique (trolleybus) de l'Europe de l'Est	LAC simple unifilaire LAC bifilaire Caténaire légère Profil Aérien de Contact (sous ouvrage)
Type d'insertion LAC	Similaires. Les 4 grandes familles d'insertion sont possibles : Type 1 : supports bilatéraux avec suspension sous transversal, Type 2 : poteaux latéraux avec suspension sous consoles couvrant 1 ou 2 voies, Type 3 : poteaux axiaux avec suspension sous 2 consoles couvrant chacune 1 voie Type 4 : fixations sous ouvrage.	
Maturité technologique	Solution éprouvée (long historique)	Solution éprouvée (long historique)
Hauteur minimale LAC (possibilité de captation du MR)	Suivant la hauteur du véhicule (~3,70 à 4 m)	Généralement 3,70 m
Hauteur nominale habituelle de la LAC :	5,5 à 6 m Préconisation 6 m aux intersections	6 m Préconisation 6 m aux intersections
Hauteur maximale LAC (possibilité de captation du MR)	Généralement 6,30 à 6,50 m	Généralement 6,30 m
Contraintes de gabarit routier	Similaire. Avantage Trolleybus lors du passage sous les structures inclinées (exemple : Pont de Québec).	

Les photos suivantes illustrent la LAC de type trolleybus pour différentes configurations.



Figure 5 : Intégration en centre-ville historique, ancrages en façade

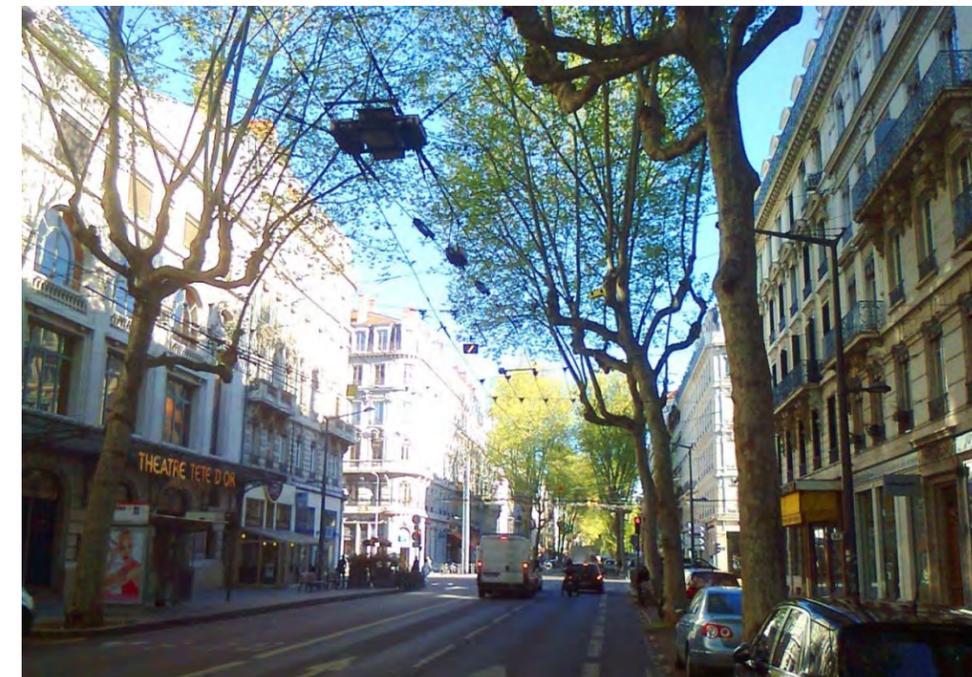


Figure 6 : Photo insertion LAC Trolleybus site mixte - Lyon



Figure 7 : Dévoisement possible du véhicule sur 1 file de circulation adjacente



Figure 8 : insertion LAC Trolleybus type caténaire pour maximiser la portée entre 2 supports – Ceské Budejovice

Les spécificités de la LAC SRB électrique (trolleybus) sont détaillées dans la suite de ce document, au chapitre « 4 - Ligne aérienne de contact ».

3.5 PERFORMANCES

Les critères de performances, ainsi que les paramètres d'entrées importants pour les dimensionnements des installations de production et de distribution de l'énergie de traction d'un système SRB électrique (trolleybus) sont les mêmes que pour un tramway.

3.5.1 Paramètres d'entrée importants

Les critères importants pour les dimensionnements des installations de production et de distribution de l'énergie de traction d'un système SRB électrique (trolleybus) sont les mêmes que pour un tramway, à savoir :

- les caractéristiques du matériel roulant. Les valeurs prépondérantes du MR sont :
 - la masse à vide et en charge;
 - la puissance de motorisation;
 - la puissance des auxiliaires (ceux pour le fonctionnement de la rame + ceux pour le confort des passagers);
 - les équipements embarqués de récupération de l'énergie de freinage avec réinjection de l'énergie au démarrage pour lisser les courants appelés sur la LAC;
 - les évolutions envisagées à terme sur le matériel roulant (allongement, etc.).
- l'exploitation nominale :
 - intervalles d'exploitation entre matériel roulant (à la mise en service, ainsi qu'à court/moyen/long terme);
 - priorité absolue ou non aux intersections pour les SRB;
 - et d'une façon plus générale, tout ce qui peut impliquer un ralentissement puis une réaccélération des rames (par exemple, une future station envisagée, etc.);
- les exploitations dégradées envisagées (services partiels, services provisoires, etc.);
- le schéma d'exploitation avec les trajets Haut-le-Pied (à vide), les boucles de retournement en ligne pour service partiel, les exploitations exceptionnelles (offre de transport intense lors de manifestations, événements sportifs, concerts, etc.);
- le profil en long du tracé;
- les longueurs d'inter-stations et le nombre de stations.

3.5.2 Principe prédimensionnement de l'énergie de traction

Le courant absorbé par les rames provoque une chute de tension en ligne proportionnelle à ce courant et à la résistance du circuit de distribution traction. Ce circuit est composé des fils de contact et feeder éventuel pour le positif et pour le négatif.

Le dimensionnement du réseau de production et de distribution de l'énergie de traction est satisfaisant lorsque :

- la tension délivrée en ligne reste à un niveau supérieur à la tension minimale acceptée par les rames;
- la densité de courant dans les fils de contact et feeder éventuel, n'entraîne pas de dépassement des échauffements compatibles avec leurs caractéristiques technologiques;

- les charges de postes redresseurs en sous-station ne dépassent pas leurs caractéristiques admissibles.

3.5.3 Critères de performance

Les critères principaux de performances sont présentés ci-dessous.

Tension traction

Le dimensionnement des installations fixes de traction doit être réalisé pour que la tension en ligne reste en permanence dans la plage définie dans la norme EN 50163.

Pour un nouveau système SRB électrique de type trolleybus, il préconisé de retenir la tension de 750V courant continu (et non la tension historique du trolleybus de 600V courant continu, nettement moins performante).

Courant admissible

Le courant admissible dans les fils de contact est fonction :

- du matériau du fil de contact;
- des conditions climatiques.

Si un feeder est mis en œuvre, le courant admissible est fonction :

- du matériau du feeder;
- des conditions de pose du câble.

