
**Étude de pré faisabilité d'alimentation
électrique par caténaire pour le projet
du train de l'Est**

Présenté par :

CANARAIL
1140, boul. de Maisonneuve Ouest
Bureau 1050
Montréal (Québec)
H3A 1M8

Téléphone : (514) 985-0930
Télécopieur : (514) 985-0929
Courriel : inbox@canarail.com

Août 2008
Projet No 08-031

Présenté à :

AMT
500 Place d'Armes, 25e étage
Montréal (Québec)
H2Y 2W2 – CANADA

Titre du document : Étude de pré faisabilité d'alimentation électrique par caténaire pour le projet du train de l'Est

Description : Le présent document est établi dans le but de préciser les grands thèmes de l'électrification de la future ligne Montréal - Repentigny - Mascouche et de réaliser une première étude économique de cette électrification.

Date : Septembre 2008

N° projet : 08 - 031

Rédacteur :



Thierry Mathé, Expert Caténaire

Vérificateur :



Jean-Luc Dupré, Ing.

Approbateur :



Claude Messier, Ing.
Directeur de projet

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
1. CONTEXTE	1
2. OBJET DE CE DOCUMENT	1
3. RÉFÉRENCES NORMATIVES ET SIGLES	2
3.1 RÉFÉRENCES NORMATIVES	2
3.2 SIGLES	3
4. DONNÉES D'ENTRÉE	5
4.1 PLAN DE CIRCULATION	5
4.2 DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA LIGNE	5
4.3 DÉFINITION DES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS, CONFIGURATIONS DE TRAINS ET DES MODES DE CONDUITE	5
4.4 CARACTÉRISTIQUES PRISES EN COMPTE POUR LES SIMULATIONS DES LOCOMOTIVES ET DES VOITURES	6
4.4.1 Locomotives bi-modes	6
4.4.2 Caractéristiques des voitures passagers à deux étages	7
4.5 HORAIRES	8
4.6 VOIE EMPRUNTÉE	9
4.6.1 Description de la ligne	9
4.6.2 Électrification requise	10
5. PRINCIPALES CONTRAINTES	12
5.1 CONTRAINTES LIÉES AUX NORMES CANADIENNES	12
5.1.1 Contraintes concernant la sécurité des travailleurs	12
5.1.2 Contraintes concernant le croisement des lignes aériennes	12
5.1.3 Contraintes concernant la hauteur de la caténaire au droit d'un passage à niveau	13
5.2 CONTRAINTES LIÉES AUX NORMES DES RÉSEAUX FERRÉS	13
5.2.1 Contraintes liées au gabarit de circulation	13
5.2.1.1 Partie de ligne CN	13
5.2.1.2 Partie de ligne AMT	13
5.2.1.3 Partie de ligne CFQG	14
5.2.1.4 Dégagement minimum à rajouter au gabarit statique	14

5.3	CONTRAINTES LIÉES AUX INSTALLATIONS EXISTANTES	14
5.3.1	Contraintes liées aux ouvrages et passages à niveau	14
5.3.1.1	Contraintes concernant les lignes aériennes en courants faibles	17
5.3.2	Contraintes vis-à-vis des installations de signalisation	17
6.	CHOIX DE LA TENSION D'ÉLECTRIFICATION	18
7.	CHOIX DU SYSTÈME D'ALIMENTATION 25 000V	18
7.1	CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES	18
7.1.1	Compatibilité avec l'existant	18
7.1.2	Qualité des alimentations	19
7.1.2.1	Plages de tensions en ligne	19
7.1.2.2	Impédances lignes, chutes de tension	19
7.1.3	Aspect perturbations	20
7.1.3.1	Phénomènes	20
7.1.3.2	Moyens de réduction des effets	21
7.1.3.3	Identification des installations susceptibles d'être perturbées	22
7.1.3.4	Lignes aériennes	23
7.1.4	Raccordement au réseau HT, aspect perturbation	23
7.1.4.1	Généralités	23
7.1.4.2	Limite d'émission d'harmoniques	24
7.1.4.3	Variations rapides de tension et papillotements	24
7.1.4.4	Déséquilibres de charge	24
7.1.4.5	Limites d'émission de déséquilibre de charge	25
7.1.5	Critères de performances des installations	25
7.2	CHOIX DU SYSTÈME	26
7.3	COMPARAISON AVEC LE 1 X 25 KV	26
8.	SOUS-STATION	27
8.1	PUISSANCE DE LA SOUS-STATION NÉCESSAIRE	27
8.1.1	Scénario « électrification partielle »	27
8.1.2	Scénario « Électrification totale »	27
8.2	LOCALISATION ET DIMENSION DE LA SOUS-STATION	28
8.2.1	Scénarios « Électrification partielle »	29
8.2.2	Scénario « Électrification totale »	30
8.3	COMMANDE, CONTRÔLE DES ÉQUIPEMENTS	30

9. ÉLÉMENTS ENTRANT DANS LE CALCUL DE COÛT	31
9.1 DÉCOUPAGE EN SECTIONS DE COÛT	31
9.2 ÉTUDE DE PERTURBATION DU RÉSEAU HYDRO-QUÉBEC	33
9.3 ENFOUISSEMENT DES LIGNES AÉRIENNES	33
9.4 ALIMENTATION HYDRO-QUÉBEC	34
9.5 ALIMENTATION DE LA LIGNE DE TRACTION	34
9.6 RETOUR DE COURANT DE TRACTION	34
9.7 MODIFICATION DU POSTE SCADA EXISTANT	35
9.8 NOUVELLE CATENAIRE	35
9.9 ADAPTATION DE LA CATENAIRE MONTRÉAL/DEUX-MONTAGNES	35
9.10 PROTECTION DES STRUCTURES MÉTALLIQUES	35
9.11 MODIFICATION DE LA SIGNALISATION	36
9.12 SIGNALISATION SPÉCIFIQUE CATENAIRE	36
10. DÉLAI DE RÉALISATION	36
10.1 ÉTUDE DE CONCEPTION	37
10.2 ÉTUDE D'AVANT-PROJET	37
10.3 ÉTUDE D'EXÉCUTION	37
10.4 MONTAGE DES APPELS D'OFFRE	38
10.5 TRAVAUX, ESSAIS ET MISE EN SERVICE	38
10.6 ÉLECTRIFICATION COMPLÈTE	39
10.7 ÉLECTRIFICATION PARTIELLE	40
11. COMPARAISON DES DÉPENSES EN CAPITAL ET OPÉRATIONNELLES	40
11.1 ESTIMATION DES DÉPENSES EN CAPITAL EN FONCTION DES SCÉNARIOS D'ÉLECTRIFICATION	40
11.1.1 Dépenses en capital du scénario « Électrification totale »	41
11.1.2 Électrification partielle temporaire	42
11.1.3 Électrification partielle permanente	42
11.1.4 Justification des dépenses en capital	44
11.1.4.1 Estimation des coûts des installations d'électrification	44
11.1.4.2 Estimation des coûts de locomotives	44
11.1.4.3 Estimation des coûts additionnels pour la signalisation	44
11.1.4.4 Estimation des coûts de raccordement à Hydro-Québec	44
11.1.4.5 Estimation des coûts des sous-stations	45

11.2	DÉPENSES OPÉRATIONNELLES ET DE MAINTENANCE	45
11.2.1	Consommation d'énergie	45
11.2.2	Consommation des auxiliaires	45
11.2.2.1	Charge maximale	45
11.2.2.2	Variations saisonnières	46
11.2.2.3	Charge moyenne	46
11.2.2.4	Conversion en cas de mode Diesel	47
11.2.2.5	Consommation	48
11.2.3	Consommation d'énergie pour la traction	49
11.2.4	Coût de l'électricité	50
11.2.5	Coût d'opération du SCADA	54
11.3	COÛT DE MAINTENANCE	54
11.3.1	Ligne de traction et alimentation	54
11.3.2	Locomotives	54
11.4	COMPARAISON DES DÉPENSES EN CAPITAL ET OPÉRATIONNELLES	55
11.4.1	Électrification totale	56
11.4.2	Électrification partielle temporaire	56
11.4.3	Électrification partielle permanente	57
11.4.4	Aucune électrification	57
11.4.5	Analyse de Coûts	58
11.4.6	Analyse et conclusion	58

Annexe A : Description des principes de conception de la ligne de traction électrique pour l'électrification de la ligne de l'Est

Annexe B : Schéma de la ligne empruntée par les rames de l'AMT

Annexe C : Résultat des Simulations

1. CONTEXTE

Dans le contexte du projet de desserte de Mascouche et Repentigny depuis Montréal - Gare Centrale, l'AMT veut évaluer la pré-faisabilité de l'électrification de cette ligne.

Cette desserte empruntera la ligne Montréal/Deux-Montagnes pour la sortie et l'arrivée des trains en gare Centrale. Elle utilisera la jonction de l'Est pour rejoindre la voie CN jusqu'à Repentigny. Elle sera ensuite composée d'une nouvelle voie longeant l'autoroute 640 et raccordant la voie du CN à la voie CFQG pour rejoindre Mascouche.

Cinq liaisons seront offertes dans le sens Mascouche - Montréal en période de pointe du matin pour un total de huit liaisons journalières. De même, cinq liaisons seront offertes dans le sens Montréal - Mascouche en période de pointe du soir pour un total de huit liaisons journalières.

Dans ce cadre, la société CANARAIL a été mandatée pour réaliser une étude de pré-faisabilité de l'électrification de cette desserte.

Soulignons qu'une estimation des coûts de l'électrification a été réalisée dans le cadre de cette étude de pré-faisabilité. Cette estimation n'a pas tenu compte de négociations futures avec Hydro-Québec, CN ou CP ou tout autre tiers, qui pourrait être impliqué ou affecté par cette électrification.

2. OBJET DE CE DOCUMENT

Le présent document est établi dans le but de préciser les grands thèmes de l'électrification de la future ligne Montréal - Repentigny - Mascouche et de réaliser une comparaison entre plusieurs scénarios et plus précisément :

- De lister les références normatives auxquelles devront se référer le projet;
- De définir le type d'électrification en relation avec l'électrification déjà existante;
- D'étudier les alimentations nécessaires en fonction des éléments connus;
- De décrire le type de caténaire;
- D'étudier les possibilités d'une électrification partielle;
- De lister les éléments à prendre en compte dans le calcul de coût;
- D'estimer les coûts nécessaires à cette électrification;
- D'établir un calendrier de réalisation;

- De réaliser une étude économique afin de comparer le coût d'une exploitation non électrifiée avec des engins bi-modes par rapport à un investissement d'électrification de la ligne, totale ou partielle.

L'annexe A reprend les principes généraux et les critères de conception d'une ligne de traction électrique par caténaire. Elle couvre les domaines de :

- L'alimentation des installations de traction électriques;
- La ligne de contact par caténaire;
- La protection des structures et des équipements;
- La signalisation spécifique aux installations de traction électrique;

Le schéma de voie est défini dans l'annexe B.

L'annexe C présente les résultats des simulations de consommation d'énergie.

3. RÉFÉRENCES NORMATIVES ET SIGLES

3.1 RÉFÉRENCES NORMATIVES

Les études devront répondre aux normes et recommandations en vigueur ou exigées. Elles se composent essentiellement, sans que cela ne soit limitatif, des normes et réglementations suivantes :

- CAN/CSA- C 22-3 n°8 M 91 : Railway electrification Guide Line;
- CAN/CSA- C 22-3 n°1-06 : Réseaux aériens;
- CAN/CSA-C22.3 n°3-F98 (C 2007) : Coordination électrique;
- Règlement Hydro-Québec (juillet 2002) : limites d'émission des installations de clients raccordés au réseau de transport Hydro-Québec;
- CEI 71 : Coordination de l'isolement;
- CEI 850 : Tensions normalisées des réseaux de traction;
- CEI 870 : Matériels et systèmes de téléconduite;
- CEI 801 : Compatibilité électromagnétiques pour les matériels de mesures et commande dans les processus industriels;
- CEI 1000.2 : Niveau de compatibilité pour les perturbations basse fréquence et la transmission de signaux sur les réseaux BT;
- CEI 1000.3-3 : Limitation des courants harmoniques pour les équipements raccordés aux réseaux HT;

- IEC 60850 : Tension d'alimentation des réseaux de traction;
- IEC 61000 : Applications ferroviaires. Compatibilité électromagnétique installation et appareillage d'installations fixes de traction;
- CDV IEC 62313 Applications ferroviaires Alimentation électrique et matériel roulant – Critères techniques pour la coordination entre le système d'alimentation (sous-station) et le matériel roulant pour interopérabilité;
- UIC 600 : Traction électrique avec ligne de contact;
- UIC 606-1 OR : Conséquences de l'application des gabarits cinématiques définis dans les fiches UIC;
- UIC 606-2 OR : Établissement des lignes de contact 25 kV, 50 Hz ou 60 Hz et des exigences concernant les pantographes;
- UIC 608 OR : Conditions à respecter pour les pantographes des engins moteurs utilisés en services internationaux;
- UIC 870 : Conditions pour la spécification des fils de contact;
- EN : Railways application électromagnétique Compatibility et en particulier;
- EN 50 121 : Compatibilités électromagnétiques; applications ferroviaires;
- EN 50 163 : Tension d'alimentation des réseaux de traction;
- Normes UIT-T;
- AWG : American Waring Gauge;
- Association of American Railways (AAR): S-2010-92;
- Normes AREMA.

3.2 SIGLES

A, KA	Ampères, Kilo-Ampères.
AMT	Agence métropolitaine de transport
AT	Auto Transformateur
CdPA	Conducteur de Protection Aérien
CdTE	Conducteur de Terre Enterré
CDV	Circuit De Voie
CEI	Commission Électrotechnique Internationale
CFQG	Chemin de Fer de Québec Gatineau
CI	Connexion inductive
CN	Canadien National
D	Disjoncteur
FC	Fil de Contact

HQ	Hydro-Québec
HT	Haute Tension
Hz	Hertz
I	Interrupteur
IA	Interrupteur d'Alimentation
Icc	Intensité de court circuit
IJ	Interrupteur de poste J
IL	Interrupteur de Ligne
IP	Interrupteur de Pontage
IS	Interrupteur de sous-station
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattheure
LTI	Liaison Transversale Intégrale
MALT	Mise À La Terre
MpH	Miles Per Hour
MW	Mégawatt
PI	Passage Inférieur
PS	Passage Supérieur
RCT	Retour de Courant de Traction
S	Sectionneur de Secours
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SL	Sectionneur de Ligne
SM	Sectionneur Médian
UIC	Union Internationale des Chemins de Fer
UIT	Union Internationale des Télécommunications
V, kV	Volts, Kilovolts
VP	Voie Principale
VS	Voie de Service

4. DONNÉES D'ENTRÉE

4.1 PLAN DE CIRCULATION

Le plan de circulation prévoit 8 circulations dans chaque sens par jour entre Mascouche et la Gare centrale via la jonction de l'Est.

4.2 DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA LIGNE

La ligne peut être décomposée en cinq grandes portions :

- De Montréal à la jonction de l'Est: cette partie est déjà électrifiée en caténaire 25 000V 60Hz;
- De la jonction de l'Est jusqu'à Repentigny (non électrifiée): le projet consisterait en l'électrification de cette partie de ligne appartenant au CN. La voie unique sera doublée sur certaine portion. Cette nouvelle voie sera aussi électrifiée;
- De Repentigny jusqu'à la ligne CFQG (nouvelle voie): le projet consisterait en l'électrification de cette partie de voie nouvelle au moment de sa réalisation. Cette ligne appartiendra à l'AMT;
- Du raccordement sur la ligne CFQG à Mascouche (non électrifiée): le projet consisterait en l'électrification de cette partie de ligne.;
- Du futur site de garage de l'AMT situé à Mascouche.

4.3 DÉFINITION DES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS, CONFIGURATIONS DE TRAINS ET DES MODES DE CONDUITE

Pour ce qui concerne l'électrification de la ligne, plusieurs scénarios ont été étudiés :

- Le scénario « Électrification totale » entre la Jonction de l'Est et Mascouche;
- Le scénario « Électrification partielle » pour lequel seule la portion de voie appartenant à l'AMT, le site de garage de Mascouche ainsi que les quelques centaines de mètres du CP sont électrifiés. Deux variantes ont été considérées. La première dénommée « Électrification partielle temporaire » suppose que ce scénario n'est qu'une étape vers une électrification totale de la ligne. Les équipements à installer (en particulier la puissance de la sous-station) prennent en compte les besoins futurs. La deuxième dénommée « Électrification partielle permanente » pourrait être réalisée si l'électrification totale n'est pas envisagée. Elle correspond au cas minimaliste;
- Le scénario « Aucune Électrification ».

La configuration des trains et les modes de conduite dépendent du scénario comme indiqué dans le tableau suivant :

Table 4.1 – Configuration des trains et mode de conduite

Scénario	Électrification Totale	Électrification Partielle (deux variantes)	Aucune Électrification
Composition des trains	1 locomotive bi-mode 10 voitures 2 niveaux	1 locomotive bi-mode 10 voitures 2 niveaux	1 locomotive bi-mode 10 voitures 2 niveaux
Gare Centrale-Jonction de L'Est	Mode Électrique	Mode Électrique	Mode Électrique
Jonction de L'Est-Repentigny	Mode Électrique	Mode Diesel	Mode Diesel
Repentigny-Mascouche	Mode Électrique	Mode Électrique	Mode Diesel

Pour les scénarios « Électrification Partielle » et « Aucune Électrification », il est considéré que :

- Pour les trains venant de la gare Centrale, le train est en mode électrique jusqu'à la jonction de l'Est. Le moteur diesel aura pu être lancé avant la jonction de l'Est;
- Pour les trains venant de Mascouche, le mode de traction est électrique dès que le train rejoint la ligne actuelle Montréal/Deux-Montagnes;
- Pour le scénario « Partiellement Électrifié », une transition similaire des modes électrique et diesel est prévue à Repentigny.

