



Étude de faisabilité technique du tramway de Québec et de Lévis

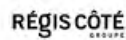


Dossier P-12-600-04

Consortium Tramway Québec-Lévis



et ses partenaires



Intitulé du document

7^E SOUS-LIVRABLE 1.3 NOTE TECHNIQUE EXPLOITATION ET ENTRETIEN ÉNERGIE ET LIGNES AÉRIENNES

Numéro du document	Révision
610879-0300-4CEN-0001	00

PRINCIPAUX COLLABORATEURS :

Pascal CHOVIN

VÉRIFIÉ PAR : Eric Desseaux

APPROUVÉ PAR : André Gendreau

NUMÉRO DU DOCUMENT :		610879-0300-4CEN-0001
REV.	DATE	TYPE DE RELÂCHE
PA	04/07/2013	Émission préliminaire pour commentaire interne
PB	17/07/2013	Émission préliminaire au RTC
00	06/08/2013	Émission finale au RTC incluant les commentaires RTC

TABLE DES MATIÈRES

OBJET	5
GLOSSAIRE ET DÉFINITIONS	6
Glossaire	6
Définitions	7
1	OBJECTIFS ET ORGANISATION DE LA MAINTENANCE
1.1	Intérêt de la maintenance
1.2	Objectifs de la maintenance
1.3	Fiabilité et maintenabilité
1.4	Les types de maintenance
1.4.1	Maintenance préventive
1.4.2	Maintenance curative
1.4.3	Maintenance complémentaire
1.4.4	Maintenance adaptative et évolutive
1.5	Les niveaux de maintenance
1.5.1	Maintenance niveau 1
1.5.2	Maintenance niveau 2
1.5.3	Maintenance niveau 3
1.5.4	Maintenance niveau 4
1.5.5	Maintenance niveau 5
2	ORGANISATION GÉNÉRALE
2.1	Schéma organisationnel
2.1.1	Choix des niveaux de maintenance traités en interne
2.1.2	Opérateurs et équipes Énergie/LAC
2.1.3	Échanges avec les autres opérateurs/équipes
2.1.4	Traitement des alarmes/défauts
3	EXPLOITATION DES INSTALLATIONS ENERGIE ET LAC
3.1	Gestion à distance
3.2	Gestion et interventions à pied d'oeuvre
3.3	Moyens matériels spécifiques
3.4	Moyens humains
3.4.1	Opérateurs « énergie » au PCC :
3.4.2	Personnel Énergie/LAC d'astreinte :
4	ENTRETIEN DES ÉQUIPEMENTS ÉNERGIE
4.1	sous-station traction
4.1.1	Équipements MT
4.1.2	Transformateurs
4.1.3	Équipements BT
4.1.4	Équipements traction
4.2	Stations
4.3	En ligne
4.4	CEE
4.5	Travaux de maintenance requis
4.6	Outillage et moyens matériels spécifiques
4.7	Moyens humains
5	ENTRETIEN DES EQUIPEMENTS DE LIGNE AÉRIENNE

5.1	Travaux de maintenance requis.....	23
5.1.1	LAC.....	23
5.2	Moyens matériels spécifiques.....	25
5.3	Moyens humains.....	27

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Photo d'un chariot disjoncteur traction débroché – Tramway de Montpellier	21
Figure 2 :	Photo d'un camion rail/route (en blanc) avec nacelle de grande dimension	26

OBJET

L'objet de cette note est de présenter les éléments principaux liés à l'exploitation et à l'entretien des installations et équipements Energie et lignes aériennes de contact du système tramway.

La valorisation financière correspondante sera traitée dans le livrable 1.6.

GLOSSAIRE ET DÉFINITIONS

GLOSSAIRE

Abréviations	Définitions
A	Ampère
BT	Basse tension
ca ou ~	Courant alternatif
cc ou =	Courant continu
CEE	Centre d'exploitation et d'entretien
GLO	Gabarit Limite d'Obstacle
HQ	Hydro-Québec
LAC	Ligne aérienne de contact
LATE	Ligne aérienne de traction électrique
	Même signification pour les 2 abréviations
MALT	Mise à la terre
MT	Moyenne tension
RTC	Réseau de transport de la Capitale
SST	Sous Station Traction
V	Volt

DÉFINITIONS

Sous-Station Traction :	Local ou bâtiment regroupant les équipements électriques d'acquisition MT, production/distribution traction, commande/contrôle, basse tension.
Section électrique :	Portion de ligne située entre 2 sous-stations de traction.
Sous-section électrique :	Sous découpage d'une section électrique de ligne.

1 OBJECTIFS ET ORGANISATION DE LA MAINTENANCE

1.1 INTÉRÊT DE LA MAINTENANCE

Les équipements et installations d'un système de transport moderne doivent pouvoir fonctionner durant de nombreuses années de manière à garantir à l'exploitant, et par voie de conséquence aux voyageurs, le service demandé avec le maximum de fiabilité, de disponibilité et de sécurité.