Robustesse :

Un critère important pour le dimensionnement des installations de production et de distribution de l'énergie de traction est la robustesse souhaitée.

La robustesse peut être définie par :

- tolère-t-on une perturbation d'exploitation sur une panne d'un équipement de traction (ou une absence tension amont à un poste redresseur)?
- le niveau ou mode dégradé souhaité?

(Niveau N-1 couverture d'une défaillance, niveau N-2 couverture de 2 défaillances simultanées).

Ce critère influence directement l'architecture des installations traction, et les redondances à mettre en œuvre afin de pouvoir conserver une circulation nominale du matériel roulant.

Il influence également l'architecture moyenne tension d'alimentation des postes redresseurs.

La plage horaire d'exploitation quotidienne rentre également en compte dans ce critère (durée restant disponible pour les opérations de maintenance préventives et curatives).

En tramway alimenté en 750V=, le critère de robustesse généralement appliqué, pour avoir une bonne fiabilité du système tramway, est que la perte d'une sous-station traction doit être sans impact sur la circulation des rames.

La perte d'une sous-station peut avoir plusieurs origines :

- une défaillance interne à la sous-station;
- un arrêt programmé de la sous-station pour maintenance préventive;
- un arrêt programmé de l'alimentation MT HQ de la sous-station;

- une défaillance de l'alimentation MT HQ de la sous-station (câble endommagé par des travaux, etc.).

Le critère de robustesse peut être complété sous la forme : perte d'une sous-station pour xx sous-stations consécutives. Le choix de la valeur pour « xx » dépend de la disponibilité des alimentations MT d'Hydro Québec, et notamment :

- d'éventuel mode(s) commun(s) ; par exemple, alimentation de plusieurs sous-stations à partir d'un même poste source Hydro-Québec;
- de la mise en œuvre ou non d'une alimentation de secours Hydro Québec (réserve) pour une sous-station.

Pour la production traction, la robustesse pour le SRB électrique (trolleybus) est détaillée dans la suite de ce document au chapitre « 5.3 - Robustesse ».

3.6 IDENTIFICATION DES INSTALLATIONS DU SYSTEME SRB A ALIMENTER EN ELECTRICITE

Les installations à alimenter pour un système SRB sont similaires à celles d'un système tramway.

Le lecteur est invité à lire la 8^e section du 1^{er} sous-livrable 1.3 « Mode d'alimentation du système – Critères de conception » référence 610879-0010-4AEN-0002.

Particularités du système SRB électrique (trolleybus) par rapport au système tramway :

- suppression des locaux SIG (signalisation), des équipements de chauffage et de motorisation de la voie ferrée, suppression des équipements de protection contre les tensions rail-sol et les courants vagabonds;
- aiguillages aériens motorisés et télécommandés.

4. LIGNE AERIENNE DE CONTACT

Le 3^e sous-livrable 1.3 « Ligne aérienne de contact », référence 610879-0300-4AEN-0002, présente les équipements de la ligne aérienne de contact pour le système tramway et la déclinaison tout au long de la ligne des principes.

La majorité des éléments décrits dans ce document sont également applicables pour un système SRB électrique (trolleybus).

Les principales particularités d'un système SRB électrique (trolleybus) par rapport au système tramway sont les suivantes :

- le circuit de retour est également réalisé par ligne aérienne de contact. La LAC pour le SRB électrique (trolleybus) comporte 2 fils de contact : 1 fil pour le positif traction, et 1 fil pour le négatif traction. Espacement entre les 2 fils de contact : 0,70 m;
- la captation MR est faite par perches (et non par pantographe). Les pièces de suspension/fixation du fil de contact sont différentes, notamment pour la réalisation des courbes.

4.1 DESCRIPTION FONCTIONNELLE

La ligne aérienne de contact sert à acheminer l'énergie de traction produite par les sous-stations jusqu'aux véhicules trolleybus.

L'interface avec le matériel roulant est réalisée au niveau du contact entre les perches (1 par polarité) et les fils de contact (1 par polarité). Pour assurer le bon fonctionnement du système, le contact doit être permanent. Ceci implique un certain nombre de contraintes sur le MR (perches) et sur la ligne aérienne de contact.

Pour le MR, les valeurs importantes sont :

- les hauteurs de captation minimale et maximale;
- la pression de contact exercée sur le fil;
- la plage de débattement transversal des perches par rapport au véhicule;
- le courant maximum absorbé ou restitué.

Pour la ligne aérienne de contact, les valeurs importantes sont :

- la vitesse maximale de circulation des véhicules trolleybus;
- la variation de hauteur du fil de contact à chaque point de suspension;
- la flèche du fil de contact entre deux points de suspension;
- le positionnement des fils de contact (+ et -) par rapport à l'axe de la voie normale de circulation des trolleybus.

Cela implique la mise en œuvre d'équipements LAC. Les principaux équipements sont les suivants :

- poteaux LAC, et massifs de fondation associés;
- consoles et transversaux;
- armement et matériel de suspension;

- fils de contact;
- équipements spéciaux : appareils d'aiguillage LAC, équipements de croisement, appareils tendeurs automatiques, isolateurs de section, parafoudres, etc.

4.2 TYPES DE LAC

Pour un trolleybus, le type de LAC est limité à 1 fil de contact pour la polarité positive et 1 fil de contact pour la polarité négative.



Figure 9 : Photo exemple LAC Trolleybus site mixte – Lyon – accrochage sur poteaux

Sur des réseaux SRB électrique (trolleybus) en Europe de l'Est, des configurations de LAC type caténaire sont mises en œuvre, avec pour chaque polarité un fil de contact et un câble porteur (voir figure au chapitre 4.4).

4.3 TECHNOLOGIE DES LIGNES

En SRB électrique (trolleybus), la LAC est généralement non régularisée, c'est-à-dire que la tension mécanique des fils, et donc la flèche, varie en fonction de la température. La tension de ces lignes est néanmoins « compensée » en température grâce à un pendulage et à un

désaxement entre 2 supports successifs, permettant de réduire la flèche des fils en été et les surtensions mécaniques en hiver.

Il existe néanmoins des solutions technologiques pour la régularisation des fils de contact. Ces solutions sont mises en Europe sur des réseaux Trolleybus de l'Europe de l'Est. Le principe est similaire à celui mis en œuvre pour une LAC tramway. Une pièce supplémentaire spécifique est mise en place pour le guidage des perches.

Pour le système SRB électrique (trolleybus) des villes de Québec et de Lévis, il conviendra de privilégier les montages avec câble porteur (type caténaire légère) ou lignes régularisées compte tenu des contraintes climatiques locales (très forte amplitude thermique notamment).