4.4 CARACTÉRISTIQUES PRISES EN COMPTE POUR LES SIMULATIONS DES LOCOMOTIVES ET DES VOITURES

4.4.1 Locomotives bi-modes

Les principales caractéristiques des locomotives bi-modes ont été extraites de la spécification établie pour l'achat de ces locomotives avec New Jersey Transit. Pour des fins de simulation, il est considéré que ces locomotives ont des caractéristiques électriques équivalentes à celles de l'ALP 46 et une surcharge provenant de la motorisation diesel (surcharge de l'ordre de 40 Tonnes) La surcharge totale additionnelle est donc équivalente environ à la masse d'une locomotive diesel. La configuration est similaire à une ALP 46 et une locomotive diesel.

Les principales caractéristiques de cette locomotive sont les suivantes :

Poids : 128.000 kg

Puissance : 5965 kW

Efficacité du Moteur : 85%

Résistance à l'avancement (selon la méthode du Canadien National) :

R (N/tons) = $7.355 + 80.068 * N/W(\text{tons}) + 0.091 * V(\text{km/h}) + 0.524 * V^2(\text{km}^2/\text{h}^2) / W(\text{tons})$ pour une superficie frontale de 11.82 m²

4.4.2 Caractéristiques des voitures passagers à deux étages

Les principales caractéristiques des voitures passagers à deux étages, extraites du devis technique DA9365 émis par l'AMT le 13-02-2007 sont les suivantes :

Poids : maximum de 60.33 Tonnes

Puissance des Auxiliaires : 100 kW par voiture

Hauteur maximale (d'après l'appel d'offre) : 4,46m

Nombre de passagers maximal : 150 assis et 200 en prenant en compte les personnes debout.

Résistance à l'avancement (selon la méthode du Canadien National) :

R (N/tonnes) = $7.355 + 80.068 * N/W(\text{tonnes}) + 0.091 * V(\text{km/h}) + 0.099 * V^2(\text{km}^2/\text{h}^2) / W(\text{tonnes})$ en supposant une superficie frontale de 13.36m².

4.5 HORAIRES

Table 4.2- Horaires

Horaire Mascouche-Repentigny-Gare Centrale

Nom Station	Distance mi.		↑					↑		↑		↑	↑	↑	↑		↑
Rame No.		1	1	2	3	4	1	2	2	3	3	2	1	4	3	4	4
Train No.		830	831	832	834	836	838	839	840	841	842	843	845	847	849	850	851
Jour d'Operation		Lun-Vend	Lun-Vend	Lun-Vend	Lun-Vend	Lun-Vend	Lun-Vend	Lun-Vend	Lun-Vend	Lun-Vend	Lun-Vend						
matin/après midi		matin	matin	matin	matin	matin	matin	après midi									
Mascouche-640	0,000	Dep 6:00	Ar 8:18	Dep 6:30	Dep 7:06	Dep 7:37	Dep 8:30	Ar 1:15	Dep 1:30	Ar 4:38	Dep 5:00	Ar 5:44	Ar 6:19	Ar 6:58	Ar 7:31	Dep 8:00	Ar 10:10
Terrebonne A640	0,940	6:03	8:16	6:33	7:09	7:40	8:33	1:13	1:32	4:36	5:02	5:42	6:17	6:56	7:29	8:02	10:08
LeGardeur	7,750	6:12	8:07	6:42	7:18	7:49	8:42	1:04	1:41	4:27	5:11	5:33	6:08	6:47	7:20	8:11	9:59
Charlemagne	9,250	6:16	8:04	6:46	7:22	7:53	8:46	1:01	1:44	4:23	5:15	5:29	6:04	6:43	7:16	8:14	9:56
Pointe-aux-Trembles	12,370	6:22	7:58	6:52	7:28	7:59	8:52	12:55	1:50	4:17	5:25	5:23	5:58	6:37	7:10	8:20	9:50
St-Jean-Baptiste	14,560	6:26	7:51	6:56	7:32	8:03	8:56	12:52	1:53	4:13	5:29	5:19	5:54	6:33	7:06	8:23	9:47
A25	18,560	6:32	7:45	7:02	7:38	8:09	9:02	12:46	1:59	4:07	5:36	5:13	5:48	6:27	7:00	8:29	9:41
Lacordaire	19,870	6:36	7:42	7:06	7:42	8:13	9:06	12:43	2:02	4:03	5:44	5:09	5:44	6:23	6:56	8:32	9:38
Pie IX	21,490	6:40	7:34	7:10	7:46	8:17	9:10	12:39	2:06	3:59	5:48	5:05	5:40	6:19	6:52	8:36	9:34
Sauvé	23,930	6:45	7:30	7:15	7:51	8:22	9:15	12:35	2:10	3:54	5:52	5:00	5:35	6:14	6:47	8:40	9:30
L'Acadie	25,120	6:48	7:27	7:18	7:54	8:25	9:18	12:32	2:13	3:51	5:55	4:57	5:32	6:11	6:44	8:43	9:27
Mont-Royal	27,440	6:52	7:24	7:22	7:58	8:29	9:22	12:29	2:16	3:47	5:58	4:53	5:28	6:07	6:40	8:46	9:24
Canora	28,040	6:54	7:22	7:24	8:00	8:31	9:24	12:27	2:18	3:45	6:00	4:51	5:26	6:05	6:38	8:48	9:22
Gare Centrale	31,440	Ar 7:01	Dep 7:15	Ar 7:31	Ar 8:07	Ar 8:38	Ar 9:31	Dep 12:20	Ar 2:25	Dep 3:37	Ar 6:07	Dep 4:43	Dep 5:18	Dep 5:57	Dep 6:30	Ar 8:55	Dep 9:15
Temps parcours		1:01	1:03	1:01	1:01	1:01	1:01	0:55	0:55	1:01	1:07	1:01	1:01	1:01	1:01	0:55	0:55
Rame en Gare Centrale		1		2	2-3	2-3-4	1-2-3-4	1-3-4	1-2-3-4	1-2-4	1-2-3-4	1-3-4	3-4	3		4	

L'horaire défini ci-dessus suppose 4 rames réalisant chacune deux allers-retours par jour de semaine. Il n'est prévu aucune circulation les fins de semaines.

Le service est offert du lundi au vendredi sauf les jours fériés. En moyenne sur une année, le nombre de jours de service est estimé à $(365 \times 5/7)$ jours moins 9 jours fériés soit environ 252 jours.

Les rames seront garées la nuit sur le site de garage de Mascouche et le jour en gare Centrale. Le tableau suivant présente la durée de stationnement en gare Centrale, au site de garage de Mascouche, le temps de trajet pour chaque rame ainsi que le temps moyen pour l'ensemble des 4 rames.

Table 4.3 – Temps (en heure) de garage respectifs des rames en gare Centrale, à Mascouche et durée de trajet

	Rame 1	Rame 2	Rame 3	Rame 4	Moyenne
Temps en gare Centrale	8h01	7h07	7h53	9h39	8h10
Temps dans la cour de Mascouche	11h53	13h01	11h57	10h29	11h50
Temps en trajet	4h06	3h52	4h10	3h52	4h00

Soulignons également que :

- Le temps moyen de trajet entre la jonction de l'Est et la gare Centrale est de l'ordre de 12 minutes;
- Le temps moyen entre la Jonction de l'Est et la gare de Mascouche est de l'ordre de 48 minutes;
- Le temps moyen sur la nouvelle voie de l'AMT est de l'ordre de 12 minutes.

4.6 VOIE EMPRUNTÉE

4.6.1 Description de la ligne

Le schéma de la ligne empruntée par les rames de l'AMT est présenté en Annexe B. En supposant qu'il n'y a pas de rencontre entre les trains, les voies empruntées sont définies dans le tableau suivant :

Table 4.4 -Type de voie utilisée

PM ou PK début- PM ou PK Fin	Distance (Kilomètres) de la voie			Type de voie utilisée (en supposant qu'il n'y pas de rencontre de train)
	nouvelle	Modernisée	existante	
PM 141.6-141.4		0.3		Voie sud modernisée de la voie d'évitement de Gohier
PM 141.4-140.8		1.0		Voie sud Modernisée de la voie d'évitement de Gohier Aiguillage au PM 140.8
PM 140.8-136.4			7.1	Voie unique existante
PM 136.3-134.9		2.4		Nouvel aiguillage au PM 136.3, voie sud modernisée
PM 134.9-133.3	2.6			Nouvelle voie
PM 133.3-132.2			1.8	Voie existante
PM 132.2-128.2	6.4			Nouvelle voie
PM 128.2-127.7	0.8			Voie existante
PM 127.7-126.7			1.6	Voie existante
PM 126.7-124.7			4.0	Voie unique existante et Nouvel aiguillage PM 124.7
PM 124.7-123.6	1.8			Nouvelle voie (sur emprise du CN). Début-fin de la voie de l'AMT
PK 0-13.3	13.3			Nouvelle voie sur emprise AMT et aiguillage au PK 13.3
PK 13.3-13.6			0.3	Voie existante du CP
PK13.6				Gare et Garage de Mascouche
	24.9	3.7	14.8	

Les lignes grisées représentent des portions de voie pour lesquelles l'électrification est nécessaire pour deux voies tel qu'expliqué dans le chapitre suivant.

4.6.2 Électrification requise

La longueur de l'électrification requise dépend du scénario considéré. Le tableau suivant présente la longueur des voies à électrifier et la caractéristique de la voie (nouvelle ou modernisée). Par rapport au tableau précédent, la gestion des rencontres de trains a été prise en compte.

Ainsi, les graphiques de circulation montre qu'en situation normale, les trains se croisent le matin et l'après midi au niveau des gares de Lacordaire et de Pointe-aux-trembles.

Dans le scénario « Électrification Totale », il a été supposé que les voies permettant ces croisements (du PM 136.3 au PM 134.94 et du PM 126.7 au PM 127.7) devaient également être électrifiées afin d'éviter deux changements de mode supplémentaires pour les trains

qui utiliseront cette voie. Il serait théoriquement envisageable de faire l'économie de ces 2.4 kilomètres d'électrification. Cette économie n'a pas été considérée en raison de la contrainte d'exploitation qui en résulte.

En outre, pour ce qui concerne le scénario « Électrification Totale », toutes les autres voies connectées aux voies électrifiées ne sont pas électrifiées. L'ingénieur de train devra s'assurer, en fonction des aspects de signaux présentés, qu'il n'est pas dirigé vers une voie non électrifiée. Il devra ainsi s'arrêter devant tout signal indiquant que l'aiguille est positionnée vers une voie non électrifiée.

La gare et le garage de Mascouche sont composés de 6 voies (la voie principale du CP d'environ 800 mètres n'est pas comptabilisée).

La longueur du garage et de la gare de Mascouche est d'environ 5 km. Il est considéré que la voie principale de CP n'est pas électrifiée.

Table 4.5 – Longueur d'électrification selon les scénarios

Scénario	Longueur (Km) de voie unique électrifiée				Longueur (km) double voie électrifiée	Longueur (km) de voie de garage
	Nouvelle	Modernisée	Existante	Total		
« Aucune Electrification »	-	-	-		-	-
« Électrification partielle » (deux variantes)	13.3	-	0.3	13.6		5
« Électrification totale »	24.9	1.3	13.2	39.4	4	5

5. PRINCIPALES CONTRAINTES

Le présent chapitre liste les principales contraintes liées à une électrification, principalement vis-à-vis :

- Des normes canadiennes;
- Des normes des réseaux ferroviaires parcourus;
- Des installations existantes.

Ces contraintes pourront engendrer des coûts importants.

5.1 CONTRAINTES LIÉES AUX NORMES CANADIENNES

5.1.1 Contraintes concernant la sécurité des travailleurs

Ce paragraphe reprend les contraintes en application de la norme canadienne CN/CSA-2-3 n°8 M 91 « Railway électrification Guide Line » qui spécifie la distance d'isolement requise par rapport aux pièces sous tension sans laquelle aucun travail n'est possible.

Cette réglementation, plus contraignante que celle utilisée sur d'autres réseaux 25 kV, amène à ne pas considérer les isolateurs de sections utilisés actuellement sur la ligne Montréal/Deux-Montagnes comme des éléments isolants sécuritaires pour les travailleurs. Des recherches ont été effectuées, en vain, au cours des dernières années pour trouver sur le marché des isolateurs avec distance d'isolement suffisante. Il y aura lieu de les remplacer par des sectionnements à lame d'air ou d'exiger de nouveaux types d'isolateur de section pour permettre de travailler sur une section alors que les sections adjacentes sont sous tension.

5.1.2 Contraintes concernant le croisement des lignes aériennes

Ce paragraphe reprend les contraintes en application de la norme canadienne CAN/CSA-2-3 n°1-06 « Réseaux aériens » (Ex norme CAN/CSA-22-3 n°1 M 87) qui spécifie les distances nécessaires entre la caténaire et les lignes aériennes lors des croisements.

Cette norme spécifie les distances verticales et horizontales entre deux lignes électriques. En particulier le tableau 13 de cette norme permet de définir la distance minimale verticale entre la caténaire (25 kV) et toute autre ligne. Cette distance varie environ entre 1 mètre et 5 mètres selon la tension du câble croisé. Cette réglementation amènera à vérifier la hauteur de toutes ces traversées et à les enterrer si cette distance ne peut être obtenue.

Table 5.1 – Tableau des lignes électriques sur la partie AMT

Ligne	PK	Ouvrage
AMT	1,600	Ligne HT 120 kV
AMT	3,260	Ligne HT 120 kV
AMT	6,410	Ligne BT
AMT	6,380	Ligne HT 315 kV
AMT	7,000	Ligne HT 315 kV
AMT	10,650	Ligne HT 120 kV

Un recensement précis des lignes et de leur hauteur devra être fait sur la partie de ligne appartenant au CN.

5.1.3 Contraintes concernant la hauteur de la caténaire au droit d'un passage à niveau

Le chapitre 5.3 et la table 2 de la norme canadienne CAN/CSA- 2-3 n°1-06 spécifient la hauteur minimale d'un fil sous tension au droit d'une route circulée. À ce titre, la caténaire (25 kV) doit respecter une hauteur minimale par rapport à la route de 5.2 m à laquelle peuvent s'ajouter, entre autres 0.3 mètres (voir clause 5.3.1.1 a) à e)).

5.2 CONTRAINTES LIÉES AUX NORMES DES RÉSEAUX FERRÉS

5.2.1 Contraintes liées au gabarit de circulation

5.2.1.1 Partie de ligne CN

Afin de ne pas restreindre la circulation des trains du CN, la hauteur de la caténaire devra être adaptée aux wagons transportant deux conteneurs superposés. Cette contrainte est respectée sur la ligne Montréal/Deux-Montagnes en réglant la hauteur de la caténaire à 6,92 m.

La hauteur statique maximale des trains du CN est de 22 pieds, soit 6,70 m.

5.2.1.2 Partie de ligne AMT

Sur la ligne de l'AMT, située entre Repentigny et Mascouche, seuls les trains de l'AMT circuleront. Par conséquent la caténaire pourra être abaissée sur cette portion pour respecter un gabarit statique minimum de l'ordre de 4m46.

5.2.1.3 Partie de ligne CFQG

Dans le cas où le gabarit CFQG (non connu actuellement) serait de même nature que celui du CN, il conviendra de remonter la caténaire à la même hauteur que sur la portion du CN.

5.2.1.4 Dégagement minimum à rajouter au gabarit statique

Le gabarit dynamique des voitures est actuellement inconnu. Il faut par conséquent ajouter un espace théorique pour leur mouvement lors de leur déplacement, celui de la caténaire et celui de la voie. Ces dimensions, données par la norme CSA-C22.3 – « Railways électrification » sont :

- Espace de mouvement de l'équipement lors des déplacements : 150 mm;
- Tolérance du déplacement de la surface de la voie ferrée : 50 mm;
- Tolérance de déplacement de la caténaire : 50 mm;
- Dégagement électrique entre la caténaire et le matériel roulant : 200 mm;
- Dégagement électrique entre la caténaire et la structure : 200 mm.

La hauteur totale à ajouter aux dimensions statiques des voitures est donc de 650mm.

Selon ces hypothèses le dégagement minimum vertical est donc la hauteur de la voiture la plus haute plus 650 mm. Sur la portion de voie de l'AMT, le dégagement minimum est donc de l'ordre de 5m11. Il faut souligner que cette marge peut varier selon les conditions (c'est le cas par exemple en gare Centrale) : La marge pour l'espace de mouvement lors du déplacement des voitures peut être réduit si le gabarit dynamique, pour les caractéristiques de la voie des voitures sont connus. En outre, la tolérance de déplacement de la voie peut varier en fonction des conditions de gel et de dégel et des interventions de maintenance réalisées.