La maintenance est l'un des moyens d'atteindre cet objectif.

La volonté de maîtriser l'investissement, en optimisant les coûts d'immobilisation et de fonctionnement conduit à la prise en compte, dès la conception, de principes de fiabilité et de maintenabilité ainsi qu'à la mise en place d'une organisation de maintenance moderne et efficace, permettant d'atteindre et de maintenir les objectifs fixés en matière de disponibilité, performances, sécurité et confort des voyageurs.

1.2 OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE

L'objectif prioritaire de la maintenance est de mettre à tout moment à la disposition du « service exploitation » une installation énergie/lignes aériennes de contact permettant l'exploitation voyageurs avec le niveau de service défini.

La réalisation de cet objectif passe par une bonne fiabilité et maintenabilité des équipements et par la mise en place d'une organisation de maintenance performante.

1.3 FIABILITÉ ET MAINTENABILITÉ

Les objectifs de fiabilité sont caractérisés par le taux de défaillance.

Par expérience, compte tenu du nombre important d'équipements énergie mis en œuvre, il convient de prévoir dès la conception, la couverture de certains modes dégradés pour ne pas perturber l'exploitation du système tramway.

Exemples pour l'énergie, avec la prise en compte dès la conception pour le dimensionnement des installations énergie tramway :

- de la perte d'une arrivée MT;
- de la perte de groupe redresseur traction.

D'autre part, l'architecture des installations, la disposition, l'accessibilité, l'interchangeabilité des équipements, la conception générale des circuits, les voyants et tests, etc. sont conçus pour faciliter au mieux les opérations de maintenance.

1.4 LES TYPES DE MAINTENANCE

Le terme maintenance regroupe plusieurs types d'intervention :

- la maintenance préventive;
- la maintenance curative;
- la maintenance complémentaire,
- la maintenance adaptative et évolutive.

1.4.1 Maintenance préventive

Au cours d'interventions dont l'espacement est programmé, les organes qui composent l'installation sont soumis à des vérifications et à des réparations avant même que l'encrassement, le vieillissement, la fatigue ou l'usure n'aient compromis leur fonctionnement ou dégradé l'aptitude au service pour lequel ils ont été conçus.

On distingue deux types d'opération de maintenance préventive :

- la maintenance préventive systématique consistant à effectuer, suivant un calendrier préétabli, des opérations de révisions telles que :
 - nettoyage d'équipements;
 - vérification et évaluation;
 - contrôle de bon fonctionnement pour déceler les pannes cachées;
 - réglage permettant d'optimiser le fonctionnement des équipements;
 - vérifications de sécurité et mise en application de prescriptions réglementaires liées à la sécurité.
- la maintenance préventive conditionnelle :
 - les opérations de maintenance préventive conditionnelle sont subordonnés à des événements prédéterminés tels que :
 - atteinte d'un seuil d'usure ou nombre de manœuvre;
 - atteinte d'un nombre d'heure de fonctionnement;
 - cette maintenance est appliquée pour les équipements ayant des paramètres mesurables qui varient lentement.

1.4.2 Maintenance curative

Elle consiste à réparer ou changer des équipements défectueux. Ces réparations et changements ne sont rendus nécessaires que par des défaillances constatées :

- durant l'exploitation;
- au cours des visites d'entretien préventif.

La maintenance curative se traduit par deux types d'interventions :

- le dépannage :
 - intervention à caractère rapide et provisoire, néanmoins effectuée en respectant les procédures d'intervention;
 - le dépannage est effectué rapidement, dans le but de rétablir l'exploitation de la ligne le plus rapidement possible. Suivant la nature du dépannage effectué, la reprise d'exploitation peut être conditionnée à la mise en œuvre de mesures conservatoires. Exemple : présence d'un ou plusieurs agents à pied d'œuvre pour faire des commandes/manœuvres en local lorsque les télécommandes à distance ne sont plus opérationnelles ou que des fonctions ont été by-passées.
- la réparation :
 - il s'agit d'une intervention à caractère définitif effectuée par les agents d'entretien;
 - après une réparation, l'équipement et l'installation doivent retrouver l'ensemble de leurs fonctionnalités et caractéristiques d'origine.

1.4.3 Maintenance complémentaire

La maintenance préventive et la maintenance curative doivent être complétées par :

- des opérations qui contribuent à la bonne image de marque du transport collectif (aspects), telles que le nettoyage d'éventuels graffittis sur les murs et parois des locaux sous-stations, les coffrets installés en ligne, les poteaux de ligne aérienne de contact.

1.4.4 Maintenance adaptative et évolutive

La maintenance adaptative d'un logiciel ou programme (programme automate par exemple) consiste à adapter l'application afin que celle-ci continue de fonctionner sur des versions plus récentes des logiciels de base, voire à faire migrer l'application sur de nouveaux logiciels de base.