4.4 PARAMETRES PRINCIPAUX

Les valeurs prises pour les paramètres principaux sont les suivantes :

- hauteur des fils de contact aux intersections : comprise entre 6 m et 6,3 m. Des points singuliers sur le tracé (présences d'ouvrages au-dessus de la plateforme du SRB) impliquent un abaissement de la hauteur du fil de contact. Ces points singuliers sont listés dans le 3^e sous-livrable 1.3 au chapitre 5. Le chapitre mentionne également les éventuels impacts en termes de limitations des hauteurs des gabarits routiers qui peuvent en découler;
- hauteur des fils de contact en site propre : peut être légèrement abaissée, mais il préconisé de rester à une hauteur > 5,5 m (engins de déneigement, etc.);
- Charges climatiques : idem 3^e sous-livrable 1.3 au chapitre 4.4;
- Portée maximale : en LAC trolleybus unifilaire non régularisé, la portée maximale est limitée en fonction des conditions climatiques. Avec la technologie type caténaire légère ou LAC régularisée, compte tenu des conditions climatiques locales des villes de Québec et de Lévis (amplitude thermique, givre, vent, etc.), la portée maximale en alignement droit sera limitée à 48-50 mètres maximum (portée maximale similaire à celle de la LAC tramway).

4.5 SUPPORT LAC

Les lignes aériennes de contact impliquent la mise en œuvre de support pour la suspension des fils de contact.

Les supports regroupement principalement :

- les poteaux LAC;
- des ancrages en façade;
- des accrochages sous ouvrages;
- des accrochages sous bâtiments, principalement utilisés dans le Centre d'Exploitation et d'Entretien.

Afin de limiter les émergences et l'impact visuel, ces supports peuvent recevoir en outre de l'éclairage public, des oriflammes, etc.

Les éléments décrits dans le 3^e sous-livrable 1.3 au chapitre 4.5 sont valables pour le SRB électrique (trolleybus).

4.6 INSERTION DES LAC

Le lecteur est invité à consulter :

- le 1^{er} sous-livrable 1.3 « Mode d'alimentation du système – Critères de conception », référence 610879-0010-4AEN-0002. Ce document décrit les différents types d'insertion des LAC envisageables, au chapitre 6.2 Insertion – Impact visuel.
- le 3^e sous-livrable 1.3 « Ligne aérienne de contact », référence 610879-0300-4AEN-0002. Les chapitres 5.2.3, 5.4.2, 5.5.3, décrivent les points singuliers, respectivement par secteurs géographiques, que sont :
 - des passages sous ouvrages d'art;
 - des passages sous ligne aérienne de transport d'énergie électrique Haute Tension / Très haute tension.
- Le livrable 1.10 « Projet de référence SRB, variantes et enjeux », référence 610879-1100-4BER-0001, et le livrable 1.20 « Insertion SRB électrique » référence 610879-2000-4BER-0001. Ces documents décrivent les types d'insertion de LAC retenus par secteur géographique de la ligne SRB lors des études d'insertion du SRB électrique.

4.7 EQUIPEMENTS LAC

4.7.1 Armements LAC

L'armement des lignes consiste en la réalisation et la mise en œuvre de tous les systèmes de suspension des fils de contact. Ils sont constitués par :

- le haubannage, qui comprend les transversaux, les tirants, les montages funiculaires, etc.
- les consoles;
- les matériels de suspension. Les matériels de suspension des fils de contact sont spécifiques pour le système Trolleybus, notamment pour les courbes.

4.7.2 Matériel de suspensions des fils de contact

En tramway, le pantographe est positionné sur bogie. Il suit l'axe de la voie tramway. Pour répartir l'usure sur les bandes de contact du pantographe, le fil de contact, est posé en zig-zag.

En trolleybus, les perches peuvent se déporter par rapport à l'axe du véhicule. Les fixations du fil de contact (pièces de suspension) doivent permettre le passage des têtes de perches, sans créer de point de rupture de contact. Les perches suivent le positionnement du fil de contact.

Les photos ci-dessous présentent différents types de matériel de suspension utilisables pour la LAC SRB électrique (trolleybus).



Figure 10 :Photo de différents types suspension LAC Trolleybus - Lyon



Figure 11 :Photo suspension LAC Trolleybus type tramway- Lyon

4.7.3 Isolation – Protection des personnes

Les installations des lignes aériennes de contact seront traitées en double isolation (ou isolation renforcée) par rapport à la terre.

Pour les montages LAC sous console, la double isolation est faite de la façon suivante :

- une isolation entre le fil de contact positif et la console;
- une isolation entre le fil de contact négatif et la console;
- une isolation ente la console et le poteau.

Pour les montages LAC sous transversaux, l'isolation est faite de la façon suivante :

- une isolation entre le fil de contact positif et le transversal,
- une isolation entre le fil de contact négatif et le transversal;

- une isolation par le transversal, ou par boucle isolante si transversal en câblette acier.

Ces principes permettent également d'avoir une double isolation entre le positif et le négatif.

Tous les poteaux LAC sont mis à la terre.

La protection contre les contacts directs est faite préférentiellement par éloignement. Néanmoins, pour le traitement des points particuliers où la protection par éloignement ne peut être respectée, la protection des personnes est faite par interposition d'obstacles (exemple : ouvrage au-dessus de la LAC accessible aux personnes).



Figure 12 :Photo passage sous ouvrage LAC Trolleybus - Lyon

4.7.4 Fil de contact

Le matériau des fils de contact est le cuivre. Pour améliorer les caractéristiques mécaniques et/ou électriques, d'autres composants peuvent être ajoutés au cuivre.

La section des fils de contact est généralement choisie dans la gamme 107, 120 ou 150 mm² (valeurs normalisées). Même section pour le fil positif et pour le fil négatif. Pour le SRB électrique (trolleybus) des villes de Québec et de Lévis, la section préconisée est de 120 mm² (A ce jour, peu/pas d'équipements spéciaux trolleybus adaptés au fil de contact de 150mm²).

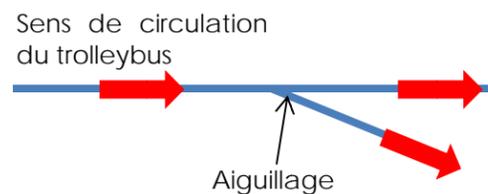
4.7.5 Équipements spéciaux

La LAC trolleybus nécessite des équipements spéciaux, dont certains sont spécifiques au trolleybus :

- aiguillage LAC;
- appareil de croisement;
- isolateur de section;
- guide d'emperchage;
- etc.

Aiguillage LAC Trolleybus :

Appareil utilisé pour permettre une bifurcation (lorsque 2 itinéraires sont nécessaires).



Un boîtier disposé sur le fil contact oriente la perche sur l'un des 2 fils de sorties de l'aiguillage.

Il est préconisé un système de télécommande par radio. Les véhicules Trolleybus sont équipés d'un émetteur radio. Les aiguillages sont équipés d'un récepteur radio.

La télécommande peut être gérée en automatique par le système SAEIV (utilisation par exemple du code mission ou terminus) pour envoyer le bon ordre de commande à l'aiguillage.



Figure 13 :Photo insertion aiguillage LAC Trolleybus - Lyon

La figure 6 représente également une insertion d'un aiguillage LAC Trolleybus dans une rue arborée.

Appareil de croisement LAC Trolleybus

Appareil utilisé lors de croisement de 2 LAC trolleybus.



Figure 14 :Photo appareil de croisement de 2 LAC Trolleybus - Lyon

Isolateur de section et remontée d'alimentation LAC Trolleybus



Figure 15 :Photo insertion alimentation et isolateur de section LAC Trolleybus – Lyon



Figure 16 : Photo insertion alimentation et isolateur de section LAC Trolleybus - Lyon

Guide d'emperchage LAC Trolleybus

Équipement permettant le guidage des perches du véhicule jusqu'au fil de contact.