5.3 CONTRAINTES LIÉES AUX INSTALLATIONS EXISTANTES

5.3.1 Contraintes liées aux ouvrages et passages à niveau

Lors du passage sous les ouvrages d'art, la caténaire doit respecter des critères de hauteur comme mentionné à l'annexe A, mais aussi des critères d'isolement électrique par rapport aux structures des ouvrages.

Lors des passages au droit des passages à niveau la caténaire doit être située à une hauteur telle qu'elle ne présente pas de risque pour les circulations routières.

Le tableau ci-dessous reprend ces points de la future ligne avec leurs caractéristiques lorsqu'elles sont connues. Ces points seront des particularités au niveau de la construction

de la caténaire telle que développée dans les divers chapitres. Les principales contraintes sont mentionnées dans le tableau ci-dessous, ce sont :

- 1 : Les hauteurs à respecter (minimales et maximales);
- 2 : Les protections des structures en fonction du type de l'ouvrage;
- 3 : Les distances d'isolement et marges par rapport aux masses;
- 4 : Les particularités d'installation de la caténaire sur l'ouvrage (Structures spéciales de supports, poteau en encorbellement, supports sur ouvrages métalliques, etc.).

Table 5.2 – Tableau des ouvrages et traversées

Ligne		Ouvrage		Caractéristiques
CN	141,410	Passage inférieur Boul. Lebeau	2	
CN	141,250	Passage inférieur Boul. A 15	2	
CN	141,220	Passage inférieur Boul. A 15	2	
CN	140,900	Passage inférieur Boul. Lacadie	2	
CN	140,700	Passage inférieur Rail CPR	2	
CN	140,600	Passage inférieur Rue Meilleur	2	
CN	140,090	Passage inférieur Boul. Saint Laurent	2	
CN	139,750	Passage inférieur Rue Berri	2	
CN	139,650	Passage inférieur Rue Lajeunesse	2	
CN	139,610	Passage inférieur Avenue Millen	2	
CN	139,500	Passage inférieur Rue Saint Hubert	2	
CN	139,140	Passage inférieur Rue C Colomb	2	
CN	138,650	Passage inférieur Rue Papineau	2	
CN	138,450	Passage inférieur Boul. Saint Michel	2	
CN	138,250	Passage inférieur Boul. Pie IX	2	
CN	137,750	Passage inférieur Boul. Saint Michel	2	
CN	137,150	Passage inférieur Boul. Pie IX	2	
CN	135,720	Passage inférieur Boul. Lacordaire	2	
CN	134,860	Passage inférieur Boul. H Bourassa	2	
CN	134,380	Passage à niveau	1 et 2	
CN	133,520	Passage supérieur Boul. A Bombardier	1 à 4	Hauteur inconnue
CN	132,300	Passage inférieur Rue R Forget	2	
CN	131,540	Passage à niveau	1 et 2	
CN	130,400	Passage à niveau	1 et 2	

Ligne		Ouvrage		Caractéristiques
CN	129,920	Passage inférieur Rue A Chaput	2	
CN	129,000	Passage inférieur A 40	2	
CN	128,870	Passage à niveau	1 et 2	
CN	128,180	Passage inférieur Rue Sherbrooke	2	
CN	127,600	Passage à niveau	1 et 2	
CN	127,210	Passage à niveau	1 et 2	
CN	126,920	Passage à niveau	1 et 2	
CN	126,200	Passage inférieur Rue Sherbrooke	2	
CN	125,800	Pont ferroviaire Rivière des prairies	2	Ouvrage métallique de 300m de longueur
CN	125,200	Pont ferroviaire Rivière des prairies	1,2 et 4	Ouvrage métallique de 400m de longueur.
CN	124,760	Passage inférieur A640	2	
CN	124,540	Passage à niveau	1 et 2	
CN	124,190	Passage à niveau	1 et 2	
CN	124	Passerelle	1 à 3	Hauteur 5,30 m Minimum
CN	123,680	Passage supérieur Autoroute 40 Ouest	1 à 4	Hauteur 5,50 m Minimum
CN	123,670	Passage supérieur Autoroute 40 Est	1 à 4	Hauteur 5,50 m Minimum
CN	141,250	Passage inférieur Autoroute 15	2	
AMT	1,840	Ponceau Béton sous la voie Ruisseau de la grande débouche	Sans conséquence en l'absence de structures métallique	
AMT	2+000	Passage supérieur Boul. P Le Gardeur	1 à 4	Hauteur 5,50 m Minimum
AMT	2,810	Ponceau Béton sous la voie Ruisseau de la grande débouche	Sans conséquence en l'absence de structures métallique	
AMT	3,260	Ligne HT 120 kV		Hauteur 9,40 m Minimum
AMT	3,720	Passage à niveau	1 et 2	
AMT	3+800 au 5+060	Pont ferroviaire Autoroute 640 Ouest	1 à 4	
AMT	5+100	Passage supérieur Montée des pionniers	1 à 4	Hauteur 5,50 m Minimum
AMT	5,430	Pont TPG sur fossé	Sans conséquence en l'absence de structures métallique	
AMT	5+860	Passerelle	1 à 3	Hauteur 5,30 m Minimum
AMT	6,230	Pont TPG sur fossé	Sans conséquence en l'absence de structures métallique	
AMT	6,450	Gazoduc TQM	2	
AMT	7,610	Pont TPG sur ruisseau Saint Charles 1	Sans conséquence en l'absence de structures métallique	
AMT	8,340	Pont TPG sur ruisseau Saint Charles 2	Sans conséquence en l'absence de structures métallique	

Ligne		Ouvrage		Caractéristiques
AMT	9,060	Pont TPG sur fossé		Sans conséquence en l'absence de structures métallique
AMT	9,660	Pont TPG sur fossé		Sans conséquence en l'absence de structures métallique
AMT	10+400	Passage supérieur Montée Dumais	1 à 4	Hauteur 5,50 m Minimum
AMT	10+930	Pont ferroviaire sur la rivière Mascouche	1 à 4	Ouvrage métallique de 400m de longueur.
AMT	11+110	Passage supérieur Montée Route Charles-Aubert	1 à 4	Hauteur 5,50 m Minimum
AMT	12+400 au 12+900	Pont ferroviaire sur Autoroutes 25 N et 640 Ouest + Gazoduc TQM	2	Ouvrage métallique de 400m de longueur.
AMT	13+200	Passage à niveau	1 et 2	
CFQG	13+400	Gazoduc TQM	2	

5.3.1.1 Contraintes concernant les lignes aériennes en courants faibles

Les lignes aériennes filaires de téléphonie ou de transmission de signaux à courants faibles sont à proscrire en électrification 25 kV.

Ceci amènera à recenser les sections éventuellement encore en service et de procéder à leur mise en câble.

5.3.2 Contraintes vis-à-vis des installations de signalisation

Les installations de signalisation devront être compatibles avec une électrification par caténaire 25 kV. Il s'agit, entre autres, de la compatibilité des circuits de voie au retour de courant de traction mais aussi de la protection des installations et des travailleurs.

6. CHOIX DE LA TENSION D'ÉLECTRIFICATION

Les électrifications de lignes ferroviaires peuvent être réalisées sous différentes tensions. Les plus fréquentes sont celles de 1500 V en courant continu et 25 000V en courant alternatif.

Les trains desservant la ligne Montréal - Repentigny utiliseront partiellement la ligne Montréal/Deux-Montagnes, dans sa partie située entre la gare Centrale et la jonction de l'Est. Cette ligne Montréal/Deux-Montagnes est électrifiée en 25 000 V - 60 Hertz.

Par souci d'homogénéisation du réseau et de compatibilité avec cette ligne Montréal/Deux-Montagnes, le choix de la tension d'électrification sera donc du 25 000V - 60Hz.

Outre l'uniformité du réseau, ce choix présente des avantages non négligeables pour la future organisation de maintenance du réseau AMT :

- Possibilité de maintenance par une seule équipe;
- Connaissances des agents adaptées aussi bien dans le domaine technique que dans celui de la sécurité;
- Stock de matériel de réserve commun au deux lignes.

Les électrifications 25 kV peuvent être réalisées soit par des alimentations 25 000 V - 60 Hz, soit par des alimentations 2 X 25 000V - 60 Hz. Le chapitre suivant compare ces deux principes.

7. CHOIX DU SYSTÈME D'ALIMENTATION 25 000V

7.1 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

7.1.1 Compatibilité avec l'existant

Comme mentionné au chapitre précédent, la compatibilité avec la ligne de Montréal/Deux-Montagnes impose une électrification en 25 kV 60 Hz. Il existe cependant des alternatives à la conception du système, en fonction de contraintes environnementales ou de maintien des alimentations, qui ne remettent pas en cause cette compatibilité.

7.1.2 Qualité des alimentations

7.1.2.1 Plages de tensions en ligne

Ceci concerne principalement le maintien de la tension en ligne dans une variation de valeurs compatible avec les caractéristiques du matériel roulant.

Ces variations sont définies dans la norme CEI 850 et de façon plus explicite dans la norme CENELEC EN 50 163, à savoir :

- Tension nominale : 25 kV;
- Tension permanente la plus haute : 27.5 kV (correspondant à la tension à vide);
- Tension permanente la plus basse : 19 kV;
- Tension non permanente la plus haute : 29 kV;
- Tension non permanente la plus basse : 17.5 kV.

L'appréciation du terme « non permanent » est donnée dans la norme EN 50 163 sous la forme d'un calcul qui prend en compte les variations de tension en fonction du temps.

Hormis l'acceptation de chutes de tension très courtes, et dans le respect des valeurs ci-dessus, il convient de concevoir le système pour des plages de variation de tension compatibles avec le maintien des performances du matériel roulant, soit une plage de l'ordre de 27 kV à 22 kV.

Ce critère sera d'autant respecté que les impédances du système d'alimentation seront faibles tout en limitant à une valeur non destructrice pour les équipements le courant de court circuit et notamment à la sortie des sous-stations.

Ce courant de court circuit est usuellement limité à 12 kA, ce qui correspond au pouvoir de coupure des disjoncteurs embarqués lorsqu'ils existent.

7.1.2.2 Impédances lignes, chutes de tension

Le système d'alimentation à courant alternatif est caractérisé par les impédances :

- De source comprenant l'impédance du réseau HT et de ses lignes de raccordement aux sous-stations de traction. Ce paramètre qui peut être apprécié au travers de la Puissance de Court Circuit du réseau HT disponible au point de raccordement est uniquement dimensionnant pour établir les limites de déséquilibre de tension fixées par le fournisseur d'énergie;

En termes d'impédance de source, ce paramètre peut être considéré comme négligeable lorsque le point de raccordement est situé aux abords du poste de livraison;

- De la sous-station pour la zone qu'elle alimente. Cette impédance est principalement représentée par l'impédance du transformateur de puissance vue du secondaire ; c'est cette impédance qui doit être calculée pour limiter le Icc à 12 kA;
- De la boucle Caténares/rails;

Pour définir une valeur linéique (Ω/km), cette impédance génératrice principale des chutes de tension en ligne, est exprimée en termes complexes de la forme $Z = R + j X$, dans laquelle :

- R = résistance de tous les conducteurs du circuit ;
- X = réactance de la boucle caténares/rails.

Elle a pour valeur moyenne, en fonction du système d'électrification :

- 1 x 25 kV Double voie : $Z/\text{km} = 0.095 + j0.329$ soit : $0.34 \Omega/\text{km}$;
- 1 x 25 kV Voie unique : $Z/\text{km} = 0.184 + j0.531$ soit : $0.56 \Omega/\text{km}$;
- 2 x 25 kV Double voie : $Z/\text{km} = 0.044 + j0.125$ soit : $0.13 \Omega/\text{km}$;
- 2 x 25 kV Voie unique : $Z/\text{km} = 0.09 + j0.26$ soit : $0.27 \Omega/\text{km}$.

Des expressions ci dessus l'on constate que les valeurs sont environ de 2 à 2.4 fois plus faibles en système 2 x 25 kV. Cette donnée est prépondérante pour la section à voie unique en termes de chute de tension en ligne, ce qui risque de limiter la tension en extrémité de ligne en dessous des valeurs mentionnées ci-dessus et peut nécessiter une alimentation par au moins deux sous-stations avec les conséquences de l'implantation de sections de séparation de phases.

7.1.3 Aspect perturbations

7.1.3.1 Phénomènes

Au voisinage d'une voie ferrée électrifiée en courant alternatif industriel et à haute tension existent trois phénomènes électriques qui peuvent perturber les circuits à courants faibles (signalisation et télécommunications) :

- Le couplage galvanique, dû à la proximité d'une structure métallique portée à un potentiel élevé. Un schéma de montage du circuit de retour traction adéquat permet de limiter les potentiels masses métalliques/sol à des valeurs inférieures aux limites admissibles définies par l'UIT;
- L'influence électrostatique (effet condensateur), dont l'importance est due à la valeur élevée de la tension et à la capacité du système caténaire/ sol /conducteur à courants faibles;

- L'induction électromagnétique (effet transformateur), due à la nature alternative du courant et au couplage qui existe entre la boucle caténaire/sol et la boucle conducteur induit/sol.

Les perturbations d'origine induites ou conduites créent des phénomènes de deux ordres :

- Niveaux de danger :
 - Les courants perturbateurs d'origine conduite ou induite peuvent créer des potentiels dangereux entre des structure métalliques ou armatures de câbles par rapport à la terre ;
 - Des mesures appropriées de mises à la terre ou de limitation des longueurs de parallélisme avec le système perturbateur permettent de résoudre ce problème.
- Niveau de trouble
 - Les courants circulant dans les structures et enveloppes de câbles développent des forces longitudinales induites dans les conducteurs actifs générant des bruits dégradant la qualité des signaux au delà de valeurs limites fixées par l'UIT pour lesquelles le système perturbé doit être immunisé.

7.1.3.2 Moyens de réduction des effets

Sous réserve de conduire une étude des niveaux de perturbation, nécessaire à valider que les limites ne sont pas atteintes ou dépassées, il convient de tenir compte de ces contraintes dès l'étude préliminaire de conception du système d'électrification proposé.

La limitation des perturbations peut être effectuée de deux manières :

- Par la protection du système perturbé. Dans ce cas il convient de connaître aussi bien les niveaux générés que d'identifier les équipements susceptibles d'être perturbés et de leur niveau d'immunité. Cette solution mise en œuvre « a posteriori », parfois nécessaire entraîne une étude longue, généralement difficile à conduire vis à vis des intervenants extérieurs;
- Par la réduction des perturbations à la source.

Cette approche opérée dès la conception reste la plus optimisée au niveau des performances attendues et des coûts induits pour protéger les équipements riverains.

Dans cette hypothèse, il convient de limiter les niveaux de courants perturbateurs comme suit :

- Courants conduits :
 - Ces courants issus du retour traction sont la conséquence du faible isolement des voies et d'un phénomène de couplage avec le sol, et empruntent la terre dans des proportions variables en fonction de la conductivité des sols pour rejoindre la sous-station ;
 - Une conception efficace du circuit de retour traction, des mises à la terre et des protections des structures limite sensiblement ce phénomène ;
 - Il peut être également envisagé l'emploi de transformateurs dits « suceurs » qui, connectés entre circuit caténaire et circuit de retour, obligent le courant à emprunter ce chemin ;

L'inconvénient majeur de ce système est qu'il augmente les chutes de tension en ligne de par l'impédance en série des transformateurs, et nécessite l'installation à intervalles réguliers de sectionnements sur la caténaire.

- Courants induits :

La limitation de ces courants s'effectue par :

- Le fait de rendre symétrique le circuit traction par rapport à la terre. Le système 25 kV monophasé, bien que largement utilisé lorsque les niveaux de courants en ligne ne créent pas de perturbations hors des limites spécifiées ou bien que l'environnement électromagnétique le permet, ne satisfait pas à ce critère;
- La présence d'un facteur réducteur « artificiel » dont le but est de réduire les courants induits résultants, notamment par la circulation de courants en opposition de phase entre deux conducteurs parallèles.

Le système d'alimentation 2 x 25 kV permet de limiter les courants induits en respectant les deux critères ci-dessus.

7.1.3.3 Identification des installations susceptibles d'être perturbées

L'on fait une distinction entre :

- Les installations et circuits à courant faibles du domaine ferroviaire, qui comprennent la signalisation et les télécommunications. Il convient de considérer deux cas :
 - Les installations existantes pour lesquelles il sera nécessaire de connaître le niveau d'immunité afin de procéder à une éventuelle étude de protection ;
 - Les installations et circuits nouveaux qui doivent respecter les niveaux limites imposés par les directives au même titre que pour le perturbateur.

- Les installations riveraines.

Elles concernent en premier lieu Bell Canada et tout opérateur de télécommunication. Il s'agit de localiser :

- Les lignes de transmission aériennes et souterraines présentant un parallélisme proche avec la ligne électrifiée. Les terminaux vers les abonnés ne sont pas concernés;
- Les positions des autocommutateurs.

Les installations autres telles que aéroports, installations militaires, ne feront l'objet d'actions que sur leur propre demande.

7.1.3.4 Lignes aériennes

Les lignes aériennes filaires de téléphonie ou de transmission de signaux à courants faibles sont proscrites en électrification 25 kV.

Il convient de recenser les sections éventuellement encore en service et de procéder à leur mise en câble.

7.1.4 Raccordement au réseau HT, aspect perturbation

7.1.4.1 Généralités

Le document « Limite d'émission des installations de clients raccordées au réseau de transport d'Hydro-Québec » ; définit les limites et les méthodes d'évaluation des émissions de perturbations électriques causées par l'ensemble des équipements perturbateurs d'une installation de client raccordée au réseau de transport d'Hydro-Québec.