La maintenance évolutive consiste à faire évoluer l'installation (exemples : rajout d'une fonction, rajout d'une station, modification d'une sous-station).

Ces deux types de maintenance nécessitent des connaissances et compétences spécifiques (maintenance de niveau 5).

1.5 LES NIVEAUX DE MAINTENANCE

Les interventions de maintenance sont découpées en 5 niveaux.

Nota : suivant la base normative utilisée, les niveaux de maintenance sont numérotés de 1 à 5 (France) ou de 0 à 4 (Anglo-saxon). La définition des niveaux de maintenance sont proches.

Pour la suite du document, la numérotation de 1 à 5 est utilisée.

1.5.1 Maintenance niveau 1

La maintenance de niveau 1 concerne les opérations nécessaires à l'exploitation. Elle est réalisable sur instructions planifiées et simples et faite sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés.

Elle consiste à réaliser par des agents de l'exploitant :

- à pied d'œuvre, les commandes fonctionnelles des équipements permettant de rendre opérationnel un équipement (commandes manuelles, verrouillages, consignations, essais de télécommande, vérification des batteries, etc.);
- le nettoyage courant à l'aide d'aspirateur industriel, brosse, chiffon sec, etc. sans ouverture d'équipement ou démontage de module.

1.5.2 Maintenance niveau 2

La maintenance de niveau 2 concerne les opérations qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien intégrés ou non, de mise en oeuvre et d'utilisation simple.

Elle consiste :

- en l'échange standard d'un équipement ou d'un module fonctionnel ne nécessitant pas de réglages particuliers;
- à la vérification de capteurs fin de course;

- à la vérification des verrouillages des équipements;
- à la vérification que les éléments principaux des équipements et cellules ne sont pas desserrés;
- au contrôle des automatismes locaux en traction;
- aux essais d'autonomie des sources autonomes et contrôles des batteries associées;
- pour les logiciels, le 2^e niveau de maintenance consiste à réaliser des sauvegardes et des remises en service.

1.5.3 Maintenance niveau 3

La maintenance de niveau 3 concerne les opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien intégrés ou non, de mise en œuvre et d'utilisation complexe.

Elle consiste au remplacement d'équipement, de module ou pièce, nécessitant un réglage ou l'utilisation d'outils spéciaux.

Elle comprend également l'identification et le diagnostic de pannes à partir d'informations disponibles à pied d'œuvre.

La maintenance de niveau 3 comprend également les essais d'automatismes et le diagnostic de panne à partir d'informations disponibles à pied d'œuvre; par exemple les échanges d'Unité Centrale d'Automate, de cartes, de motorisation, de relais.

Pour les logiciels, le troisième niveau de maintenance consiste à réaliser des interprétations de messages d'erreur.

1.5.4 Maintenance niveau 4

La maintenance de niveau 4 comprend notamment l'échange de sous-ensembles ou composants à l'intérieur d'un équipement et le réglage ou le calibrage des appareils de mesure, le changement de câbles ...

Ce niveau de maintenance implique la maîtrise d'une technique ou d'une technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'outils spécialisés; par exemple les réparations en atelier de sous-ensembles.

Pour les logiciels, le quatrième niveau de maintenance consiste à administrer les sous-systèmes ainsi qu'à gérer l'ensemble du paramétrage.

1.5.5 Maintenance niveau 5

La maintenance de niveau 5 comprend notamment toutes les activités de réparation de modules, sous-ensembles, changement de composants, modification de logiciel, re-fabrication à l'identique.

Ce niveau de maintenance requiert un savoir faire faisant appel à des techniques ou des technologies particulières.

Ce niveau concerne également les évolutions ou modifications de conception suite à des constats de défaillance de composants.

Pour les logiciels, le cinquième niveau de maintenance consiste à effectuer des modifications sur les applications, quel que soit leur type : préventif, correctif, évolutif, adaptatif.

2 ORGANISATION GÉNÉRALE

L'exploitation et l'entretien des installations et équipements énergie et ligne aérienne de contact du système tramway impliquent la mise en œuvre d'une organisation afin d'assurer une très bonne disponibilité du système tramway.

En effet, l'énergie et les lignes aériennes de contact sont des équipements vitaux pour le bon fonctionnement du système tramway.

2.1 SCHÉMA ORGANISATIONNEL

2.1.1 Choix des niveaux de maintenance traités en interne

Le maintien du niveau de sécurité et de performance du système tramway 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.

Par rapport aux niveaux de maintenance présentés au §1.5, l'organisation mise en œuvre par l'exploitant devrait permettre de couvrir à minima les niveaux 1 à 3.

Suivant l'organisation et les moyens mis en œuvre par l'exploitant, cela peut également couvrir le niveau 4 de maintenance.

L'exploitant peut également envisager de sous-traiter tout ou partie de ces niveaux de maintenance.