Figure 17 : Photo guide d'emperchage LAC Trolleybus - Lyon

Il est préconisé d'installer des guides en plusieurs sur la ligne (zones de services provisoires envisagées, etc.).



Figure 18 : Photo guide d'emperchage LAC Trolleybus – zoom - Lyon

Des modèles plus récents utilisent des matériels transparents/translucides, améliorant leur intégration en zone urbaine.

Dans le cas de déviation « programmée », il est possible d'installer (rajout sur la LAC) de guide d'emperchage aux emplacements nécessaires pour la mise en place de la déviation.

Autres équipements spéciaux :

D'autres équipements spéciaux sont similaires à ceux mis en œuvre pour la LAC tramway :

- appareil tendeurs;
- Parafoudre;
- feux de présence tension traction.

4.8 GABARIT ROUTIER - POINTS SINGULIERS

Les points singuliers analysés sont :

- des passages sous ouvrages d'art;
- des passages sous ligne aérienne de transport d'énergie électrique Haute Tension / Très Haute Tension.

Cette liste est établie, car ce type de point singulier peut interagir sur la faisabilité de l'insertion ou avoir des impacts forts (techniques et/ou planning et/ou coût d'investissement).

D'autres éléments existants peuvent être en interaction avec la LAC Trolleybus. Lors des études de faisabilité, ils ne sont pas recensés individuellement, car les impacts/enjeux de dévoiement de ces éléments sont limités. Ces éléments sont notamment :

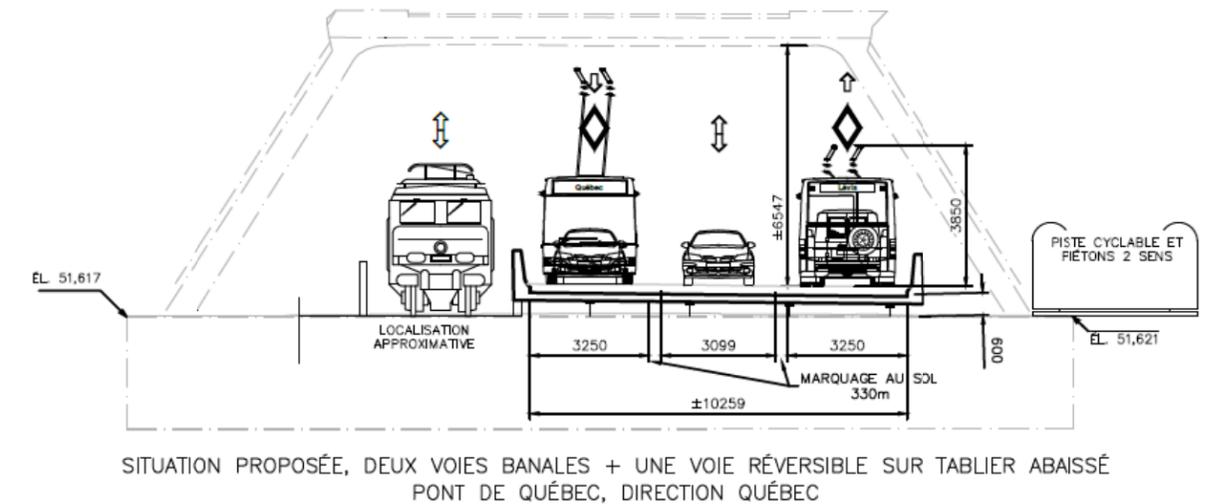
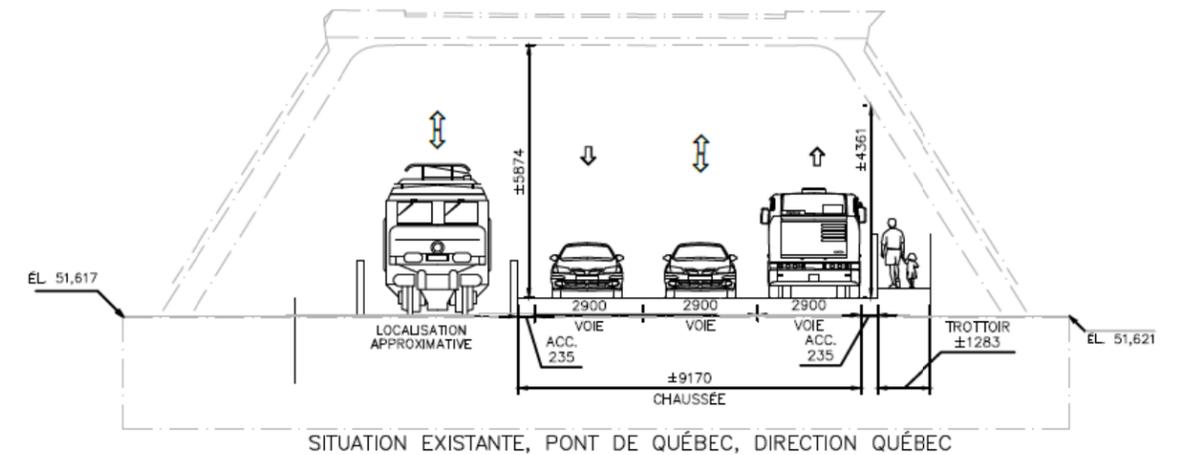
- les panneaux de supersignalisation routière;
- les potences des feux de signalisation routière;
- les réseaux aériens (BT, MT, éclairage public, Telecom, etc.);
- des passages sous ouvrages d'art.

Le lecteur est invité à lire le 3^e sous-livrable 1.3 « Ligne aérienne de contact », référence 610879-0300-4AEN-0002, qui présente l'analyse pour tout le tracé.

En synthèse, les points singuliers identifiés, nécessitant une limitation du gabarit routier, sont les suivants :

- chemin de la Canardière – passage sous les voies CN : la limitation de hauteur du gabarit des véhicules routiers chemin de la Canardière ne sera pas modifiée par rapport à l'existant.
- boulevard des Capucins – Passage sous la 2^e bretelle de l'autoroute Dufferin-Montmorency : il sera nécessaire de mettre en place une limitation de hauteur du gabarit routier pour la traversée de la plateforme SRB sur l'accès au droit de la voie de service PAPIERS WHITE BIRCH (au Sud de l'ouvrage d'Art).
- en appliquant la norme EN 50122-1, la limitation en hauteur pour le gabarit maximal autorisé pour les véhicules routiers sera de l'ordre de 5,3 – 5,4 m.
- Route 132 – Pont chemin Saint-Louis ; la hauteur libre sous ouvrage est faible (4,90 m). cet ouvrage doit être refait. Il est conseillé que le nouvel ouvrage dégage un tirant d'air sous ouvrage plus important, similaire à celui du pont de la bretelle Avenue des Hôtels (ouvrage situé sur le même axe) qui est de 6,95 m.
- Pont de Québec : la LAC Trolleybus offre plus de souplesse que la LAC tramway. Dans le scénario à 3 voies (2 voies banales et 1 voie centrale réversible), pour la voie Est, il est possible de mettre la LAC trolleybus légèrement désaxée par rapport à la voie de circulation. Ceci permettra de mettre les fils de contacts à une hauteur plus élevée que dans la configuration tramway. Il est préconisé toutefois de rester dans l'emprise de voie de circulation du trolleybus, pour éviter le risque d'accrochage des perches du trolleybus par un véhicule routier circulant sur la voie centrale du pont (la circulation sur cette pouvant se faire en sens inverse de celle du trolleybus).