Elle s'applique aux installations raccordées au réseau de nouvelles installations comprises entre 44 kV et 315 kV ce qui est le cas du présent projet.

Il définit les limites d'émission et les méthodes d'évaluation pour les

- Harmoniques;
- Variations rapides de tension;
- Papillotements;
- Déséquilibres de charge, ce chapitre en apportant des précisions concernant les limites d'émission des déséquilibres liées aux systèmes de trains électriques.

7.1.4.2 Limite d'émission d'harmoniques

Concernant les mesures des niveaux d'harmoniques, ils devront être exprimés en valeurs intégrées sur 3 secondes (et non sur 10 minutes tel qu'actuellement défini dans l'édition 2002 du présent document). Les seuils ont également été révisés pour prendre en compte cette intégration sur 3 secondes.

7.1.4.3 Variations rapides de tension et papillotements

Les limites d'émission et les méthodes d'évaluation sont décrites dans le document et seront appliquées comme telles.

7.1.4.4 Déséquilibres de charge

Les limites d'émission et les méthodes d'évaluation sont décrites dans le document et devront être appliquées comme telles.

Dans le chapitre 2.2 « Limites d'émission des déséquilibres de charge », une partie plus spécifique s'applique aux systèmes de train électrique.

Pour ces systèmes, il est spécifié :

« Les limites d'émission de déséquilibre de charge pour le raccordement au réseau de transport de systèmes de traction de trains électriques en courant alternatif monophasé ou biphasé seront définies après une étude spécifique préalable de la part d'Hydro-Québec pour déterminer les conditions d'acceptabilité du raccordement compte tenu des conditions du réseau considéré et des autres sources de déséquilibre de tensions susceptibles d'être présentes en réseau »

En conditions courantes, le niveau de déséquilibre de tension dû au déséquilibre de l'ensemble des charges raccordées à un réseau donné ne doit toutefois pas dépasser 0,5 % du taux de tension de composante inverse (V_- / V_1) dans le cas des réseaux à 230 kV ou à 315 kV, et 0,7% (V_- / V_1) dans le cas des réseaux de 44 kV à 161 kV inclusivement. Seulement une portion des valeurs précédentes pourra être allouée comme limite d'émission de déséquilibre pour l'alimentation d'un système de traction de train électrique selon les caractéristiques du réseau et des autres charges. »

Une fois ces limites d'émission déterminées, Hydro-Québec demande la fourniture par le client de l'étude des niveaux d'émission. Cette étude suivra les points dans ce même document aux sections :

- Les principes énoncés à la section 2.2.2.1 « Limites d'émission de déséquilibre de charge »;

- Les méthodes décrites à la section 3.7 « Niveau d'émission de déséquilibre de charge ».

7.1.4.5 Limites d'émission de déséquilibre de charge

Les limites d'émission de déséquilibre de charge à respecter pour les systèmes ferroviaires, dans les conditions courantes d'exploitation ou de fonctionnement, devront suivre les principes et les valeurs du tableau ci-dessous:

Il s'agit de taux de déséquilibre de courant ($I- / I_r$) défini par le rapport entre la composante inverse du courant de charge et le courant correspondant à la puissance de référence. Les limites sont aussi fonction de la puissance de court-circuit du réseau (S_{cc}) par rapport à la puissance de référence de l'installation du client (S_r) et sont évaluées au point de couplage de l'installation du client au réseau de transport.

Table 7.1 - Limites d'émission de déséquilibre de charge

S_{cc}/S_r	I – / I_r (en %) appelé taux de composante inverse de courant
< 20	4
≥20 et <50	7
≥50 et <100	13
≥100 et <200	20
≥ 200	30

Dans ce tableau, les valeurs représentent :

$I -$: valeur efficace de la composante inverse du courant à 60Hz dû au déséquilibre décharge de l'installation du client au point de couplage.

I_r : valeur efficace du courant de ligne correspondant à la puissance de référence (S_r) de l'installation du client évaluée à la tension nominale au point de couplage au réseau haute tension.

7.1.5 Critères de performances des installations

Ce critère déterminé en fonction du niveau de performances requis et du niveau de coûts d'investissement repose sur l'acceptabilité du défaut « n-1 » pour lequel les répercussions graves sur la régularité du trafic ne sont pas admises.

Ce critère implique qu'un élément de la chaîne du système d'alimentation se trouvant en défaut puisse :

- Être rapidement éliminé du circuit sans conséquence majeure ;

- Être remplacé dans sa fonction par un élément ou sous ensemble similaire, sans intervention immédiate sur site.

La conception du système d'alimentation de traction, garantit ce principe :

- Par la mise en œuvre de redondances actives ou passives;
- Par la mise en place d'appareillages de coupure et d'aiguillages permettant une reprise rapide du service.

7.2 CHOIX DU SYSTÈME

De ce qui précède, en regard :

- De la qualité des alimentations requises;
- Des coûts de raccordements au réseau HT;
- De la répercussion sur les coûts d'investissement;
- De la réduction des niveaux de perturbations.

Il convient de concevoir l'alimentation de la ligne de l'Est en système 2 x 25 kV – 60 Hz.

7.3 COMPARAISON AVEC LE 1 X 25 KV

Comparé au système 1 x 25 kV, le système 2 x 25 kV permet :

- Pour des volumes de trafic égaux, de diviser par 3 les chutes de tension sur la ligne et d'améliorer ainsi le rendement du circuit de traction;
- Pour des volumes de trafic égaux et pour des chutes admissibles de tension sur pantographes équivalents, de diviser par deux le nombre des sous-stations, et par conséquent les sectionnements et les « coupures de courant »;
- Pour un même nombre de sous-stations, de doubler le trafic;
- De mieux positionner les sous-stations par rapport aux lignes H.T. existantes;
- De réduire considérablement les perturbations électromagnétiques et téléphoniques touchant les riverains et les installations ferroviaires;
- De ne pas présenter de discontinuité du fil de contact au niveau des autotransformateurs, alors que dans le système avec transformateur-suceur le sectionnement au niveau de chaque transformateur entraîne des sujétions d'ordre électrique et mécanique pour la caténaire et les pantographes.

8. SOUS-STATION

8.1 PUISSANCE DE LA SOUS-STATION NÉCESSAIRE

La puissance de la sous-station nécessaire dépend du scénario envisagé.

Cette évaluation doit intégrer une possible augmentation du trafic dans un horizon 10-15 ans ou dans le scénario « électrification partielle temporaire », une possible augmentation du domaine électrifié.

La sous-station doit être dimensionnée de manière à supporter une situation dégradée de trafic. Elle correspond à une configuration obligeant les trains à se succéder à distance du block de signalisation et redémarrant en même temps. Ces redémarrages simultanés auront pour effet une demande supplémentaire de puissance appelée.

Dans l'hypothèse qu'une augmentation de trafic est rendue nécessaire dans le temps, il convient dès à présent de dimensionner les installations d'alimentation de traction avec une marge de sécurité suffisante afin d'éviter des coûts additionnels d'investissement.

8.1.1 Scénario « électrification partielle »

Dans le cas du scénario partiellement électrifié, la puissance maximale actuelle correspond à un train qui tractionne à pleine puissance (on ne considère qu'un seul train sur la voie unique), un train qui effectue des mouvements de manœuvre et au maximum à 2 trains en hôtellerie. Cette puissance maximale est de l'ordre de 10 MW.

Si le doublement de la nouvelle ligne de l'AMT (et par conséquent il n'y aura qu'un train sur la portion AMT) et l'extension de l'électrification sont improbables, une sous-station de 10 MW peut s'avérer suffisante.

Par contre si l'extension du domaine électrifié est envisageable (cas du scénario « Électrification partielle temporaire »), il est préférable de prévoir une puissance de l'ordre de 20 à 25 MVA tel qu'expliqué ci-dessous.

Dans tous les cas, la sous-station doit être localisée au début de la portion de l'AMT (vers le gardeur) pour pouvoir alimenter l'ensemble de la ligne si nécessaire.

8.1.2 Scénario « Électrification totale »

Dans le cas du scénario totalement électrifié, la puissance maximale correspond à :

- Trois trains qui tractionnent simultanément suite à une défaillance par exemple d'un train bloquant les deux autres trains;

- Trains en hôtellerie (un actuellement ou plusieurs dans le futur).

Cette puissance maximale est donc de l'ordre de $(3*4+N)$ soit $(12+N)$ MVA, N étant le nombre de trains en hôtellerie.

Il est nécessaire de prévoir une augmentation de trafic dans un horizon 10-15 ans avec la possibilité d'avoir 2 trains dans chaque direction simultanément.

En conclusion, il apparaît adapté de prévoir une puissance disponible des installations de l'ordre de 20-25 MVA pour alimenter la totalité de la section de ligne.

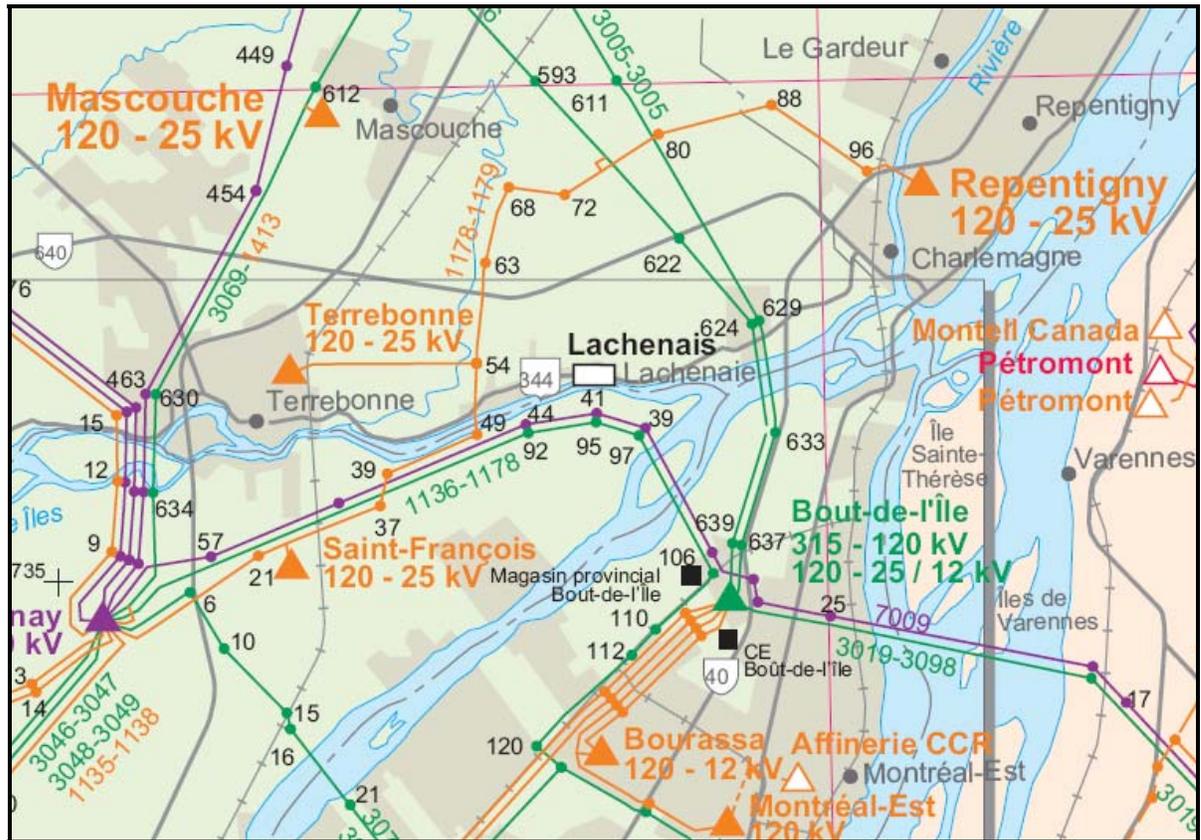
8.2 LOCALISATION ET DIMENSION DE LA SOUS-STATION

Afin de créer la sous-station, il est nécessaire pour définir l'implantation de respecter plusieurs critères :

- Proximité immédiate de la future voie ferrée;
- Proximité d'une ligne Hydro-Québec capable de délivrer la tension et la puissance requise;
- Surface de terrain libre pour la construction de la sous-station;

La carte ci-dessous présente les lignes d'Hydro-Québec existantes sur le tracé de la future électrification.

Table 8.1– Réseau Hydro-Québec¹



8.2.1 Scénarios « Électrification partielle »

L'électrification partielle nécessitera l'implantation d'une sous-station sur la portion de ligne qui sera électrifiée dans une première étape. Cependant, la situation de cette sous-station devra être compatible avec une évolution vers une électrification totale (dans le cas du scénario « Électrification partielle temporaire »).

Il existe plusieurs possibilités de lieux de raccordement sur le réseau², elles devront être étudiées par Hydro-Québec afin de valider la faisabilité et le coût:

- Raccordement sur la ligne (Orange) de 120 - 25 kV (Entre les postes de St Francois et Repentigny). La sous-station serait implantée au croisement entre la voie ferrée (située le long de l'autoroute 640) et la ligne Hydro-Québec (entre les points 54 et 63). Cependant, cette alimentation semble présenter l'inconvénient d'être une alimentation en bout de ligne Hydro-Québec non secourable en cas de rupture de l'alimentation. Elle serait située à 10 km d'une extrémité de la voie ferrée et à 30 km de l'autre;

¹ Source : Extrait de la carte « Boucle à 735 kV de Montréal » éditée en 2000 par TransÉnergie.

² Ces lieux ont été définis à partir de la carte et non pas encore été revus par Hydro-Québec.

- Raccordement sur la ligne (verte) de 315-120 kV (Poste Bout de l'Île). La sous-station serait implantée au croisement entre la voie ferrée (située le long de l'autoroute 640) et la ligne Hydro-Québec (au point 622 pour la ligne HQ). Cette implantation permettrait d'être en extrémité de la première partie électrifiée et de pouvoir envisager une évolution plus aisée vers une électrification totale;
- Raccordement sur la ligne (verte) de 120-25/12 kV (Poste Bout-de-l'Île). La sous-station serait implantée au croisement entre la voie ferrée (située le long de l'autoroute 640) et la ligne Hydro-Québec (entre les points 629 et 611). Comme la solution précédente, cette implantation permettrait d'être en extrémité de la première partie électrifiée et de pouvoir envisager une évolution plus aisée vers une électrification totale.

8.2.2 Scénario « Électrification totale »

Il existe deux postes aux alentours du milieu de ligne: Le poste Bourassa connecté à des lignes de 120 kV et le poste de Bout-de-l'Île connecté à des lignes de 120 et de 315 kV (comme le poste de Saraguay qui alimente la sous-station de Salaberry).

Hydro-Québec, compte tenu des travaux prévus au poste de Bout-de-l'Île, privilégie une connexion au niveau du poste de Bourassa.

8.3 COMMANDE, CONTRÔLE DES ÉQUIPEMENTS

Les installations de traction électrique devront être gérées à partir d'une commande centralisée qui comprendra les équipements de commande, de contrôle et de surveillance de la ligne de traction électrique.

Il existe actuellement un poste de type SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) qui gère la ligne Montréal/Deux-Montagnes. Ce poste reprendra la gestion électrique de la nouvelle ligne Montréal-Repentigny.

Les avantages sont :

- Vision complète du réseau;
- Agents déjà formés à la conduite de réseau de traction électrique;
- Gestion simplifiée des consignations caténaire;
- Bâtiment existant.

9. ÉLÉMENTS ENTRANT DANS LE CALCUL DE COÛT

9.1 DÉCOUPAGE EN SECTIONS DE COÛT

Chaque sous-système est divisé en sections d'estimation correspondant aux différents métiers intervenant sur le projet, d'une part, et aux services au projet, soit :

- Services professionnels / Gestion de projet qui contient des éléments communs à tous les sous-systèmes, soit :
 - Frais d'ingénierie ;
 - Surveillance de construction ;
 - Approvisionnement ;
 - Gestion de projets.
- Opérations liées aux travaux qui comprend l'expertise et la surveillance des environnants, les acquisitions pour la construction de la sous-station et les emprises pour installations de chantier temporaires;
- Équipement / matériaux;
- Construction / installation est la section la plus importante pour les travaux. Elle contient un grand nombre de postes de coûts propres à chaque sous-système;
- Coûts postérieurs à la construction comprend les postes de coûts pour la mise en service du système incluant la formation, le transfert d'expertise et les essais.