Exemple : pour les cellules Moyenne Tension en sous-station sous la responsabilité de l'exploitant, la maintenance peut être réalisée par du personnel de l'exploitant, ou sous-traitée (sous-traitance à Hydro-Québec qui gère un parc beaucoup plus important de cellules similaires, sous-traitance au fabricant des cellules, sous-traitance à un installateur, etc.).

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.

2.1.2 Opérateurs et équipes Énergie/LAC

L'exploitation des installations énergie et lignes aériennes de contact du système tramway impliquent l'intervention de différentes équipes :

- des opérateurs intervenant au Poste de Commande Centralisé (PCC) du tramway pour la supervision énergie temps réel;
- des opérateurs intervenant sur la supervision énergie temps différée, 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 ligne aérienne de contact;
- l'encadrement associé.

Nota 1 : Une personne intervenant sur l'exploitation « énergie » peut assurer d'autres fonctions hors énergie. Exemple, un opérateur au PCC peut effectuer d'autres tâches que la supervision énergie temps réel.

Nota 2 : Une même personne peut intervenir dans plusieurs équipes en fonction de ses compétences et des formations, niveaux d'habilitations suivies.

2.1.3 Échanges avec les autres opérateurs/équipes

Les opérateurs et équipes énergie/LAC sont en relations avec d'autres équipes du personnel de l'exploitant, notamment :

- les régulateurs intervenant au Poste de Commande Centralisé (PCC) du tramway;
- les agents de maîtrise, pouvant intervenir en relais terrain dans les situations spécifiques (modes dégradés notamment);
- Les équipes de déneigement;
- Les équipes de maintenance du matériel roulant intervenant à l'atelier tramway du Centre d'Exploitation et d'Entretien, mais pouvant également être amenées à intervenir en ligne pour débloquer une rame.

Les alarmes/défauts des installations énergie et LAC remontent au PCC :

- sur les postes opérateurs, via le système de supervision PCE/GTC;
- aux régulateurs du PCC via le système de phonie ; signalements par les conducteurs de rames de tramway (Exemple une suspension de LAC détendue ou cassée);
- aux régulateurs du PCC via le système de phonie et/ou téléphonie; signalements par les agents de maîtrise ou autre personnel de l'exploitant.

Les signalements peuvent également provenir de tiers, témoins d'un incident; via les interphones en station, la téléphonie, etc.

Généralement, le point de centralisation de toutes ces remontées d'information est le PCC tramway.

Les actions en interactions sur l'exploitation sont déclenchées à partir du PCC.

2.1.4 Traitement des alarmes/défauts

Sur incident sur les installations énergie/LAC, les actions urgentes sont généralement traitées à partir du PCC.

Les postes de supervision 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 : pour la mise en place d'un service provisoire.
- au rétablissement de l'exploitation :
 - Exemple : mise sous tension de section électrique de LAC.

- au maintien de l'exploitation :
 - exemple : sur alarme température des équipements traction, intervention sur la configuration du réseau traction et/ou transmission de consignes particulières aux conducteurs sur les zones géographiques concernées.

Lorsque les opérateurs au PCC peuvent également :

- signaler à l'équipe d'astreinte le dysfonctionnement constaté;
- déclencher une intervention sur site d'une équipe d'entretien;
- Etc.

3 EXPLOITATION DES INSTALLATIONS ENERGIE ET LAC

L'exploitation des installations Énergie et lignes aériennes intègre :

- la gestion à distance depuis le Centre de Commande Énergie;
- la gestion et les interventions à pied d'œuvre sur les installations.

3.1 GESTION À DISTANCE

Le lecteur est invité à consulter le 4^e sous-livrable 1.3 « Centre de commande énergie » décrivant la gestion à distance des installations.

Les opérateurs intervenant sur les postes du Centre de commande énergie doivent avoir une habilitation. Cette habilitation doit être délivrée conformément à la réglementation locale en vigueur.

Ils doivent avoir une parfaite connaissance du réseau tramway. Sur la partie traction, ils doivent connaître toutes les limites des sections électriques.

3.2 GESTION ET INTERVENTIONS À PIED D'OEUVRE

La gestion à pied d'œuvre est utilisée :

- en cas de défaillance du sous-système de gestion à distance;
- pour réaliser des actions spécifiques;
- pour réaliser des visites des installations (par exemple tournées à pieds de reconnaissance de la LAC).

3.3 MOYENS MATÉRIELS SPÉCIFIQUES

Le lecteur est invité à consulter le 4^e sous-livrable 1.3 « Centre de commande énergie » décrivant la gestion à distance des installations.

Pour les interventions à pied d'œuvre, les moyens matériels spécifiques sont généralement fournis dans le cadre des contrats de travaux de construction des installations énergie et lignes aériennes.