Extrait du livrable 1.20, coupe d'insertion du SRB sur le pont de Québec



Comme mentionné ci-devant, en désaxant légèrement la LAC trolleybus vers le centre du pont, tout en restant dans la voie de circulation du SRB, il sera possible de positionner la LAC à une hauteur plus élevée. De ce fait, la présence de LAC trolleybus ne sera pas plus un obstacle contraignant et permettra de conserver un gabarit routier de l'ordre de 4m de hauteur.

- rue de la Pointe-aux-Lièvres – Passerelle Adrien-Pouliot : l'hypothèse est que cette passerelle sera démolie avant la venue du SIRB électrique, et qu'elle ne sera pas reconstruite).

4.9 CENTRE D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN

Dans le Centre d'Exploitation et d'Entretien, plusieurs types d'insertion LAC sont nécessaires :

- pour les zones couvertes (atelier de maintenance, remisage, etc.) la LAC peut être accrochée sous la charpente des bâtiments;
- pour les zones non couvertes, les principes sont similaires à ceux mis en œuvre sur la ligne.

Dans le cas où les véhicules trolleybus sont équipés d'un dispositif d'énergie embarquée, il est possible de ne pas mettre de ligne aérienne de contact sur une partie du site du CEE. Cela permet de s'affranchir de la mise en place de nombreux aiguillages LAC.

Suivant la source d'autonomie embarquée (solution stockage d'énergie électrique notamment), il est pertinent d'installer une LAC au-dessus des positions d'arrêt des véhicules en remisage pour le rechargement de stockage et le pré-conditionnement des véhicules.

La mise en place d'une LAC sur une voie d'essai peut également faciliter la réalisation des opérations d'entretien (essais pendant et à l'issue des interventions d'entretien).

5. TRACTION

5.1 AVERTISSEMENTS

Tous les intrants et hypothèses mentionnés dans ce document ont une influence sur le pré-dimensionnement des installations de traction du SRB électrique (trolleybus). Des évolutions de ces paramètres auront une incidence sur les résultats du pré-dimensionnement.

Les hypothèses doivent être calées avec le bon dosage :

- une hypothèse forte/contraignante entraînera une augmentation des installations de traction, d'où un accroissement du coût d'investissement;
- une hypothèse calée à un niveau trop bas, pourra avoir des impacts en exploitation.

5.2 LIMITATIONS DE VITESSE

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte pour les limitations de vitesses :

- celles dues au tracé : courbes en tracé en plan et rayons paraboliques en profil en long;
- celles aux intersections avec la circulation routière;
- celles liées à l'environnement.

Hypothèse : limitations de vitesse, et vitesse de circulation du SRB électrique (trolleybus) similaires à celles de l'étude tramway.

5.3 ROBUSTESSE

Si les véhicules trolleybus sont équipés d'une source ou d'un stockage d'énergie embarqué, il est possible d'atténuer les contraintes de robustesse sur les installations de productions traction par rapport au système tramway.

Pour le mode dégradé N-1 (1^{re} défaillance) correspondant à la perte d'une sous-station de traction, 2 choix peuvent être faits :

- N-1a : rester sans impact sur l'exploitation (similaire au tramway);



- N-1b : impact limité de type réduction de vitesse maximale de circulation sur une ou deux inter-stations.



- La zone d'impact sera plus étendue dans les zones en pente (sens de la montée).

Pour le mode dégradé N-2, correspondant à la perte de 2 sous-stations de traction, plusieurs cas de figures :

- N-2a - Les 2 sous-stations concernées sont espacées avec au minimum 4 sous-stations en service entre les 2 :
 - similaire au mode dégradé N-1b, mais la perte de temps totale sur un trajet sera un peu plus importante, car la réduction de vitesse portera sur 2 fois 1 à 2 inter-stations.



Les zones d'impact seront plus étendues dans les zones en pente (sens de la montée).

- N-2b : Les 2 sous-stations concernées sont séparées par 1 à 3 sous-stations en service :



- Les zones impactées par les limitations de vitesse augmenteront lorsque les PR arrêtés sont proches.

- N-2c - Les 2 sous-stations concernées sont consécutives :
 - Arrêt d'exploitation « trolleybus » sur le secteur concerné.
 - Mise en place de service provisoire trolleybus de part et d'autre du secteur concerné, et rajout d'autobus thermique pour faire la jonction entre les 2 services provisoires trolleybus.



Comme pour le tramway, l'architecture moyenne tension des alimentations Hydro-Québec devra être définie pour qu'une défaillance (1 incident sur le réseau Hydro-Québec) aboutisse à la configuration N-1a pour les sous-stations de traction, ou au maximum à la configuration N-2a.

5.4 PARAMETRES ELECTRIQUES DES INSTALLATIONS

Les paramètres électriques pris en compte sont les suivants :

- tension nominale traction : 750V=;
- ligne aérienne de contact.

Pour chaque voie :

- 1 fil de contact de 120 mm² pour le positif
- 1 fil de contact de 120 mm² pour le négatif.

Les fils de contacts des 2 voies sont interconnectés régulièrement (mise en parallèle des 2 voies).

Nota : ce principe reste compatible même dans les zones où les 2 voies sont espacées (exemple insertion bilatérale) ; les liaisons entre les 2 LAC seront réalisées par câbles isolés.

5.5 RECUPERATION DE L'ENERGIE DE FREINAGE

Pour le tramway, l'analyse de la récupération de l'énergie de freinage est faite dans le 5^e sous-livrable 1.3, référence 610879-0300-4AEN-0004.

L'analyse a fait ressortir que la mise en œuvre d'une solution de récupération de l'énergie de freinage par onduleur sur le projet des villes de Québec et de Lévis ne sera envisageable qu'avec un changement du cadre réglementaire et tarifaire d'Hydro-Québec. Selon le cadre réglementaire et tarifaire actuel, la réinjection dans le réseau n'est pas permise pour le type de raccordement nécessaire pour une sous-station réversible (La réinjection n'est envisageable que pour les clients résidentiels).

Pour le SRB électrique (trolleybus), les sous-stations sont similaires à celles nécessaires pour un tramway. Les recommandations du 5^e sous-livrable 1.3 sont valables pour le SRB électrique (trolleybus).

Si les véhicules SRB électrique (trolleybus) sont équipés d'un dispositif de stockage d'énergie embarqué, le commande/contrôle de ce système devra privilégier la recharge en utilisant l'énergie de freinage.

5.6 ANALYSE A DIRE D'EXPERT

Pour le pré-dimensionnement des installations traction du SRB électrique (trolleybus), l'approche est faite « à dire d'expert » sur écarts/évolutions des paramètres du système SRB par rapport au système tramway, puis extrapolation par rapports aux résultats des simulations traction effectuées pour le système tramway des villes de Québec et de Lévis.