Table 9.1– Section de coût

N°	UNITÉ	CONTENU DES PRIX	
1 : SERVICES PROFESSIONNELS / GESTION DE PROJET			
	Frais d'ingénierie	%	Ce prix est un pourcentage des sections auxquelles il se rapporte
	Surveillance de construction	%	Ce prix est un pourcentage des sections auxquelles il se rapporte
	Approvisionnement	%	Ce prix est un pourcentage des sections auxquelles il se rapporte
	Étude environnementale	forfait	Coût des études d'insertion des ouvrages dans le site
	Gestion de projet	%	Ce prix est un pourcentage des sections auxquelles il se rapporte.
SECTION : OPÉRATIONS LIÉES AUX TRAVAUX			
	Acquisitions / locations d'immeubles	forfait	Couvre toutes les opérations immobilières liées au projet
	Emprises et installation de chantier	forfait	Frais engagés pour les occupations de chantier et les installations des personnels d'encadrement
SECTION 3 : ÉQUIPEMENT/ MATERIAUX			
SOUS-SYSTÈME – Alimentation			
	Sous-stations	unité	Tout équipement requis
	Postes de traction	unité	Tout équipement requis
	Retour de courant de traction	m	Tout équipement requis
	Modification du poste SCADA	unité	Tout équipement requis

N°		UNITÉ	CONTENU DES PRIX
SOUS-SYSTÈME – Ligne de traction			
	Support de caténaire et armement	m lin	Tout équipement requis
	Ligne de contact	m lin	Tout équipement requis
	Raccordement de la nouvelle ligne de traction sur celle de la ligne Montréal/Deux-Montagnes.	unité	Tout équipement requis
SOUS-SYSTÈME – Protection des structures et équipements			
	Réalisation des conducteurs de protection	m	Tout équipement requis
	Raccordement des structures et liaisons de protection	Unité	Tout équipement requis
SOUS-SYSTÈME – Signalisation			
	Modification de la Signalisation existante	forfait	Tout équipement requis
	Signalisation liée à la traction électrique	forfait	Tout équipement requis
SECTION 4 : CONSTRUCTION / INSTALLATION			
SOUS-SYSTÈME – Réseau HQ			
	Étude d'émission des installations entre 44 et 315 kW raccordées au réseau HQ	Unité	Étude complète avec émission du rapport. Voir Chapitre 9.2
	Enfouissement / rehaussement de lignes aériennes	m	Réalisation complète des travaux comprenant les études, le suivi et la réalisation.
	Alimentation de la sous-station depuis le réseau.	m	Réalisation complète des travaux comprenant les études, le suivi et la réalisation. Voir Chapitre 9.4
SOUS-SYSTÈME – Alimentation			
	Alimentation de la ligne de traction partie ferroviaire	unité	Installation complète du système y compris les vérifications, essais et mise en service. Voir Chapitre 9.5
	Retour de courant de traction	m	Installation complète du système y compris les vérifications, essais et mise en service. Voir Chapitre 9.6
	Modification du poste SCADA	unité	Modification complète du système y compris les vérifications, essais et mise en service. Voir Chapitre 9.7
SOUS-SYSTÈME – Ligne de traction			
	Support de caténaire et armement	m lin	Installation complète du système y compris les vérifications, essais et mise en service. Voir Chapitre 9.8
	Ligne de contact	m lin	Installation complète du système y compris les vérifications, essais et mise en service. Voir Chapitre 9.8
	Raccordement sur la ligne Montréal/Deux-Montagnes.	unité	Modification complète du système y compris les vérifications, essais et mise en service. Voir Chapitre 9.9
SOUS-SYSTÈME – Protection des structures et équipements			
	Réalisation des conducteurs de protection	m	Installation complète du système y compris essais Voir Chapitre 9.10
	Raccordement des structures et liaisons de protection	Unité	Installation complète du système y compris essais Voir Chapitre 9.10
SOUS-SYSTÈME – Signalisation			
	Modification de la Signalisation existante	forfait	Modification complète du système y compris les vérifications, essais et mise en service. Voir Chapitre 9.11
	Signalisation liées a la traction électrique	forfait	Installation complète du système y compris les vérifications, essais et mise en service. Voir Chapitre 9.12

N°		UNITÉ	CONTENU DES PRIX
SECTION 5 : COÛTS POSTÉRIEURS À LA CONSTRUCTION			
	Pièces pour entretien	%	Pourcentage sur le montant du chapitre concerné
	Outillage spécialisé	forfait	Ensemble d'outillage des installations du chapitre concerné
	Équipement d'entretien	forfait	Ensemble du matériel d'entretien des installations du chapitre concerné
	Formation et transfert d'expertise	pers/mois	Frais de formation des nouveaux personnels
	Salaires d'entretien des matériels avant exploitation	pers/mois	Frais de personnels affectés à l'entretien avant mise en service

9.2 ÉTUDE DE PERTURBATION DU RÉSEAU HYDRO-QUÉBEC

En respect de la réglementation « Limite d'émission des installations des clients raccordés au réseau Hydro-Québec », un rapport concernant les perturbations devra être fourni à HQ.

Ce rapport devra comprendre les renseignements suivants :

- Un schéma unifilaire des installations et les caractéristiques électriques principales de l'appareillage principal du client;
- Les caractéristiques électriques générales et les modes de fonctionnement des équipements perturbateurs (ex.: types de convertisseur, indices de pulsation, impédances, puissance de court-circuit, courant d'appel, cycles de charge, etc.);
- Les hypothèses ayant servi à évaluer les niveaux maxima de perturbations générées par les équipements perturbateurs doivent être identifiées et justifiées;
- Les caractéristiques électriques générales des équipements correcteurs lorsqu'il y a lieu (ex. : filtres harmoniques, démarreurs de moteurs, inductances séries de limitation, compensateurs de puissance réactive, etc.).

De plus, il devra comprendre une étude d'émission :

- D'harmoniques;
- De déséquilibre de charge;
- De variations rapides de tension;
- De papillotements.

9.3 ENFOUISSEMENT DES LIGNES AÉRIENNES

En respect des règles énoncées au paragraphe 5.1.2, les lignes aériennes ne pouvant respectées la hauteur limite au croisement de la caténaire devront être enfouies à la traversée de la voie ferrée.

En respect des règles énoncées au paragraphe 5.3.2, les lignes aériennes filaires à proximité de la voie électrifiée devront être remplacées par des câbles.

9.4 ALIMENTATION HYDRO-QUÉBEC

La construction d'une ligne d'alimentation HT par Hydro-Québec comprend :

- La construction de la ligne proprement dite,
- Le raccordement au réseau HQ existant,
- Le raccordement dans la sous-station.
- Les fournitures et études afférentes à cette construction.

Le document intitulé « Exigences Techniques pour les installations de client raccordées au réseau d'Hydro-Québec » daté de Mars 2006 et émis par Hydro-Québec définit, entre autres, la liste des informations requises des clients au cours des différentes phases de raccordement. Au cours des études subséquentes, il sera nécessaire de fournir les informations requises pour obtenir une estimation plus précise des coûts de raccordements d'Hydro-Québec.

9.5 ALIMENTATION DE LA LIGNE DE TRACTION

Le coût de l'électrification comprendra les items concernant les alimentations:

- L'achat du terrain nécessaire à la construction de la sous-station;
- La construction d'une sous-station d'alimentation des caténaires comprenant le bâtiment, les appareillages de protection et de sectionnement, les transformateurs;
- Tous les postes nécessaires à l'alimentation, au sectionnement;
- La modification du poste de gestion des alimentations (SCADA).

9.6 RETOUR DE COURANT DE TRACTION

La ligne devra être adaptée pour le passage du retour de courant de traction en créant le circuit tel que défini à l'annexe A.

- Réalisation des liaisons transversales et longitudinales,
- Modification ou remplacement des circuits de voies pour intégrer des connexions inductives,
- Réalisation d'une artère de retour de courant de traction depuis la voie jusqu'à la sous-station, etc.

9.7 MODIFICATION DU POSTE SCADA EXISTANT

Le poste SCADA, situé à Jules-Poitras devra être modifié pour pouvoir prendre en charge les nouvelles installations de traction électrique.

9.8 NOUVELLE CATENAIRE

Le coût de l'électrification comprend tous les éléments constitutifs de la ligne de contact tels qu'ils sont définis à l'annexe A :

- Les conducteurs (fils de contact, feeder, porteurs...);
- Les supports et portiques;
- Les armements;
- Les connexions;
- Les passages supérieurs routiers;
- Les sectionnements, isolateurs de section, montages d'aiguillages, etc.

9.9 ADAPTATION DE LA CATENAIRE MONTRÉAL/DEUX-MONTAGNES

Outre l'électrification des lignes décrites ci-dessus, il sera nécessaire d'adapter la caténaire de la ligne Montréal/Deux-Montagnes dans la zone de la jonction de l'Est. Cette adaptation consiste à :

- Équiper l'aiguillage de la jonction de l'Est en l'intégrant à la caténaire existante,
- Créer une section de séparation de phase pour séparer les deux alimentations;
- Étudier les perturbations nouvelles pouvant survenir en ce point.

9.10 PROTECTION DES STRUCTURES MÉTALLIQUES

Afin de garantir toutes les conditions de sécurité, les circulations de courant créant des tensions gênantes voire dangereuses, une protection doit être mise en place conformément aux principes présentés en annexe A :

- Mise en place d'un CDPA et d'un CDTE;
- Protection des structures métalliques (ouvrages d'art, passerelles, mats de signaux, clôtures..), etc.

9.11 MODIFICATION DE LA SIGNALISATION

La signalisation de la ligne devra être mise en conformité pour supporter une électrification 25000V - 60Hz. L'étude actuelle du CN prévoit une modification de la signalisation liée :

- À l'adaptation de la ligne CN aux nouvelles voies;
- À l'adaptation de la ligne CN au nouveau trafic;
- À la nouvelle portion de ligne AMT.

Les contraintes, techniques et financières, pour la signalisation seront principalement liées :

- Aux circuits de voies qui nécessiteront une adaptation (Mise en place de CI pour les circuits de voies avec joint isolant);
- À la protection des installations électriques contre les perturbations (câbles, etc.);
- À la mise en place de dispositif sur les signaux pour la sécurité pour les travailleurs, etc.

Il est à noter que les items « signalisation » et « retour de courant de traction » au niveau des circuits de voie sont étroitement liées.

9.12 SIGNALISATION SPÉCIFIQUE CATENAIRE

La ligne devra comporter une signalisation spécifique à la caténaire (signalisation de « couper courant », « fin de caténaire », « repérage des supports »...).

10. DÉLAI DE RÉALISATION

Il serait préférable, pour l'électrification de la portion de ligne AMT à construire, de réaliser ces travaux lors de la construction de la voie. Ce point est notamment important pour les travaux de génie civil qui sont plus simple à réaliser sur une ligne qui n'est pas en exploitation.

De plus, la protection des structures et les mises à la terre seraient réalisées lors des constructions d'ouvrage.

Les chapitres ci-dessous définissent succinctement les tâches afférentes à chaque phase ainsi que les documents qui doivent être produits. En parallèle de ces phases de construction de la ligne de traction, les études et les prestations concernant les parties « alimentations HT » et « perturbations » devront être réalisées.

10.1 ÉTUDE DE CONCEPTION

Cette partie comprend l'élaboration des documents suivants :

- Examen des termes de références et planification des études;
- Gabarit dynamique d'isolement du pantographe;
- Caractéristiques de la caténaire;
- Dimensionnement de l'alimentation;
- Plans de détail du matériel.

10.2 ÉTUDE D'AVANT-PROJET

Cette partie comprend l'élaboration des documents suivants :

- Schéma général d'alimentation;
- Schéma d'alimentation et de sectionnement;
- Avant-projet de piquetage;
- Report du piquetage sur site;
- Relevés des profils;
- Tournées d'implantation.

10.3 ÉTUDE D'EXÉCUTION

Cette partie comprend l'élaboration des documents suivants :

- Plans de piquetage définitif;
- Carnets de montage;
- Carnets de pendulage;
- Plans des aiguillages;
- Plans des ponts;
- Plans des postes de traction électrique;
- Listes de matériel.

10.4 MONTAGE DES APPELS D'OFFRE

Cette partie comprend l'élaboration des documents suivants :

- Cahier des clauses générales;
- Devis technique;
- Spécifications technique et normes;
- Bordereaux de prix;
- Estimation des coûts;
- Cahier des procédures de mise en service.

10.5 TRAVAUX, ESSAIS ET MISE EN SERVICE

Les travaux comprennent en particulier :

- Réalisation d'un centre de groupement pour le stockage du matériel;
- Un planning de réalisation des travaux en fonction de la durée des interceptions et en précisant les moyens mis en œuvre (trains travaux, moyens routiers...);
- Repérage et réalisation des fouilles;
- Mâtage des poteaux;
- Béton;
- Montage de l'armement;
- Déroulage des conducteurs;
- Pendulage;
- Connexions et sertissage;
- Réglage des équipements.

Les essais et la mise en service comprennent :

- Vérifications techniques des installations caténaïres
 - Respect du cahier des charges et vérification par rapport aux études d'exécution ;
 - Vérification de la géométrie du plan de contact (hauteur et désaxement du fil de contact) ;
 - Vérifications des distances d'isolement.

- Vérifications électriques :
 - Mesure d'isolement et de la continuité électrique section élémentaire par section élémentaire puis secteur par secteur ;
 - Vérification du retour traction et du circuit de protection ;
 - Vérifications d'ordre exploitation : vérification et remise des consignes d'exploitation ;
 - Vérification de la performance : validation dynamique ;
 - Mise sous tension électrique.

10.6 ÉLECTRIFICATION COMPLÈTE

Table 10.1 – Délai de réalisation pour l'électrification complète

	Délai	Remarque
Phase-Projet		
Étude de conception	3 mois	Chapitre 10.1
Phase avant projet	2 mois	Chapitre 10.2
Phase étude d'exécution	4 mois	Chapitre 10.3
Montage des appels d'offre et choix des prestataires	3 mois	Chapitre 10.4
Phase-Réalisation		
Phase définitive de réalisation + Commande du matériel et livraison	1 an à 2 ans	Le délai de livraison de certains matériels peut atteindre 2 ans : - Transformateurs - Matériel spécifique pour les ouvrages d'art.
Travaux / mise en service	8 mois à 1 an	

Notons que les deux phases de la réalisation peuvent se faire, en partie, en parallèle.

10.7 ÉLECTRIFICATION PARTIELLE

Table 10.2 – Délai de réalisation pour l'électrification partielle

	Délai	Remarque
Phase-Projet		
Étude de conception	2 mois	Chapitre 10.1
Phase avant projet	1 mois	Chapitre 10.2
Phase étude d'exécution	3 mois	Chapitre 10.3
Montage des appels d'offre et choix des prestataires	2 mois	Chapitre 10.4
Phase-Réalisation		
Phase définitive de réalisation + Commande du matériel et livraison	1 an à 2 ans	Le délai de livraison de certains matériels peut atteindre 2 ans : - Transformateurs - Matériel spécifique pour les ouvrages d'art.
Travaux / mise en service	6 mois à 9 mois	

11. COMPARAISON DES DÉPENSES EN CAPITAL ET OPÉRATIONNELLES

11.1 ESTIMATION DES DÉPENSES EN CAPITAL EN FONCTION DES SCÉNARIOS D'ÉLECTRIFICATION

L'estimation de coût présentée ci-dessous n'est effectuée qu'avec une précision de 40%. Il ne s'est pas avéré nécessaire de décomposer en postes de coûts tel que présenté dans le chapitre précédent. Cette estimation a été réalisée en prenant en compte les informations de projets réalisés dans d'autres pays.

11.1.1 Dépenses en capital du scénario « Électrification totale »

Table 11.1 - Coûts du scénario « Électrification totale » en \$ 2008

DÉPENSES EN CAPITAL : OPTION ÉLECTRIFICATION TOTALE \$ 2008				
	unité	Nb	coût unitaire (k\$)	Total (k\$)
Infrastructures				
Évaluation détaillée pour Hydro-Québec	nb	1	400	400
Sous-station	nb	1	12000	12 000
Achat terrain	m2	3000	0.16	480
Raccordement H-Q	nb	1	9000	9 000
Poste J	nb	3	600	1 800
Poste Sect. 2x 25 kV	nb	1	650	650
Poste 1x 25 kV	nb	2	160	320
Poste A	nb	1	130	130
Caténaire sur ligne totalement nouvelle	km	13.2	300	3 960
Caténaire sur ligne existante ou modernisée	km	25.5	330	8 415
Caténaire sur ponts métallique	km	0.7	660	462
Caténaire sur double voie	km	4	580	2 320
Garage	nb	1	520	520
Coût additionnel de Modification de la signalisation pour la rendre compatible avec l'électrification	nb	1	7500	7 500
Provision pour Modification des câbles existants (enfouissement, détournement)	nb	1	1000	1 000
SCADA	nb	1	300	300
Services professionnels	nb			4 900
A) SOUS TOTAL INFRASTRUCTURE				54 200
Locomotives				
Locomotives bi-modes		4	10 000	40 000
B) SOUS TOTAL LOCOMOTIVES				40 000
TOTAL (en k\$)				94 200

11.1.2 Électrification partielle temporaire

Table 11.2 - Coût du scénario « Électrification partielle temporaire » en \$ 2008

DÉPENSES EN CAPITAL : OPTION ÉLECTRIFICATION PARTIELLE TEMPORAIRE \$ 2008				
	unité	Nb	coût unitaire (k\$)	Total (k\$)
Infrastructures				
Évaluation détaillée pour Hydro-Québec	nb	1	200	200
Sous-station	nb	1	12000	12 000
Achat terrain	m2	2500	0.16	400
Raccordement H-Q	nb	1	9000	9 000
Poste J	nb	1	600	600
Poste Sect. 2x 25 kV	nb	0	650	0
Poste 1x 25 kV	nb	1	160	160
Poste A	nb	1	130	130
Caténaire sur ligne totalement nouvelle	km	13.3	300	3 990
Caténaire sur ligne existante	km	0.3	330	99
Garage	nb	1	520	520
Coût additionnel de modification de la signalisation pour la rendre compatible avec l'électrification	nb	1	1200	1 200
Provision pour modification des câbles existants (enfouissement, détournement)	nb	1	300	300
SCADA	nb	1	100	100
Services professionnels	nb			2 900
A) SOUS TOTAL INFRASTRUCTURE				31 600
Locomotives				
Locomotives bi-modes		4	10 000	40 000
B) SOUS TOTAL LOCOMOTIVES				40 000
TOTAL (en k\$)				71 600

11.1.3 Électrification partielle permanente

Les hypothèses de ce scénario sont les suivantes :

- Caténaire de type 1*25 kV sur toute la longueur de la voie électrifiée;
- Puissance de la sous-station limitée à 10 MVA.