Cela concerne notamment :

- les accessoires nécessaires pour les manœuvres des équipements (leviers, tabouret/tapis isolant, gants isolants, lunettes, etc.). Pour faciliter les interventions, un jeu de ces accessoires est installé dans chaque local sous-station traction;
- les accessoires nécessaires aux consignations (vérificateur d'absence tension, tresses et perches de mise à la terre et en court-circuit, etc.). Pour faciliter les interventions, un jeu de ces accessoires est installé dans chaque local sous-station traction;
- les véhicules spécialisés nécessaires aux interventions (par exemple véhicule Rail Route avec plateforme pour travailler en hauteur proche de la LAC).

En fonction de l'organisation de l'exploitant, il peut être judicieux d'approvisionner des jeux d'accessoires de manœuvre et de consignations supplémentaires pour équiper tous les véhicules d'interventions énergie/LAC.

3.4 MOYENS HUMAINS

Pour l'exploitation des installations Énergie/LAC, les moyens humains nécessaires sont principalement localisés :

- au sein du centre de commande énergie;
- au centre d'entretien.

Ces moyens humains sont principalement :

- les opérateurs aux PCC, effectuant la supervision temps réel des installations;
- les personnes Énergie/LAC d'astreintes, qui doivent pouvoir être mobilisées rapidement sur incident, afin de limiter les perturbations sur l'exploitation.

3.4.1 Opérateurs « énergie » au PCC :

Les opérateurs aux PCC intervenant sur la supervision temps réel énergie doivent maîtriser :

- les risques et enjeux électriques (Connaissances générales);
- les risques et enjeux électriques du tramway (Connaissance du schéma de distribution traction, les risques liés à la LAC, etc.);
- avoir une parfaite connaissance de la ligne de tramway (Localisation des sous-stations, des sectionnements sur la LAC, etc.);
- connaître les installations énergie (Équipements dans les sous-stations, BT stations, etc.);
- avoir une habilitation électrique décernée par un organisme habilité.

Les connaissances nécessaires peuvent être acquises :

- par des formations théoriques et connaissances initiales;
- par des formations complémentaires sur le site du tramway;
- en participant aux essais lors de la construction de la ligne de tramway.

L'organisation est généralement basée avec des « super-opérateurs », qui ont suivi les différentes phases mentionnées ci-dessus, et de ce fait ont acquis une parfaite connaissance du système. Ces super-opérateurs assurent ensuite la formation des différents opérateurs qui devront intervenir au PCC.

3.4.2 Personnel Énergie/LAC d'astreinte :

Le personnel Énergie/LAC d'astreinte doit être en mesure d'intervenir très rapidement sur site, pour remédier à une alerte, un dysfonctionnement ou un incident avec impact sur l'exploitation.

Ces opérateurs doivent parfaitement maîtriser les installations Énergie/LAC (d'un point de vue fonctionnel et technique), ainsi que le dépannage rapide pour limiter les impacts sur l'exploitation.

Pour la LAC, le personnel doit également être en possession des permis et habilitations pour la conduite des véhicules d'intervention spécifiques : camions rail/route, nacelles, etc.

Ils doivent avoir une habilitation électrique en adéquation avec les tâches confiées décernée par un organisme habilité.

Les connaissances nécessaires peuvent être acquises :

- par des formations théoriques et connaissances initiales;
- par les sessions de formations qui seront dispensées par les entreprises ayant réalisé les installations du tramway;
- en participant aux essais lors de la construction de la ligne de tramway;
- en suivant les travaux de construction, voire en y participant (personnel détaché).

Les effectifs sont définis au dernier chapitre de ce document.

4 ENTRETIEN DES ÉQUIPEMENTS ÉNERGIE

Les installations et équipements énergie regroupent plusieurs catégories d'installation, avec principalement :

- des équipements moyenne tension alternative;
- des équipements traction 750V courant continu;
- des équipements basse tension alternative;
- des équipements de commande contrôle.

Les installations et équipements sont installées dans différents sites. Les principaux sont :

- les sous-stations de traction;
- les stations (arrêts voyageurs);
- le long de la ligne de tramway;
- le Centre d'Exploitation et d'Entretien.

4.1 SOUS-STATION TRACTION

Les sous-stations traction sont composées des installations et équipements principaux suivants :

- cellules et équipements MT;
- transformateurs traction et auxiliaires;
- équipements BT (tableau BT, sources BT secourues);
- cellules d'équipements traction;
- armoire de commande contrôle.

4.1.1 Équipements MT

L'entretien à réaliser sur les équipements Moyenne Tension installés dans les sous-stations est générique; entretien identique à ce qui est pratiqué sur un tableau MT.

Pour ces équipements, la particularité du système tramway porte uniquement sur les contraintes horaires d'interventions liées à l'exploitation du système tramway.

4.1.2 Transformateurs

L'entretien à réaliser sur les transformateurs de traction est similaire à l'entretien habituel d'un transformateur auxiliaire MT/BT et selon les recommandations particulières des fournisseurs et installateurs.