L'approche est faite sur le schéma d'exploitation envisagé en 2041.

5.6.1 Tracé

Le tracé du SRB électrique est sur les mêmes bases que pour le tramway.

Les éléments principaux du tracé SRB électrique (trolleybus), et évolutions par rapport au tracé tramway, étaient les suivants avant l'évolution du projet mentionné en 2.3.1 du présent livrable :

- Tracé Est-Ouest :
 - Lévis : Terminus du SRB à la station 4^e Avenue;
 - Québec : Terminus D'Estimauville;
 - Tracé : identique au tramway (passage par les mêmes rues/avenues);
 - Stations : identique au tramway (desserte des mêmes stations).
- Tracé Nord-Sud :
 - Terminus Sud : Grand Théâtre;
 - Terminus Nord : 41^e Rue;
 - Tracé branche Sud : tracé SRB électrique (trolleybus) sans création de tunnel. La pente maximale du tracé SRB électrique (trolleybus) est de 12-13 %;
 - Tracé Branche Nord : identique au tramway (passage par les mêmes rues/avenues);
 - Stations : identique au tramway (desserte des mêmes stations). Sur la branche Sud, les stations sont légèrement décalées par rapport à celles envisagées pour le tramway (pas de station enterrée).

5.6.2 Intervalles d'exploitation

Le tableau suivant synthétise les intervalles d'exploitation envisagés pour l'exploitation en 2041 pour le SRB électrique (trolleybus), et pris en compte pour l'étude de l'alimentation traction.

Les 2 dernières colonnes mentionnent pour information les valeurs de l'étude tramway :

- avant dernière colonne : valeurs utilisées pour le pré-dimensionnement traction du tramway.
Note au lecteur : lorsque le lot 1 a réalisé les études traction, les résultats des études du Lot 3 sur l'achalandage et le schéma d'exploitation n'étant pas disponible, des hypothèses ont dû être posées.
- dernière colonne : valeurs issues des résultats des études du Lot 3 sur l'achalandage/exploitation tramway.

Tronçon de tracé	SRB électrique (trolleybus)	Tramway Prédim traction	Tramway Exploitation envisagée
Ouest : Lévis 4 ^e Avenue – Charest/Dorchester (~ 17,6 km)	2 min.	3 min.	3 min.
Est : Charest/Dorchester – D'Estimauville (~ 4,7 km)	4 min.	3 min.	3 min.
Nord : Charest/Dorchester – Pôle Croix-Rouge (~ 0,7 km)			
• Service 1	4 min.	----	4 min.
• Service 2	4 min.	----	4 min.
• Intervalle moyen	2 min.	3 min.	2 min.
Nord : Pôle Croix-Rouge – 41 ^e Rue (~ 4 km)	4 min.	3 min.	4 min.
Sud : Charest/Dorchester – Grand-Théâtre (~ 1,9 km)			
• Service 1	4 min.	----	4 min.
• Service 2	4 min.	----	4 min.
• Service 3	4 min.	----	----
• Intervalle moyen	1 min. 20 sec.	2 min.	2 min.

5.6.3 Temps d'arrêt en station

Hypothèse que les temps d'arrêt en station pour le SRB électrique (trolleybus) sont les mêmes que ceux pour le tramway.

5.6.4 Paramètres matériel roulant

Le tableau suivant récapitule les hypothèses prises pour les paramètres principaux du matériel roulant SRB électrique (trolleybus) et rappelle les paramètres utilisés pour le tramway.

Caractéristiques principales MR	SRB électrique (trolleybus)	Tramway	Tramway
Longueur	24 m	33 m	43 m
Masse à vide	25 tonnes	40 tonnes	55 tonnes
Masse en charge	36 tonnes	60 tonnes	80 tonnes
Puissance pour le fonctionnement du MR et le confort des voyageurs	70 kW	110 kW	140 kW
Motorisation	300- 320 kW	3 bogies motorisés	3 bogies motorisés
Courant maximal de traction	600 A	1700 A	1700 A
Tension nominale traction	750 V=	750 V=	750 V=
Tension de régulation traction (*)	600 V=	600 V=	600 V=
Tension minimale traction	500 V=	500 V=	500 V=
Rendement global de la chaîne de traction embarquée	90%	90%	90%
Accélération maximale	1,2 m/s ²	1,2 m/s ²	1,2 m/s ²
Décélération de service	1,2 m/s ²	1,2 m/s ²	1,2 m/s ²
Vitesse équi-puissance	25 km/h	30-35 km/h	30-35 km/h
Stockage d'énergie embarquée	Hypothèse ~ 2 à 4 kWh	Hypothèse pas de stockage embarqué	Hypothèse pas de stockage embarqué

(*) Seuil en-deçà duquel la baisse de performance devient significative.

5.6.5 Vitesses

Hypothèses que les limitations de vitesses de circulation du SRB électrique (trolleybus) sont les mêmes que celles pour le tramway.

5.6.6 Modes particuliers d'exploitation

Injection/retrait des véhicules en ligne : injection/retrait progressif, ne générant pas de besoin traction spécifique supérieur à l'exploitation à intervalle nominal stabilisé.

Hors exploitation, les véhicules sont remisés au CEE dans un bâtiment mis hors gel (pour réduire le temps de pré-conditionnement du compartiment voyageurs, et par conséquent, le nombre de véhicules et pré-conditionnements simultanés).

5.6.7 Extrapolation et analyse

L'extrapolation des résultats des simulations traction tramway en prenant en compte les paramètres mentionnés dans les paragraphes précédents aboutit :

- la puissance moyenne débitée par les sous-stations sera plus faible;
- le nombre global de sous-stations pour le SRB électrique (trolleybus) sera assez proche de celui de la configuration tramway. Pour la Branche Sud, une sous-station supplémentaire semble nécessaire dans la zone en forte pente/fort trafic;
- du fait des plus faibles sections de fil de contact, les chutes de tension dans la LAC, en modes dégradés seront plus importantes;
- dans les zones en pente, en mode dégradé N-1 (perte d'une sous station), les chutes de tension deviendraient très/trop importantes. Pour ne pas dégrader l'exploitation, il est préconisé de fiabiliser les sous-stations dans ces zones (principe similaire à celui déjà mentionné dans le dossier tramway).

5.7 SYNTHÈSE TRACTION

Les conclusions et recommandations pour le mode d'alimentation du SRB électrique (trolleybus) sont :

- tension traction de 750V courant continu;
- alimentation par ligne aérienne de contact sur la totalité du tracé;
- besoin en sous-stations traction assez proche de la configuration tramway, dont une partie avec fiabilisation (SST bi-groupes avec alimentation MT fiabilisée). Quelques sous-stations de plus à fiabiliser, mais avec des puissances unitaires redresseurs plus faibles;
- compte tenu des fortes pentes sur la Branche Sud, une sous-station supplémentaire de plus sur la Branche Sud;
- la puissance unitaire des groupes redresseurs peut être un peu plus faible que pour le tramway;
- les puissances appelées sur le réseau moyenne tension Hydro-Québec seront plus faibles.