Table 11.3 - – Coûts du scénario « Électrification partielle permanente » en \$ 2008

DÉPENSES EN CAPITAL: OPTION ÉLECTRIFICATION PARTIELLE PERMANENTE \$ 2008				
	unité	Nb	coût unitaire (k\$)	Total (k\$)
Infrastructures				
Évaluation détaillée pour Hydro-Québec	Nb	1	200	200
Sous-station	Nb	1	9000	9 000
Raccordement H-Q	nb	1	9000	9 000
Achat terrain	m2	2500	0.16	400
Caténaire 1*25 kV (environ 30% moins cher que du 2*25 kV)	nb	1	3500	4 000
Coût additionnel de modification de la signalisation pour la rendre compatible avec l'électrification	nb	1	1200	1 200
Provision pour modification des câbles existants (enfouissement, détournement)	nb	1	300	300
SCADA	nb	1	100	100
Services professionnels	nb			2 500
A) SOUS TOTAL INFRASTRUCTURE				26 700
Locomotives				
Locomotives bi-modes		4	10 000	40 000
B) SOUS TOTAL LOCOMOTIVES				40 000
TOTAL (en k\$)				66 700

Table 11.4 - Aucune électrification en \$ 2008

DÉPENSES EN CAPITAL: OPTION AUCUNE ÉLECTRIFICATION \$ 2008				
	unité	Nb	coût unitaire (k\$)	Total (k\$)
Infrastructures				
Alimentation pour auxiliaire en gare de Mascouche	nb	1	700	700
Services professionnels	nb			100
A) SOUS TOTAL INFRASTRUCTURE				800
Locomotives				
Locomotives bi-mode		4	10 000	40 000
B) SOUS TOTAL LOCOMOTIVES				40 000
TOTAL (en k\$)				40 800

11.1.4 Justification des dépenses en capital

11.1.4.1 Estimation des coûts des installations d'électrification

Les estimations sont basées sur des coûts de projets similaires réalisés dans le monde entier. Pour ce qui concerne les deux ponts de la rivière des prairies (longueur totale de l'ordre de 700 m), le coût linéaire d'électrification a été doublé en raison de l'équipement spécifique et des protections électriques des structures requis.

11.1.4.2 Estimation des coûts de locomotives

Le coût des locomotives est de l'ordre de 10 millions de \$ conformément au contrat passé à Bombardier par l'AMT et annoncé le 18 août 2008.

11.1.4.3 Estimation des coûts additionnels pour la signalisation

Une estimation des coûts de modernisation des installations de signalisation a été réalisée par le CN et par la société Hatch. Pour la partie appartenant au CN, le coût est estimé à 19 millions \$ et sur la partie de voie appartenant à l'AMT, il est de l'ordre de 3.6 millions \$.

Comme indiqué par ailleurs, l'électrification requiert une modification additionnelle de la signalisation. Le surcoût associé est généralement de l'ordre de 33%, soit environ 6.3 millions \$ sur les subdivisions de CN et 1.2 millions \$ sur la nouvelle voie de l'AMT.

11.1.4.4 Estimation des coûts de raccordement à Hydro-Québec

Ce poste de coût est celui qui demanderait à être précisé pour trois raisons principales :

- Il représente une partie importante du coût total d'infrastructure;
- Les coûts finaux estimés pour les scénarios avec électrification partielle et pour celui avec électrification totale seront distincts et influenceront le choix entre ces scénarios;
- Hydro-Québec peut facilement réaliser cette estimation.

Dans le protocole d'entente entre le distributeur et le transporteur au sein d'Hydro-Québec aucun coût n'est fourni lors de l'étude exploratoire. Les estimations de coût sont fournies à l'étape de l'étude de planification. Une demande a néanmoins été envoyée au transporteur pour obtenir une évaluation très sommaire des coûts de raccordement au réseau en dehors d'une étude de planification. Aucune évaluation n'a été reçue.

11.1.4.5 Estimation des coûts des sous-stations

La société SIEMENS nous a communiqué le coût d'une sous-station en fonction de sa puissance :

- De l'ordre de 13.5 millions de \$ pour 30 MVA;
- De l'ordre de 11 millions de \$ pour 20 MVA;
- De l'ordre de 9 millions de \$ pour 10 MVA.

Pour une sous-station de l'ordre de 25 MVA, le coût a été estimé à 12 millions de \$.

11.2 DÉPENSES OPÉRATIONNELLES ET DE MAINTENANCE

11.2.1 Consommation d'énergie

La consommation d'énergie d'une rame se décompose en deux parties :

- L'énergie nécessaire à l'alimentation des auxiliaires (chauffage, climatisation, éclairage, etc.);
- L'énergie nécessaire à la traction.

11.2.2 Consommation des auxiliaires

11.2.2.1 Charge maximale

La charge maximale représente en théorie la consommation d'une voiture lorsque tous les systèmes sont en opération simultanément au maximum de leur capacité. Ceci représente le cas où tous les éléments de chauffage seraient en fonction, toutes les lumières seraient allumés et tous les autres systèmes électriques (chargeur de batteries, communications, freinage, portes, etc.) seraient en opération.

La consommation maximale en hiver est de l'ordre de 100 kW incluant la pleine capacité de chauffage et tous les autres systèmes et de 40 kW en climatisation.

Table 11.5 - Charges maximales considérées

Voitures	Chauffage max. et autre charges	Climatisation max. et autres charges
Voitures deux Niveaux	100 kW	40 kW

11.2.2.2 Variations saisonnières

Le chauffage en hiver et la climatisation en été constituent évidemment la plus grande partie de cette charge maximale. Pour maintenir la température intérieure des voitures stable, le système de chauffage est plus sollicité lors des mois les plus froids de l'hiver et beaucoup moins à mesure qu'on avance vers le printemps. De la même manière, le système de climatisation est plus sollicité en juillet et août qu'en juin.

Afin de tenir compte de ces variations saisonnières de charge, nous avons introduit un pourcentage qualitatif d'utilisation de la capacité maximale de chauffage ou de climatisation en fonction des valeurs mensuelles de températures moyennes à l'aéroport de Dorval. On considère que les charges autres que le chauffage ou la climatisation sont incluses dans ce pourcentage. Par exemple, 10% de la charge maximale en chauffage au cours du mois de mai inclus la consommation pour l'éclairage et les autres systèmes électriques.

Table 11.6 - Températures moyennes et % de charge maximale

Mois	Température Moyenne	% Charge maximale
Janvier	- 10,4 °C	80 % chauffage
Février	- 8,9 °C	75 % chauffage
Mars	- 2,4 °C	60 % chauffage
Avril	5,7 °C	45 % chauffage
Mai	13,3 °C	10 % chauffage
Juin	17,9 °C	60 % climatisation
Juillet	20,9 °C	80 % climatisation
Août	19,5 °C	80 % climatisation
Septembre	14,4 °C	10 % chauffage
Octobre	7,9 °C	40 % chauffage
Novembre	1,6 °C	50 % chauffage
Décembre	- 6,6 °C	70 % chauffage

11.2.2.3 Charge moyenne

À partir de ces données et de la charge maximale considérée, il a été déterminé la moyenne:

- du pourcentage de la charge maximale durant les mois de période de chauffage;
- du pourcentage de la charge maximale durant les mois de période de climatisation;
- de la charge par voiture.

Table 11.7 - Charge moyenne

Mois	Chauffage	Climatisation
% moyen	50%	75%
Nombre de mois par an	9	3
Charge maximale par voiture	100 kW	40 kW
Charge moyenne considérée par voiture	44 kW	

La charge moyenne considérée par voiture est de l'ordre de 44 kW.

11.2.2.4 Conversion en cas de mode Diesel

Dans le mode diesel, cette consommation d'énergie en kW doit être convertie en taux de consommation de carburant (en gallons par heure) du groupe électrogène requis pour produire l'énergie électrique. L'exemple du groupe électrogène des F59PHI utilisé pour les rames de Blainville et Dorion a été pris en compte. La consommation de carburant (en gallons US) est obtenue par une interpolation linéaire des valeurs du tableau suivant.

Table 11.8 – Caractéristiques de consommation de la F59PHI

HEP F59

↓

GEN W/F EKW	PERCENT LOAD	ENGINE POWER BHP	ENGINE BMEP PSI	FUEL RATE LB/BHP- HR	FUEL RATE GPH	INTAKE MFLD TEMP DEG F	INTAKE MFLD P IN-HG	INTAKE AIR FLOW CFM	EXH MFLD TEMP DEG F	EXH STACK TEMP DEG F	EXH GAS FLOW CFM
600.0	100	896	239	0.363	46.4	195.4	55.4	1,889.3	1,237.1	972.0	5,244.2
540.0	90	805	215	0.359	41.3	191.7	47.4	1,730.4	1,179.1	938.5	4,679.2
480.0	80	717	191	0.355	36.4	188.8	40.4	1,585.6	1,122.8	905.9	4,184.8
450.0	75	674	180	0.352	33.9	187.5	37.2	1,515.0	1,095.4	890.1	3,958.8
420.0	70	631	168	0.351	31.6	186.3	33.9	1,444.4	1,068.4	874.8	3,736.3
360.0	60	546	146	0.350	27.3	184.1	27.8	1,310.2	1,015.3	844.3	3,309.0
300.0	50	462	123	0.350	23.1	182.3	22.2	1,183.0	963.0	814.3	2,909.9
240.0	40	381	102	0.361	19.7	180.9	17.1	1,070.0	898.7	770.5	2,532.1
180.0	30	297	79	0.379	16.1	179.6	12.5	960.6	819.5	712.0	2,161.3
150.0	25	255	68	0.393	14.3	179.1	10.3	911.1	774.3	676.9	1,984.7
120.0	20	212	56	0.411	12.4	178.5	8.4	865.2	717.4	631.9	1,811.6
60.0	10	124	33	0.489	8.7	177.6	5.0	791.0	581.9	522.9	1,479.7

Le résultat donne une équivalence de 1 litre/heure pour 3.45 kW

11.2.2.5 Consommation

En multipliant la puissance en litre par heure (mode diesel) ou en kW (mode électrique) par le temps de fonctionnement de l'alimentation auxiliaire sur une année pour l'ensemble des rames on obtient la consommation de carburant ou électrique par an.

L'étude consiste à déterminer les différences de coûts de consommation entre les scénarios. La consommation des auxiliaires en stationnement à la gare Centrale et entre la gare Centrale et la jonction de l'Est n'a pas été évaluée puisque cette consommation est identique pour tous les scénarios.

La consommation annuelle des auxiliaires pour les rames de Repentigny sur la portion Jonction de L'Est- début de la voie de l'AMT est le produit des valeurs suivantes :

- Nombre de voitures;
- Charge moyenne d'une voiture;
- Temps de parcours moyen entre la Jonction de l'Est et le début de la voie de l'AMT;

Des calculs identiques sont effectués sur la portion de voie appartenant à l'AMT et au site de garage du Mascouche;

Pour le site du garage de Mascouche, les rames sont en mode remisage. Dans ce mode, la consommation maximale est réduite de moitié. L'hypothèse a été faite que la consommation également est réduite de moitié;

Tous les résultats ont été ramenés à une consommation mensuelle.

Table 11.9 - Consommation mensuelle sur les différents tronçons en fonction du scénario

Tronçons	Consommation mensuelle pour l'ensemble des voitures en litres de diesel pour les auxiliaires		
	Électrification totale (l)	Électrification partielle (l)	Aucune électrification (l)
Jonction de l'Est- Début de la portion l'AMT	0	12 856	12 856
Portion AMT	0	0	4 285
Site de garage Mascouche	0	0	0
Total	0	12 856	17 141

Tronçons	Consommation mensuelle pour l'ensemble des voitures en kWh pour les auxiliaires		
	Electrification totale (kWh)	Electrification partielle (kWh)	Aucune électrification (kWh)
Jonction de l'Est- Début de la portion l'AMT	44 352	0	0
Portion AMT	14 784	14 784	0
Site de garage Mascouche	417 560	417 560	417 560
Total	476 696	432 344	417 560

11.2.3 Consommation d'énergie pour la traction

Des simulations ont été réalisées en utilisant le logiciel TPC de Railsim. Le résultat des simulations sont présentées en Annexe C. Pour ces simulations, la consommation des auxiliaires a été mise à zéro (les consommations des auxiliaires ont été prises en compte dans le chapitre précédent).

La consommation a été calculée pour les deux sens de circulations. Le tableau ci-après présente la consommation entre la jonction de l'Est et Mascouche.

Table 11.10 – Consommation d'énergie

	ÉLECTRIFICATION TOTALE (kWh)	ÉLECTRIFICATION PARTIELLE (partie électrique-kWh)	ÉLECTRIFICATION PARTIELLE (partie diesel-litres)	AUCUNE ÉLECTRIFICATION (litres)
Consommation moyenne Mascouche-jonction de l'Est (traction) pour un sens	1649	574	193	289
Nombre aller-retour en jour de semaine	12	12	12	12
Nombre aller-retour en fin de semaine	0	0	0	0
Nombre jours d'exploitation en semaine	252	252	252	252
Nombre jours d'exploitation en fin de semaine	0	0	0	0
Consommation traction mensuelle	831 096	289 296	97 272	145 656

11.2.4 Coût de l'électricité

Les tarifs d'Hydro-Québec applicables à la sous-station et en gare de Mascouche (pour l'alimentation des auxiliaires si la cour n'est pas électrifiée) seront soit le tarif M soit le tarif L. Le tarif dépend de la puissance nécessaire comme indiqué dans le tableau suivant.

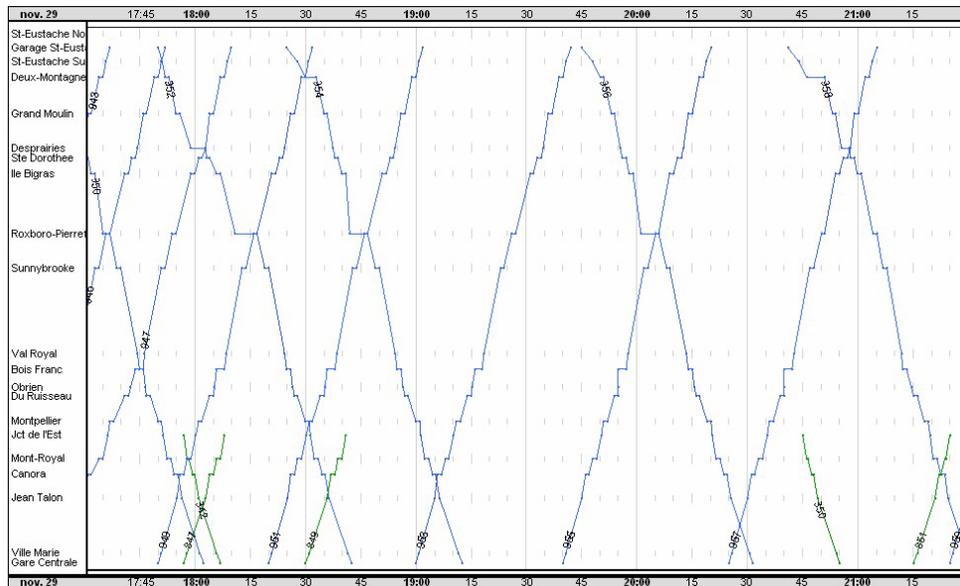
Table 11.11 - Coût de l'électricité

	Tarif M	Tarif L
Domaine d'application	100 kW à 5 MW	Supérieur à 5 MW
Coût mensuel du kW souscrit	13.44 \$	12.18 \$
Coût du kWh	0.448 \$ pour les premiers 10.000 kWh et 0.0293 \$ pour les suivants	0.0291 \$
Crédit d'alimentation en haute tension par kW souscrit	1.995 \$ pour une alimentation comprise entre 50 et 80 kV ; 2.451 \$ entre 80 kV et 170 kV et 3.285 \$ à 170 kV.	
Rajustements pour perte de transformation par kW souscrit	0.1530 \$	

La puissance à souscrire dépend du nombre de train qui sont simultanément en exploitation. Des simulations avec un logiciel spécialisé seraient nécessaires pour évaluer précisément la puissance maximale requise. Au stade actuel de l'étude, il a été établi une comparaison avec la ligne Montréal/Deux-Montagnes afin d'estimer la puissance nécessaire à souscrire.

Sur la ligne Montréal/Deux-Montagnes la puissance demandée par les trains est généralement maximale lors de l'heure de pointe de fin de journée à 17h45. À cette heure, comme représenté dans le diagramme de circulation suivant, deux trains circulent simultanément vers la gare Centrale et deux trains vers Deux-Montagnes (les trains en vert sont les nouveaux trains de Repentigny).