4.1.3 Équipements BT

L'entretien à réaliser sur les équipements Basse Tension installés dans les sous-stations est générique ; entretien identique à ce qui est pratiqué sur ce type d'installation.

Pour ces équipements, la particularité du système tramway porte uniquement sur les contraintes horaires d'interventions liées à l'exploitation du système tramway.

4.1.4 Équipements traction

L'entretien des équipements traction présente des particularités propres au système tramway (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 particulière 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 coupure avec des courants élevés ou avec de faible courant). 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 entre sous-stations.

4.2 STATIONS

Les équipements énergie installés en station sont principalement de la distribution BT, donc rien de spécifique hormis la connaissance de ses systèmes.

4.3 EN LIGNE

En ligne, les équipements sont similaires :

- à ceux en station;
- à ceux de traction en sous-stations.

4.4 CEE

Le Centre d'Exploitation et d'Entretien est un condensé sur un site réduit de toutes les installations que l'on retrouve tout au long de la ligne de tramway (sous-station, traction ligne, MT, BT, etc.).

4.5 TRAVAUX DE MAINTENANCE REQUIS

Les travaux de maintenance des installations et équipements énergie regroupent :

- la maintenance préventive;
- la maintenance curative;
- la maintenance complémentaire.

Planification sommaire de la maintenance préventive standard niveau 1 et 2 pour les installations énergie :

- nettoyage/petit entretien des installations de ventilation forcée local sous-station, filtres à poussières, etc. : trimestre,
- nettoyage/petit entretien des sources autonomes avec batteries : semestre;
- nettoyage/petit entretien des équipements traction : semestre;
- nettoyage/petit entretien cellules MT : annuel;
- nettoyage/petit entretien transformateurs : annuel.

Planification sommaire de la maintenance préventive standard niveau 3 pour les installations énergie :

- intervalle de 2 à 3 ans.

Pour la maintenance complémentaire, la périodicité est liée aux dégradations constatées sur les installations. Pour les équipements installés en armoires extérieures, il est néanmoins conseillé de prévoir à minima un nettoyage complet à la fin de chaque hiver pour éliminer les résidus de produits utilisés pour le déneigement.

Pour la maintenance curative, le dépannage est à réaliser très rapidement pour rétablir l'exploitation. La réparation est ensuite réalisée en limitant les impacts sur l'exploitation (en heures creuses d'exploitation, ou en dehors des horaires d'exploitation).

4.6 OUTILLAGE ET MOYENS MATÉRIELS SPÉCIFIQUES

La maintenance des installations énergie implique quelques moyens matériels spécifiques :

- panoplies des accessoires pour intervention en sécurité (vérificateurs d'absence tension, perches de consignations LAC, etc.),
- véhicule(s) pour le transport des pièces de rechange + engins de manutention ; certaines pièces pèsent quelques centaines de kilogrammes (chariot disjoncteur traction, etc.).



Figure 1 : Photo d'un chariot disjoncteur traction débroché – Tramway de Montpellier

- pour la manutention d'un transformateur traction (3 à 5 tonnes), il convient généralement de faire appel à un prestataire spécialisé disposant des engins et moyens de manutention adaptés;
- PC + logiciels pour les rechargements de programme automate, les paramétrages des protections numériques, la sauvegardes des historiques automates, etc.

Nota : les moyens standards pour la maintenance d'installation électrique ne sont pas mentionnés.

Les installations électriques étant réparties tous le long de la ligne de tramway, les agents d'intervention énergie doivent donc disposer de véhicules routiers pour se rendre aux différents équipements.

4.7 MOYENS HUMAINS

Les procédures d'interventions pour la maintenance doivent garantir que le niveau de sécurité après intervention reste au moins aussi bon qu'avant l'intervention.

Seul le personnel habilité doit avoir accès aux armoires et équipements électriques.

Le personnel d'entretien doit donc avoir un niveau de formation et de qualification suffisant et adapté par rapport aux interventions à réaliser.

Cela passe par :

- des formations initiales de base (électricien, électrotechnicien, automaticien, etc.);
- complétées par des formations spécifiques sur les équipements à maintenir et les dangers électriques inhérents.

Ces formations spécifiques complémentaires sont généralement prodiguées par le personnel de l'entreprise titulaire du contrat de travaux de construction du sous-système énergie, avant le transfert des installations à l'exploitant.

Le niveau de formation et de qualification va dépendre des niveaux de maintenance effectués en interne par le personnel de l'exploitant.

Il est conseillé qu'une partie des équipes d'entretien soit présente lors des essais du sous-système énergie. Ces personnes doivent donc être présentes plusieurs mois avant la mise en exploitation du tramway.

Ressources :

- la maintenance préventive, par définition peut être planifiée à l'avance, ce qui facilite la gestion des ressources humaines;
- par opposition, la maintenance curative (dépannage), implique la mobilisation rapide et non programmée de personnel. Cela passe donc par la mise en place d'équipe d'astreinte 24h/24 365j/an;
- les besoins en effectifs qui en découlent peuvent donc être importants.