L'approche « à dire d'expert » par extrapolation des résultats tramway aboutit à la liste prévisionnelle suivante des sous-stations nécessaires pour le SRB électrique (trolleybus) pour le tracé sans la partie 4^e Avenue - Desjardins :

- Tracé Est-Ouest
 - SST D'Estimauville
 - SST Bardy
 - SST Capucins
 - SST Dorchester/Charest E-O
 - SST De l'Acqueduc
 - SST Joffre/Lescarbot
 - SST Carrel (fiabilisée)
 - SST PEPS (fiabilisée)
 - SST CHU (fiabilisée)
 - SST Nord Pont de Québec (fiabilisée)
 - SST Sud Pont de Québec
 - SST Lévis 7
 - SST Lévis 6
 - SST 4^e Avenue (fiabilisée)
 - + SST CEE Site de Verdun

- Tracé Nord-Sud (2041)
 - SST 41^e Rue (fiabilisée)
 - SST 1^e Avenue
 - SST Pointe aux Lièvres
 - SST Dorchester N-S (fiabilisée)
 - SST avant Youville (fiabilisée)
 - SST après Youville vers Congrès (fiabilisée)
 - SST Grand Théâtre (fiabilisée)

- Tracé NEst-Ouest sur Lévis 4^e Avenue – Desjardins :

- L'approche est faite par extrapolation. Il est préconisé de prévoir les mêmes emplacements de sous-stations pour le SRB électrique (trolleybus) que pour le système tramway.

6. CENTRE DE COMMANDE ENERGIE

Pour assurer une très bonne disponibilité du système SRB électrique (trolleybus), il est nécessaire que les installations électriques du SRB électrique soient gérées et supervisées à partir d'un Centre de Commande Énergie électrique du SRB.

Cette gestion centralisée permet :

- de réagir très rapidement sur incident ou en fonction des conditions particulières d'exploitation (supervision temps réel);
- de faire une analyse approfondie et de l'aide à la maintenance (supervision en temps différé).

L'architecture générale préconisée pour la commande des installations électriques du SRB électrique est représentée sur la figure suivante :

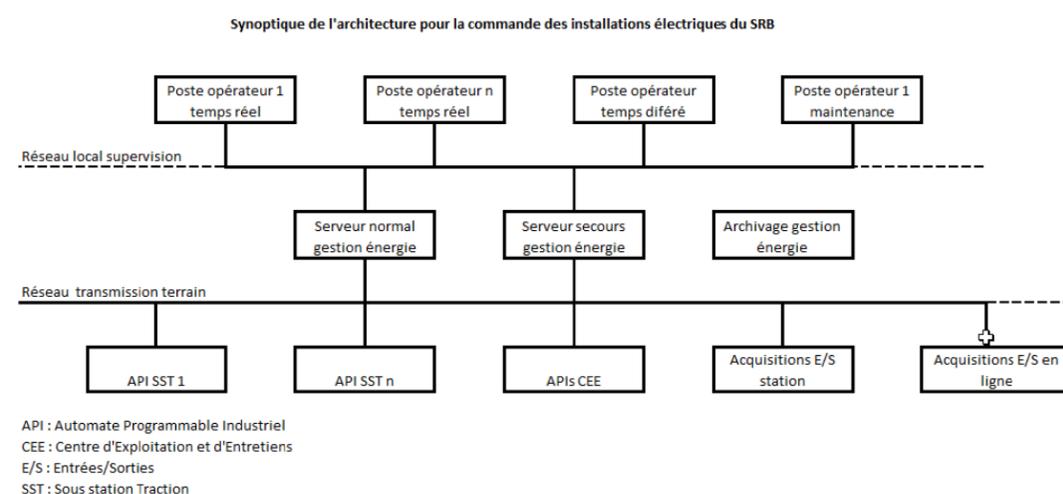


Figure 19 : Synoptique architecture Commande Centralisée installations électriques SRB

La partie centrale (serveurs et postes opérateurs) de la commande centralisée énergie électrique peut être mutualisée avec l'architecture de la Gestion Technique Centralisée du SRB.

En complément de cette architecture « informatisée », il est préconisé de mettre en œuvre un dispositif pour la mise hors tension des LAC en cas d'urgence.

Le lecteur est invité à consulter le 4^e sous-livrable 1.3 « Centre de Commande Energie » référencé 610879-0010-4AEN-0002, pour de plus amples informations sur le Centre de Commande Energie.

7. MISE A LA TERRE ET TRAITEMENT DES PERTURBATIONS HARMONIQUES

L'analyse et les principes sont décrits dans le 6^e sous-livrable 1.3 « Analyse mise à la terre et traitement des perturbations harmoniques », référence 610879-0300-4AEN-0005.

La particularité principale du système SRB électrique (trolleybus) par rapport à un système tramway porte sur le retour du courant de traction. Pour le système SRB électrique (trolleybus), le retour du courant de traction est effectué par ligne aérienne de contact (comme pour le positif traction). De ce fait, le circuit de retour est parfaitement isolé par rapport à la terre.

7.1 MISE A LA TERRE

Les règles et enjeux essentiels de la mise à la terre sont :

- d'assurer la sécurité des personnes vis-à-vis des risques électriques;
- de protéger les installations.

Pour le système SRB électrique (trolleybus), le très bon isolement du négatif traction permet de s'affranchir du conducteur de liaison équipotentielle reliant toutes les sous-stations et les stations.

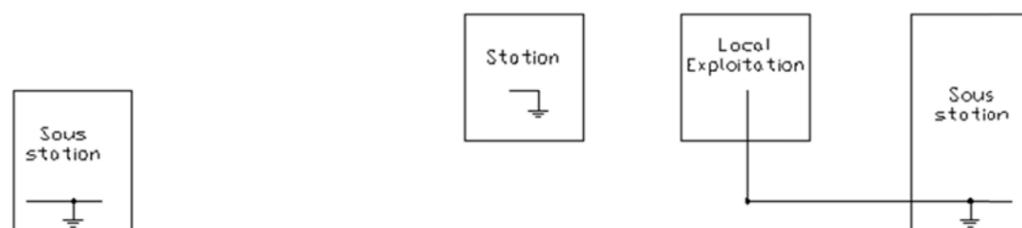


Figure 20 : Schéma général du réseau de terre – Système SRB Électrique (trolleybus)

Pour mémoire, le synoptique suivant présente la configuration pour le système tramway.

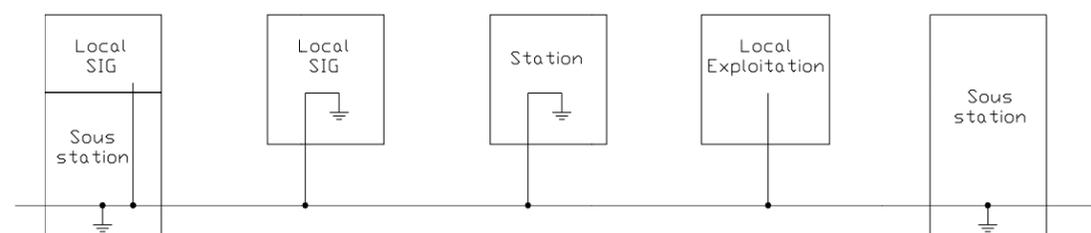


Figure 21 : Schéma général du réseau de terre – Système tramway

7.2 PERTURBATIONS HARMONIQUES

Les groupes redresseurs installés dans les sous-stations de traction convertissent la moyenne tension alternative, en courant continu de traction. Ils génèrent des courants harmoniques sur le réseau moyenne tension.