Table 11.12- Graphique de circulation en après-midi sur la ligne Montréal/Deux-Montagnes



Sur la ligne entre la Jonction de l'Est et Repentigny, le nombre maximal de rames qui circulent simultanément est :

- Trois circulations entre la jonction de l'Est et la gare de Mascouche. Cette configuration a lieu entre 7h37 et 8h07 (voir partie ombragée en rouge du graphique de circulation suivant) avec deux trains en direction de la gare Centrale et un train vers Mascouche. En pointe d'après-midi cette configuration se répète entre 17h18 et 17h44 et entre 17h57 et 18h07;
- Une seule circulation sur la voie de L'AMT (qui est une voie unique).

Table 11.13 - Graphique de circulation en avant-midi sur la ligne Montréal-Mascouche

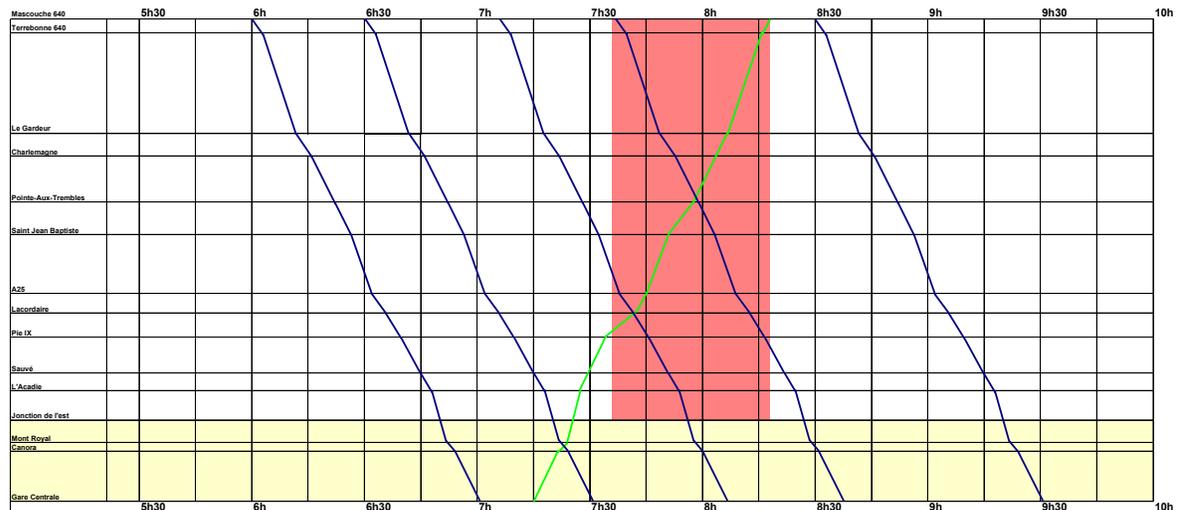
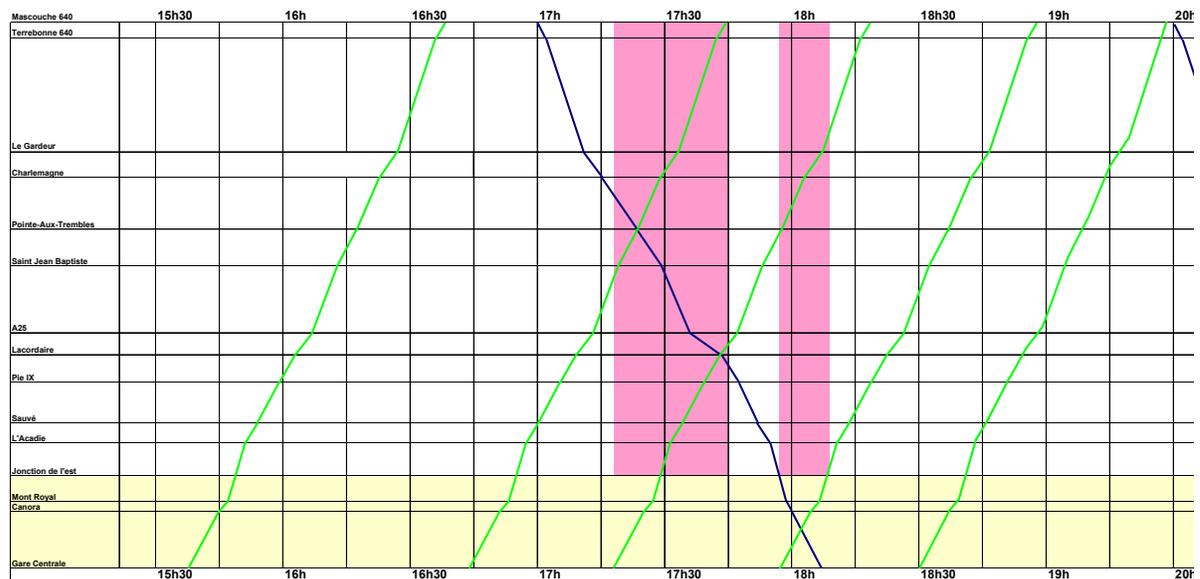


Table 11.14 – Graphique de circulation en après-midi sur la ligne Montréal-Mascouche



D'après les courbes d'effort de traction des MR90, l'effort de traction maximal est de 22.500 lbs et le point de décrochage a lieu à 30 M/pH, ce qui équivaut à une puissance maximale de 1350 kW. La puissance maximale de traction d'une rame de la ligne Montréal/Deux-Montagnes, composée de 5 éléments motorisés (chacun composé de 2 caisses) est donc de l'ordre de 6650 kW. À cette puissance vient s'ajouter la puissance des auxiliaires de l'ordre de 700 kW soit un total de l'ordre de 7300 kW.

La puissance moyenne maximale sur 15 minutes (correspondant à la puissance facturée) pour la ligne Montréal-Deux-Montagnes, indiquée dans les factures d'Hydro-Québec du mois d'août 2008, est :

- De l'ordre de 7320 kW les jours de semaines;
- De l'ordre de 2500 kW le samedi (un seul train en circulation);
- De l'ordre de 3300 kW le dimanche (deux trains en circulation simultanément).

En extrapolant ce résultat, on peut estimer que la puissance à souscrire sera de l'ordre de :

- 4000 kW dans le scénario d'électrification totale sur la ligne Montréal-Mascouche puisqu'il n'y a que trois trains circulant simultanément et que la puissance maximale d'un train est de l'ordre de 5000 kW (au lieu de 7300 kW);
- 2 500 kW dans les scénarios d'électrification partielle sur la ligne Montréal-Mascouche considérant qu'il n'y a qu'un seul train en circulation.

Si le garage n'est pas électrifié, les rames seront alimentées en 480 V. La puissance à souscrire correspondra au maximum de consommation des 4 rames en mode remisage soit environ 2000 kW (50% de la puissance maximale des 4 rames).

Table 11.15 – Estimation des coûts mensuels d'énergie de traction et d'auxiliaire

	ÉLECTRIFICATION TOTALE	ELECTRIFICATION PARTIELLE – toutes variantes	AUCUNE ELECTRIFICATION
kW souscrits	4000	2500	2000
Coût mensuel du kW souscrit (\$)	13.44	13.44	13.44
Rajustement pour perte de transformation par kW souscrit (\$)	0.153	0.153	0.153
Crédit d'alimentation du kW souscrit (\$)	2.451	1.995	1.995
kWh (traction+auxiliaire)	1 030 760	625 208	417 560
Coût mensuel du kWh <10.000 kWh (\$)-	0.0448	0.0448	0.0448
Coût mensuel du kWh <10.000 kWh (\$)	0.0291	0.0291	0.0291
Litres consommés (auxiliaire, l)	0	12 856	12 856
Litres consommés (traction, l)	0	64 848	97 104
Coût du litre gazole (\$)	1.10	1.10	1.10
Crédit pour diesel utilisé pour les auxiliaires (\$)	0.04	0.04	0.04
Total coût énergie traction + auxiliaire (\$) mensuel	73 964	131 927	155 679

11.2.5 Coût d'opération du SCADA

Le nombre d'opérateur du SCADA n'étant pas augmenté, le coût d'opération du SCADA est identique pour tous les scénarios. La gestion de la ligne restera centralisée à Jules-Poitras avec le même opérateur que celui de la ligne Montréal/Deux-Montagnes.

11.3 COÛT DE MAINTENANCE

11.3.1 Ligne de traction et alimentation

La ligne de traction électrique et son alimentation, nécessitent une maintenance. Cette maintenance est composée des opérations suivantes :

- Opérations de maintenance préventive;
- Opérations de maintenance corrective;
- Opérations de surveillance;
- Vérifications techniques;
- Petits entretiens;
- Intervention ponctuelle;
- Révision périodique précédée d'une visite détaillée;
- Remplacement de fil de contact;
- Tournées :
 - d'environnement;
 - en cabine de conduite;
 - d'intempéries;
 - de détection d'incident;
 - du superviseur.

Toutes ces opérations de maintenance sont estimées à 2% du coût de la ligne de traction et de son alimentation.

11.3.2 Locomotives

Les coûts annuels de maintenance des locomotives sont estimés à :

- 140.000 \$ par an;
- 360.000 \$ additionnels tous les 8 ans pour réaliser une révision générale.

11.4 COMPARAISON DES DÉPENSES EN CAPITAL ET OPÉRATIONNELLES

Les estimations des dépenses en capital et opérationnelles ont été combinées pour générer les flux monétaires pour une année de construction et **30 années d'exploitation**. Le tableau ci-dessous montre les flux monétaires pour les neuf premières années pour les différents scénarios.

11.4.1 Électrification totale

Table 11.16 - Électrification totale

	ANNÉE									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DÉPENSES EN CAPITAL										
Infrastructure – électrification (k\$)	54 200									
Locomotives bi-modes (k\$)	40 000									
DÉPENSES OPÉRATIONNELLES ET DE MAINTENANCE										
Coût d'énergie (k\$)		888	888	888	888	888	888	888	888	888
Maintenance caténares - sous-stations (k\$)		1 084	1 084	1 084	1 084	1 084	1 084	1 084	1 084	1 084
Maintenance locomotives (k\$)		560	560	560	560	560	560	560	2 000	560
Total des dépenses (en k\$ 2008)	94 200	2 532	3 972	2 532						

11.4.2 Électrification partielle temporaire

Table 11.17 - Électrification partielle temporaire

	ANNÉE									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DÉPENSES EN CAPITAL										
Infrastructure – électrification (k\$)	31 600									
Locomotives bi-modes (k\$)	40 000									
DÉPENSES OPÉRATIONNELLES ET DE MAINTENANCE										
Coût d'énergie (k\$)		1 583	1 583	1 583	1 583	1 583	1 583	1 583	1 583	1 583
Maintenance caténares – sous-stations (k\$)		632	632	632	632	632	632	632	632	632
Maintenance des locomotives (k\$)		560	560	560	560	560	560	560	2 000	560
Total des dépenses (en k\$ 2008)	71 600	2 775	4 215	2 775						

11.4.3 Électrification partielle permanente

Table 11.18 - Électrification partielle permanente

	ANNÉE									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DÉPENSES EN CAPITAL										
Infrastructure – électrification k(\$)	26 700									
Locomotives bi-modes (k\$)	40 000									
DÉPENSES OPÉRATIONNELLES ET DE MAINTENANCE										
Coût d'énergie (k\$)		1 583	1 583	1 583	1 583	1 583	1 583	1 583	1 583	1 583
Maintenance caténares - sous-stations (k\$)		534	534	534	534	534	534	534	534	534
Maintenance des locomotives (k\$)		560	560	560	560	560	560	560	2 000	560
Total des dépenses (en k\$ 2008)	66 700	2 677	4 117	2 677						

11.4.4 Aucune électrification

Table 11.19 – Aucune électrification

	ANNÉE									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DÉPENSES EN CAPITAL										
Locomotives bi-modes (k\$)	40 000									
Installation d'alimentation en gare terminus (k\$)	700									
DÉPENSES OPÉRATIONNELLES ET DE MAINTENANCE										
Coût d'énergie (k\$)		1 868	1 868	1 868	1 868	1 868	1 868	1 868	1 868	1 868
Maintenance des locomotives (k\$)		560	560	560	560	560	560	560	2 000	560
Total des dépenses (en k\$ 2008)	40 700	2 428	3 868	2 428						

11.4.5 Analyse de Coûts

Les valeurs actuelles nettes (VAN) ont été calculées sur **trente ans** pour les différentes options en utilisant un taux d'actualisation de 5 % pour le cas de référence. Des taux d'actualisation de 7% et de 10% ont aussi été testés. Les résultats sont les suivants :

Table 11.20 – Analyse des coûts

VAN en K \$ (2008)	5%	7%	10%
Électrification totale	137 000	128 000	119 000
Électrification partielle temporaire	116 000	107 000	98 000
Électrification partielle permanente	109 000	101 000	93 000
Aucune Électrification	80 000	72 000	64 000

11.4.6 Analyse et conclusion

L'électrification entraînerait des économies de consommation d'énergie mais ces dernières ne compensent pas le coût d'immobilisation. En effet, le trafic envisagé n'est pas suffisant et le coût actuel du litre de diesel ne permet pas de justifier une électrification.

La différence entre les valeurs actuelles nettes du scénario « Aucune électrification » et des scénarios avec électrification varie entre 29 millions et 57 millions de \$.

Le scénario minimaliste (Électrification partielle permanente) consistant à installer une caténaire de type 1*25 kV avec une sous-station de puissance minimale n'est pas conseillé car il ne présente qu'une économie de 7 millions de \$ par rapport à une électrification partielle permettant d'étendre l'électrification jusqu'à la jonction de l'Est.

Certains avantages sociaux et environnements importants procurés par l'électrification n'ont pas été valorisés. Il s'agit par exemple :

- De la réduction du bruit pour les riverains et pour les passagers;
- De la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) liée aux transports, puisqu'en mode de propulsion électrique les locomotives n'émettent aucun gaz polluant;
- De l'indépendance énergétique puisque l'énergie électrique est produite au Québec.

Entre les différents scénarios d'électrification, l'électrification partielle est le scénario qui présente la valeur actuelle nette la plus intéressante. Notons néanmoins que l'électrification partielle réduit faiblement le coût de consommation d'énergie. Ainsi l'électrification partielle deviendra moins intéressante financièrement en cas d'une hausse du diesel ou d'une augmentation de trafic. Si par exemple le prix du litre de diesel augmente jusqu'à 1.60 \$ et si le trafic augmente de 50% (par exemple, 2 allers-retours supplémentaires par jour de semaine et 4 allers-retours par jour de fin de semaine), les valeurs nettes des scénarios avec électrification partielle ou totale deviennent identiques³.

³ En supposant que les tarifs d'Hydro-Québec n'augmentent pas.

Annexe A

Description des principes de conception de la ligne de traction électrique pour l'électrification de la ligne de l'Est

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
1. OBJET DE L'ANNEXE	1
2. DESCRIPTION FONCTIONNELLE DES INSTALLATIONS D'ALIMENTATION TRACTION	1
2.1 PRINCIPES DU SYSTÈME 2 X 25 KV	1
2.2 GÉNÉRALITÉS SUR LES ALIMENTATIONS	2
2.3 DÉCOUPAGE ÉLECTRIQUE	3
2.3.1 Découpage des caténares primaires	3
2.3.1.1 Secteur	3
2.3.1.2 Section de séparation de phase	4
2.3.1.3 Sous-secteur	4
2.3.2 Découpage des caténares secondaires	5
2.3.2.1 Alimentation	5
2.3.2.2 Sections élémentaires	5
2.4 TYPE D'APPAREILS D'INTERRUPTION	5
2.4.1 Disjoncteurs (D)	5
2.4.2 Interrupteur (I)	6
2.4.3 Sectionneurs (S)	6
2.5 PRINCIPE DES SOUS-STATIONS TRACTION	6
2.5.1 Disposition générale	6
2.5.2 Circuits de puissance	7
2.5.3 Circuit de terre de la sous-station	9
2.5.4 Local technique	9
2.5.5 Emprise- implantation	10
2.6 POSTES DE TRACTION	10
2.6.1 Fonctions des appareils de coupure	10
2.6.2 Fonctions des postes de traction	11
2.6.3 Description succincte des postes	12
2.6.3.1 Postes 1 x 25 kV :	12
2.6.3.2 Postes 2 x 25 kV	12
2.6.3.3 Poste J	13
2.6.3.4 Implantations, Emprises	14
2.7 ALIMENTATION DU GARAGE	14
2.8 ALIMENTATIONS AUXILIAIRES DES INSTALLATIONS	15

2.9	CIRCUIT DE RETOUR DE COURANT DE TRACTION	15
2.9.1	Liaisons Longitudinales	16
2.9.1.1	Éclissage électrique sur voie sans Circuit De Voie	16
2.9.1.2	Éclissage électrique des voies avec CDV	17
2.9.1.3	Fin d'électrification	17
2.9.2	Liaisons transversales	17
2.9.3	Artère retour	17
2.9.4	Implication pour les installations de signalisation	17
2.10	COMMANDE, CONTRÔLE DES ÉQUIPEMENTS	18
3.	CARACTÉRISTIQUES ET PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA LIGNE DE CONTACT	19
3.1	CONSTITUTION DE LA LIGNE DE TRACTION DES VOIES PRINCIPALES	19
3.1.1	Constitution de la ligne de contact	19
3.1.2	Supports	21
3.1.3	Ancrage des poteaux	22
3.1.4	Équipement par portique rigide	22
3.1.5	Massif	23
3.1.6	Figure 3.7 – Massif et plaque	23
3.1.7	Armement	23
3.1.8	Montage normal d'une console	25
3.1.9	Montage de plusieurs consoles	25
3.2	PRINCIPE DE REGLAGE DU FIL DE CONTACT	26
3.2.1	Position du Fil de contact (FC) par rapport a la voie	26
3.2.1.1	Désaxement	26
3.2.1.2	Hauteur théoriques et différence de hauteur	27
3.2.1.3	Hauteur minimale requise de la caténaire	27
3.2.1.4	Flèche du plan de contact	28
3.3	CANTON DE POSE ET REGULARISATION	28
3.3.1	Canton de pose	28
3.3.2	Ensembles tendeurs	29
3.4	CONTINUITÉ DU PLAN DE CONTACT	30
3.5	ÉQUIPEMENT TENDEUR	31
3.6	SECTIONNEMENTS ÉLECTRIQUE	32
3.6.1	Définitions	32
3.6.2	Sectionnements à lame d'air	32
3.6.3	Isolateurs de section	33
3.7	ÉQUIPEMENT DES AIGUILLAGES	33

3.7.1	Guidage en hauteur	33
3.8	CONNEXIONS	35
3.9	ÉQUIPEMENT DES PONTS ROUTES	36
3.9.1	Passage sous les ouvrages	36
3.9.2	Détermination de la hauteur libre de l'ouvrage	36
3.9.3	Équipements possibles	37
3.10	VOIES DE SERVICE	38
3.10.1	Équipement par poteau indépendant	38
3.10.2	Équipement des VS par portique souple	38
4.	PROTECTION DES STRUCTURES ET DES EQUIPEMENTS	39
4.1	CONDUCTEUR DE PROTECTION AERIEN	39
4.2	COLLECTEUR DE TERRE	39
4.3	CONDUCTEUR DE TERRE ENTERRÉ	40
4.4	LIAISON TRANSVERSALE INTEGRALE	40
5.	SIGNALISATION SPÉCIFIQUE AUX INSTALLATIONS DE TRACTION ÉLECTRIQUES	41

1. OBJET DE L'ANNEXE

La présente annexe a pour but de définir les principes de conception d'une ligne de traction électrique en 25 KV - 60 Hz (2 x 25 KV). Elle reprend la description fonctionnelle des installations, en apportant si nécessaire des informations sur le présent projet.