5 ENTRETIEN DES EQUIPEMENTS DE LIGNE AÉRIENNE

La ligne aérienne de contact du tramway 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 ligne aérienne de contact est différente dans sa conception, son installation et sa maintenance qu'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'aspect « électrique » des LAC, est en général couvert par une personne de l'équipe d'entretien disposant d'une double compétence LAC/Energie.

5.1 TRAVAUX DE MAINTENANCE REQUIS

5.1.1 LAC

Les travaux d'entretien des installations LAC sont également (comme l'énergie) de plusieurs types :

- maintenance préventive;
- maintenance curative;
- maintenance complémentaire.

Les contraintes climatiques locales impliqueront probablement la mise en œuvre d'un cycle de maintenance préventive spécifique avec des intervalles réduits entre les contrôles, par rapport à d'autres villes soumises à un climat moins rigoureux.

Cela porte notamment sur :

- le nettoyage des poteaux pour éliminer les résidus de produit de déneigement;
- le contrôle après un phénomène de givre et/ou pluie verglaçante;
- le contrôle après une forte variation de température sur une courte période (variation à la hausse ou à la baisse);
- etc.

Trois 3 types de LAC sont envisagés sur le projet de tramway :

- caténaire légère sur la branche ouest et sur Lévis;
- profil aérien de contact en tunnel sur la branche sud;
- ligne de contact simple sur le reste du réseau.

Les connaissances nécessaires pour la maintenance de ces différents types de LAC reposent sur un socle commun important (~80 %). Ce socle commun est à compléter par quelques particularités propre à chaque type de LAC.

Maintenance préventive :

- contrôle du réglage et des côtes X et Y des appareils tendeurs et contre-poids (X = distance entre les poulies et Y = hauteur des contrepoids);
- vérification de l'aspect général de la LAC (visites de ligne à pied, visites de ligne en nacelle en hauteur);
- contrôle et nettoyage des éléments isolants (isolateurs, isolateurs de section);
- contrôle et serrage éventuel des composants;
- contrôle des points particuliers d'ancrage de la Lac (par exemple les ancrages en façade de bâtis (présence de fissurations));
- contrôle de la hauteur du fil de contact et de son désaxement;
- contrôle de l'usure du fil de contact;
- contrôle et présence des mises à la terre en pieds de poteaux, etc.

Périodicité :

Activités mensuelles :

- contrôle de l'état d'intégrité des installations.

Activités bimensuelles :

- vérification à vue du passage des pantographes aux points singuliers de la ligne pour relever de possibles anomalies.

Activités annuelles :

- contrôle de l'usure du fil de contact;
- contrôle de la hauteur du fil de contact;
- contrôle du fil sur les zones d'aiguillages et d'intersections;
- vérifications générales des isolateurs, isolateurs de section, supports et consoles, sectionneur commutateurs, circuits de retour, liaisons équipotentielles;
- vérification des manœuvres;
- contrôle de l'état d'intégrité des feux de présence tension de la ligne de contact;
- contrôle du désaxement des supports et des consoles;
- contrôle de l'intégrité des isolateurs;
- vérifications de l'intégrité des systèmes de mise à la terre;
- présence et contrôle des connexions et liaisons d'alimentation.

Activités bisannuelles :

- contrôles de l'intégrité des isolateurs.

Activités quinquenales :

- révision générale de la ligne de contact (ligne et dépôt).

Maintenance curative :

- après chaque orage, vérification de l'état des parafoudres (aspect du déconnecteur, etc.),
- après chaque incident.

Maintenance complémentaire :

- nettoyage des graffittis sur les poteaux;
- nettoyage des pieds de poteaux des résidus de produits de déneigement;
- déclenchement des opérations spécifiques d'élagage.

5.2 MOYENS MATÉRIELS SPÉCIFIQUES

L'entretien des installations et équipements de la ligne aérienne de contact du tramway nécessite des moyens et matériels spécifiques avec notamment :

- des véhicules d'interventions;
- de l'outillage.

Les véhicules d'intervention pour l'entretien de la LAC doivent être adaptés pour accéder en tout point de la ligne de tramway. Cela implique l'utilisation de véhicules spécifiques de type rail/route pouvant :

- soit circuler en mode routier pour accéder à la ligne de tramway et circuler sur la plateforme tramway lorsque le revêtement de plateforme le permet;
- soit circuler en mode fer sur les rails du tramway.

De plus, ces engins doivent avoir un gabarit inférieur à celui des rames de tramway (largeur, hauteur), pour pouvoir circuler sur les rails de tramway, y compris dans le tunnel sur la branche Sud.

Le nombre minimal de véhicule va dépendre du choix effectué par l'exploitant en terme d'entretien entre réaliser en interne toute la maintenance, ou avoir une équipe plus réduite et faire appel en renfort à des entités externes pour les opérations de maintenance préventive, ainsi que les interventions de maintenance curative lourde (exemple : rétablissement de la LAC suite à un arrachage de la LAC par un véhicule hors gabarit).