Les taux de courants harmoniques générés dépendent :

- de la technologie utilisée pour le groupe redresseur;
- de la charge du groupe redresseur.

Les sous-stations de traction pour un système SRB électrique (trolleybus) sont similaires (voire identique) à celles d'un système tramway.

La puissance unitaire des véhicules SRB électrique (trolleybus) est inférieure à celle d'un matériel roulant tramway. Le taux de charge des groupes redresseurs en trolleybus est un peu plus faible que pour le tramway.

L'analyse faite dans le 6^e sous-livrable 1.3 au chapitre 4 est valable pour un système SRB électrique (trolleybus).

Pour le SRB électrique (trolleybus) des villes de Québec et de Lévis, il est préconisé de prévoir des redresseurs dodécaphasés afin de limiter les courants harmoniques générés sur la moyenne tension.

Les études détaillées permettront de vérifier que les limites d'émissions d'harmoniques définies dans la norme Hydro-Québec C.25-01 « Exigences techniques relatives à l'émission d'harmoniques par les installations de clients raccordées au réseau de distribution d'Hydro-Québec » sont respectées.

7.3 TRAITEMENT DES COURANTS VAGABONDS

Pour le système SRB électrique (trolleybus), le retour du courant de traction aux sous-stations de traction est effectué par ligne aérienne de contact (comme pour le positif traction). De ce fait, le circuit de retour est isolé par rapport à la terre. Le phénomène des courants vagabonds généré par le trolleybus devient négligeable.

La référence 0V du négatif traction est réalisée par la mise à la terre en 1 point du réseau trolleybus.

Une autre solution permettant de réduire les fuites de courant consiste à choisir des potentiels faibles par rapport à la terre : -375V / +375V au lieu de 0V / +750V. Cette solution présente l'inconvénient d'une contrainte apportée au matériel roulant (sur le double isolement du caisson « HT » et la référence 0V) d'une part, et d'autre part de perdre la relative « protection » que représente le « 0V » vis-à-vis des tiers en cas de toucher accidentel côté trottoir (élagueur, déménageur, pompiers, etc.).

8. EXPLOITATION ET ENTRETIEN DU SYSTEME D'ALIMENTATION ELECTRIQUE TRACTION

Le maintien du niveau de sécurité et de performance du système SRB électrique (trolleybus) implique la mise en œuvre d'une organisation rigoureuse pour l'exploitation et l'entretien des installations et équipements énergie et lignes aériennes de contact.

L'organisation mise en œuvre par l'exploitant devrait permettre de couvrir à minima les niveaux 1 à 3 de maintenance. Suivant l'organisation et les moyens mis en œuvre par l'exploitant, cela peut également couvrir le niveau 4 de maintenance. Le choix de traiter en interne ou de sous-traiter doit prendre en compte le critère temps d'intervention pour les opérations de maintenance curative.

Les interventions de niveau 5 ne sont généralement pas réalisées en interne par le personnel de l'exploitant, mais sous-traitées à différents intervenants spécialisés (les fabricants des équipements, des prestataires spécialisés, etc.) qui disposent de moyens tant humains que matériels adaptés. L'exploitant peut faire le choix de réaliser ces opérations en interne, mais cela nécessite de multiples compétences techniques et par conséquent, des effectifs importants pour pouvoir couvrir toutes ces compétences.

L'exploitation des installations énergies et LAC impliquent l'intervention de différentes équipes :

- des opérateurs au Poste de Commande Centralisé (PCC) du SRB électrique pour la supervision énergie temps réels;
- des opérateurs intervenant sur la supervision énergie temps différé, pour l'analyse à froid d'incident, la formation, etc.;
- des opérateurs intervenant sur la supervision énergie d'aide à la maintenance;
- une équipe d'opérateurs d'entretien énergie;
- une équipe d'opérateurs d'entretien pour la LAC;
- l'encadrement et les moyens associés.

Sur incident sur les installations énergie/LAC, les actions urgentes sont généralement traitées à partir du PCC. Les postes de supervisions temps réel du PCC permettent de passer les commandes urgentes nécessaires :

- à la mise en sécurité des personnes (exemple : demande des pompiers de mettre hors tension la LAC pour intervenir sur un incendie de bâtiment);
- à des modifications de configuration d'alimentation : commandes d'ouverture et/ou fermeture d'actionneurs énergie (exemple : pontage d'une sous-station défaillante);
- au rétablissement de l'exploitation (exemple : mise sous tension de section électrique LAC);
- au maintien de l'exploitation (Exemple : sur alarme température des équipements de traction, intervention sur la configuration du réseau traction et/ou transmission de consignes particulières aux conducteurs sur les zones géographiques concernées).

L'entretien des équipements traction présente des particularités propres au système SRB électrique (ou à toute installation de traction électrique). Les principes et connaissances électriques/électrotechniques de base sont nécessaires, mais en complément des principes et connaissances particulières doivent être mises en œuvre pour l'entretien du matériel traction.

1^{re} particularité : les redresseurs (et sous-stations de traction) sont couplés en parallèle. L'intervention sur les équipements traction nécessite donc la mise en œuvre de procédures de protection particulières avant de pouvoir intervenir sur les équipements.

2^e particularité : les redresseurs mettent en œuvre de l'électronique de puissance.

3^e particularité : les disjoncteurs traction. Ceux-ci sont fortement sollicités (Nombre important de coupures avec des courants élevés ou avec de faibles courants). Chaque disjoncteur traction comporte une partie puissance avec: déclencheur magnétique, et en complément un relais de protections numériques. Les interventions sur les relais de protections numériques nécessitent des logiciels spécifiques.

4^e particularité : les asservissements traction entre sous-stations.

La LAC est un assemblage d'éléments mécaniques. Les efforts et tensions mécaniques dans les éléments sont importants. Les interventions d'entretien doivent donc être réalisées en respectant des procédures. Il convient d'être vigilant, car une LAC est différente dans sa conception, son installation et sa maintenance d'une ligne aérienne de distribution électrique. Néanmoins, entre les 2 types d'installations, certaines règles et procédures d'interventions sont similaires : protection contre les risques électriques avant toute intervention, câbles soumis à des efforts mécaniques importants, dilatation, etc.

L'entretien des installations et équipements de la LAC nécessite des moyens et matériels spécifiques avec notamment des véhicules d'interventions. Les véhicules utilisés peuvent être similaires à ceux utilisés pour la LAC Tramway avec camions rail/route (figure suivante) ou uniquement « mode routier » (figure d'après).



Figure 22 :Photo d'un camion « rail/route » avec nacelle de grandes dimensions



Figure 23 :Photo d'un camion « route » avec nacelle de grandes dimensions

Le lecteur est invité à consulter le 7^e sous-livrable 1.3- Exploitation et entretien énérgé et LAC.