Pour l'appel de renfort à des entités externes, cela pourrait être par exemple, le train léger d'Ottawa (projet en cours).

Il est conseillé que le personnel de maintenance de l'exploitant dispose à minima de 2 véhicules rails/route :

- 1 véhicule équipé avec un bras de levage et d'une nacelle;
- 1 véhicule équipé d'une nacelle de grandes dimensions.



Figure 2 : Photo d'un camion rail/route (en blanc) avec nacelle de grande dimension

Ce type de véhicule permet en pivotant la nacelle de faire la maintenance de la LAC des 2 voies.

Sur la photo précédente est également visible un véhicule utilisé pour les travaux et la maintenance caténares.

Ces véhicules peuvent être mutualisés avec les autres véhicules d'entretien de l'exploitation. Exemples : le véhicule avec le bras de levage peut servir à la manutention d'équipement autre que la LAC, et à l'inverse, un véhicule de maintenance voie ferrée avec un bras de levage de forte capacité peut servir pour l'entretien de la LAC.

Ces véhicules peuvent également être équipés de lame et/ou brosses de déneigement.

En complément, un camion nacelle circulant en mode routier (véhicule de même type que ceux utilisés pour l'entretien de l'éclairage public) peut faciliter les opérations de maintenance LAC (accès aux poteaux LAC éloignés des rails, etc.).

Les campagnes de maintenance préventive peuvent nécessiter l'utilisation de nacelles supplémentaires. Des nacelles automotrices, amenées sur site par camion, circulent ensuite sur la plateforme tramway. Ce type de nacelle peut être loué assez facilement pour les opérations planifiées à l'avance.

Les grosses opérations de maintenance impliquent l'utilisation d'autres type de véhicules, avec notamment :

- camion grue pour le remplacement de poteau LAC;
- camion plateau pour le transport des poteaux LAC;
- dérouleuse pour le remplacement du fil de contact.

Pour ces opérations qui sont ponctuelles, l'exploitant peut faire appel à des prestataires externes.

Les matériels à vocation « électrique » sont de mêmes types que ceux déjà décrits dans le paragraphe énergie (vérificateur d'absence tension, perches de consignations, etc.).

Les matériels et outillages spécifiques sont ceux nécessaires pour les interventions sur des câbles soumis à de forte tension mécanique : sangles d'ancrages, palan à chaîne, appareils de tirage, pinces de fixation sur les câbles, etc.

L'outillage spécifique devra inclure également :

- les appareils de mesure de la tension mécanique de câbles;
- les thermomètres pour prise de la température du fil de contact;
- les règles de mesures spécifiques pour vérification de la hauteur de fil de contact;
- les appareils de réglages des isolateurs de section;
- etc.

5.3 MOYENS HUMAINS

Les procédures d'interventions pour la maintenance doivent garantir que le niveau de sécurité après intervention reste au moins aussi bon qu'avant intervention.

Seul le personnel habilité doit intervenir sur les installations des lignes aériennes de contact.

Le personnel d'entretien doit donc avoir un niveau de formation et de qualification suffisant et adapté par rapport aux interventions à réaliser.

Cela passe par des formations initiales de base :

- formation de base à la mécanique;
- formation à maintenance industrielle;
- formation aux risques électriques;
- permis poids lourds;
- habilitation pour les engins de levage, nacelles.

Le niveau de formation et de qualification va dépendre des niveaux de maintenance effectués en interne par le personnel de l'exploitant.

En compléments des formations initiales de base, des formations complémentaires spécifiques à la ligne aérienne de contact sont nécessaires pour l'entretien de la LAC. Ces connaissances spécifiques peuvent être acquises suivant plusieurs processus, et notamment :

- cursus professionnel des personnes;
- formation auprès d'autres exploitants;
- détachement de personnel pour assister aux travaux d'installation initiale de la LAC;
- recrutement de personnes (monteurs) ayant fait le chantier d'installation;
- etc.

Des formations spécifiques complémentaires sont généralement prodiguées par le personnel de l'entreprise titulaire du contrat de travaux de construction du sous-système LAC, avant le transfert des installations à l'exploitant.

Si aucune personne dans l'équipe d'entretien n'a d'expérience précédente dans la maintenance de la LAC, il est conseillé qu'une partie des équipes d'entretien soit présente lors des travaux d'installation de LAC. Ces personnes doivent donc être présentes plusieurs mois avant la mise en exploitation du tramway.

Une mixité des profils est également pertinente et permet de décliner les connaissances en interne.

Il devra être mis en place un système de registre ou de fiches de contrôle où seront enregistrées quotidiennement :

- toutes les notes relatives aux opérations de maintenance exécutées;
- toutes les interventions les plus significatives et mesures effectuées.