Elle couvre les domaines de :

- L'alimentation des installations de traction électrique;
- La ligne de contact par caténaire;
- La protection des structures et des équipements;
- La signalisation spécifique aux installations de traction électrique.

2. DESCRIPTION FONCTIONNELLE DES INSTALLATIONS D'ALIMENTATION TRACTION

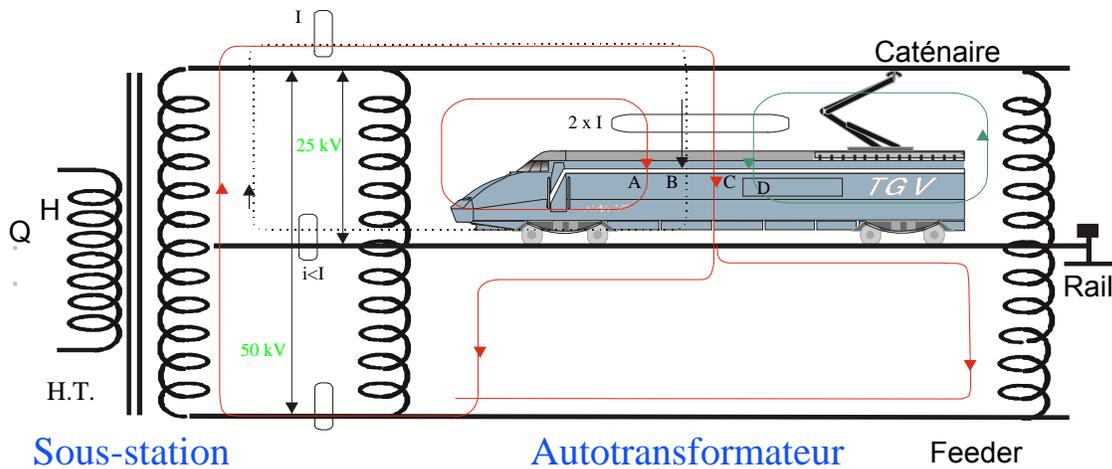
2.1 PRINCIPES DU SYSTÈME 2 X 25 KV

Dans le système 2 x 25 kV, l'alimentation est assurée par une ou des sous-stations dont le transformateur est branché, côté primaire, au réseau d'alimentation (Hydro-Québec) et dont le secondaire délivre une tension de 50 000V.

Une des bornes du primaire alimente la caténaire, l'autre alimente un feeder dit « feeder négatif ». Ce feeder, qui n'existe pas sur la ligne Montréal/Deux-Montagnes est installé sur le support caténaire.

Le point milieu du secondaire du transformateur est relié au rail, le feeder étant ainsi à un potentiel en opposition de phase avec la caténaire.

Figure 2.1 - Principe d'alimentation 2 x 25 kV



Le système comprend :

- Une ou des sous-stations ;
- Des postes munis d'autotransformateurs, dont une borne est connectée à la caténaire, l'autre au feeder négatif, le point milieu étant relié au rail. Ces postes sont ceux prévus pour le découpage électrique (poste de sectionnement et de mise en parallèle, poste de sous-sectionnement et de mise en parallèle, poste de mise en parallèle) ;
- Des postes de ligne assurant les coupures nécessaires de la caténaire et du feeder.

Sur les lignes à voie unique, le poste assurant l'alimentation à partir d'un autotransformateur est appelé « Poste d'injection ».

Dans cette hypothèse, la longueur de la section de ligne à électrifier permet de projeter l'implantation d'une seule sous-station située sensiblement à mi parcours, le système 2 x 25 kV permettant de minimiser les problèmes de chute de tension principalement dans les sections à voie unique.

2.2 GÉNÉRALITÉS SUR LES ALIMENTATIONS

Les lignes de traction par caténaire sont alimentées par une ou des sous-stations réparties le long de la ligne. Elles alimentent :

- Les caténaires des voies principales appelées « caténaires primaires »;

- Les caténaires des voies de triages, des voies de service et certaines voies de gare appelées « caténaires secondaires ». Ces caténaires secondaires sont alimentées à partir des caténaires primaires.

La sous-station alimente les caténaires primaires situées de part et d'autres par l'intermédiaire de Disjoncteurs (D).

Les portions de caténaire situées d'un même côté de la sous-station, alimentées par un même disjoncteur, constitue un « Secteur ». Chaque voie est séparée en « Sous-secteur » lorsqu'elle est alimentée par un Interrupteur de Sous-station (IS) en série de ce disjoncteur.

Sur les portions de ligne comportant plus d'une voie, les caténaires primaires sont mises en parallèle par l'intermédiaire des Interrupteurs de Mise en Parallèle (IMP) pour réduire les chutes de tension.

Pour faciliter la maintenance, tous les interrupteurs mentionnés ci-dessus sont couplés avec des Sectionneurs d'isolement (T) situé coté caténaire.

Les interrupteurs sont toujours à commande électrique, les sectionneurs peuvent être commandés manuellement ou électriquement. Dans le cadre du projet, il est préférable de pouvoir commander à distance les sectionneurs. Le poste de gestion des alimentations (SCADA) en assure la gestion, les ordres de commandes des appareillages manœuvres électriquement sont transmis par télécommande.

2.3 DÉCOUPAGE ÉLECTRIQUE

Pour des motifs d'exploitation ou de maintenance, il faut pouvoir mettre hors tension les caténaires de certaines zones. Pour cela, les caténaires sont découpées en tronçon séparés les uns des autres par des sectionnements dont la continuité électrique est assurée par des appareils d'interruptions (Interrupteurs ou Sectionneurs).

2.3.1 Découpage des caténaires primaires

2.3.1.1 Secteur

Comme mentionné dans les généralités, les caténaires sont découpées en secteurs.

Le secteur est l'ensemble des caténaires alimentées depuis la sous-station par un même Disjoncteur. L'autre extrémité du secteur est constituée par une section de séparation de phase (partie de caténaire neutre séparant deux secteurs).

2.3.1.2 Section de séparation de phase

Elles sont constituées par une ou deux sections neutres de courte longueur encadrées par une signalisation de type « coupez courant ». Elles permettent de séparer les alimentations de différentes sous-stations.

Elles sont pontables par des Interrupteurs de Pontage (Type IP - Voir chapitre 2.6.1) permettant, sous certaines conditions, le couplage en parallèle de deux sous-stations si les tensions qu'elles délivrent sont en phase.

Elles peuvent être remises sous tension par un sectionneur (Type SM - Voir chapitre 2.6.1) pour dégager une circulation bloquée sous la section neutre.

Les sections de séparation doivent être implantées dans une partie de ligne en alignement ou en courbe de grand rayon.

Un signal situé en amont de la section de séparation devra respecter une distance permettant à une circulation d'atteindre une vitesse suffisante après arrêt pour le franchissement de celle-ci. Cette distance, pouvant être estimée à 200m minimum, dépendra du type de matériel circulant sur la ligne et de son accélération.

Un signal situé en aval de la section de séparation devra respecter une distance permettant à une circulation de stopper sans risque d'arrêt sous cette section de séparation. Cette distance, pouvant être estimée à 250m minimum, dépendra du type de matériel circulant sous la ligne.

2.3.1.3 Sous-secteur

C'est un découpage du secteur qui est isolable. Les extrémités du sous-secteur en ligne sont réalisées par les sectionnements (séparation physique des plans de contact, la réalisation technique du sectionnement au niveau ligne de contact est décrite dans le chapitre 3.7)

Les extrémités d'un sous-secteur peuvent donc être réalisées :

- Soit par un interrupteur de Sous-station (IS) côté sous-station et un sectionnement pontables côté ligne;
- Soit par deux sectionnements pontables en ligne.

2.3.2 Découpage des caténares secondaires

2.3.2.1 Alimentation

Une caténaire secondaire est alimentée depuis une caténaire primaire. Une alimentation de secours depuis une autre caténaire primaire peut être prévue, elle sera réalisée par fermeture d'un sectionneur de secours après ouverture du sectionneur d'alimentation normale.

Ces alimentations peuvent être réalisées :

- En cascade :
L'alimentation de chaque section élémentaire est indépendante, elle dépend de celle qui la précède.
- En parallèle :
L'alimentation de chaque section élémentaire est indépendante des autres.

2.3.2.2 Sections élémentaires

Les caténares secondaires peuvent être découpées en sections élémentaires. Ce découpage en sections élémentaires se fait par voie ou par groupe de voie selon les besoins d'exploitation.

2.4 TYPE D'APPAREILS D'INTERRUPTION

Ces appareils sont nécessaires aux liaisons ou aux interruptions décrites ci-dessus, ce sont les disjoncteurs, les interrupteurs, les sectionneurs et commutateurs.

2.4.1 Disjoncteurs (D)

Ce sont des appareils d'interruptions destinés à ouvrir ou fermer un circuit, ils sont :

- Manœuvrables à vide ou en charge;
- Déclenchable automatiquement, notamment en cas de défaut, ou volontairement par télécommande du régulateur de la ligne de traction;
- Capable de couper automatiquement sans dommage les courants de défaut et assurer la protection des caténares contre les surintensités.

2.4.2 Interrupteur (I)

Ce sont des appareils d'interruptions destinés à ouvrir ou fermer volontairement un circuit, ils sont manœuvrables:

- A vide ou en charge ;
- Volontairement par télécommande du régulateur de la ligne de traction ;
- Exceptionnellement automatiquement (Exemple : IP en cas d'absence de tension en ligne).

2.4.3 Sectionneurs (S)

Ce sont des appareils d'interruptions destinés à ouvrir ou fermer un circuit, ils sont:

- Manœuvrables uniquement à vide ;
- Manœuvrable volontairement manuellement ou par télécommande du régulateur de la ligne de traction.

2.5 PRINCIPE DES SOUS-STATIONS TRACTION

2.5.1 Disposition générale

Afin d'assurer la disponibilité de l'installation, la sous-station est constituée de deux demi-sous-stations identiques (disjoncteurs du circuit HT - transformateur HT/25 kV).

La liaison entre les deux parties se fait en amont par la barre HT et en aval par la barre 2 x 25 kV.

La sous-station possède une double alimentation associée à deux transformateurs identiques, chacun étant capable de fournir la totalité de l'énergie nécessaire.

Les mesures prises pendant la construction au niveau des distances de travail et de sécurité, permettent d'effectuer des interventions sur une partie de l'installation pendant que l'autre est sous tension. De cette manière, la disponibilité optimum est assurée.

Ce système signifie que la défaillance d'un équipement, ou la maintenance d'une partie de la sous-station peuvent être envisagées sans arrêter le fonctionnement de la sous-station.

La sous-station de traction est préféablement alimentée en 120 kV par une double ligne, à partir de deux cellules de départ côté HQ connectées soit sur des sources indépendantes, soit sur des jeux de barres différents afin de garantir le maintien des alimentations.

Les deux alimentations HT peuvent présenter les régimes suivants :

- Les deux alimentations HT délivrent la puissance souscrite en permanence ;
- Une alimentation est dédiée à l'alimentation normale et délivre la puissance requise en régime permanent, la seconde intervient en secours avec de possibles restrictions de disponibilité.

Ce choix devra être fait à l'issue d'une étude entre le fournisseur d'énergie et l'autorité ferroviaire en fonction de contraintes techniques et économiques.

2.5.2 Circuits de puissance

Le schéma de puissance de la sous-station établi sur la mise en œuvre d'équipements de type extérieur, comprend :

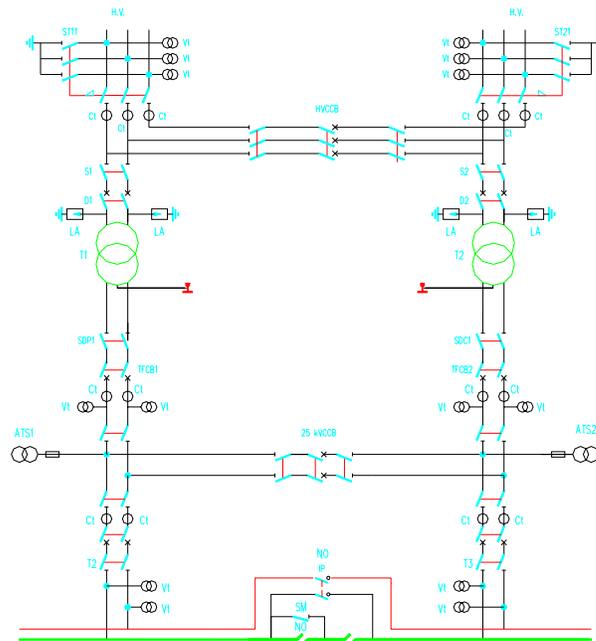
- Le poste HT 120 kV composé de :
 - Deux arrivées lignes ou câbles triphasés sur sectionneurs équipés de MALT côté lignes et disjoncteurs, et équipés de transformateurs de tension;
 - Un jeu de barres triphasé de liaison avec disjoncteur de couplage encadré de sectionneurs d'isolement;
 - Deux départs de tranche biphasés, équipés de :
 - Sectionneurs d'isolement;
 - Disjoncteurs;
 - Parafoudres connectés sur chaque phase.
 - Transformateurs de tension et de courant pour les protections et mesures;
 - Transformateurs de puissance monophasés 120/55 kV avec point milieu au secondaire.

L'étude de détail définira la nécessité d'équiper chaque transformateur d'un régulateur en charge compensant les variations du réseau HT.

- Le poste 2 x 25 kV constitué de jeux de 2 barres (une barre caténaire et une barre feeder) et d'appareillages bi polaires à commande unique, composé :
 - Des disjoncteurs de protection secondaire des transformateurs de puissance;
 - Du jeu de barres sectionné en son milieu par un disjoncteur de couplage encadré de sectionneurs d'isolement. Chaque demi-jeu de barres reçoit les transformateurs de tension;

- De quatre départs traction répartis deux par deux de chaque côté du jeu de barres, alimentant les voies de même direction de part et d'autre de la sous-station, et équipés de :
 - Disjoncteurs associés à des transformateurs de courant encadrés de sectionneurs d'isolement côté amont et sectionneurs tête de câble côté caténaire;
 - Liaisons entre la sous-station et le portique caténaire, elles sont réalisées soit en connexions tendues, soit en câbles.
- Le portique caténaire situé en dehors de l'emprise de la sous-station, et le long des voies, est équipé :
 - Des sectionneurs tête de câbles correspondant à chaque départ traction;
 - Des sectionneurs de secours reliant deux départs traction consécutifs;
 - Des sectionneurs de pontage assurant la liaison entre les deux demi barres en cas d'effacement d'une demi sous-station;
 - Des sectionneurs médians permettant la réalimentation de la section neutre (si équipé);
 - Des transformateurs de tension de supervision de la tension caténaire;
 - Des isolateurs d'ancrage des connexions tendues, ils sont munis d'éclateurs para surtension, à cornes;
 - De liaisons câbles, elles sont munies de parafoudres et de sectionneurs de mise à la terre côté sous-station.

Figure 2.2 – Exemple de sous-station



2.5.3 Circuit de terre de la sous-station

La sous-station est maillée par un circuit de terre enterré continu, sans possibilité d'interruption du circuit qui relie en boucle :

- Tous les pieds de charpentes avec double connexion sur les charpentes en « PI » ;
- La clôture si métallique ;
- La barre de terre du bâtiment technique ;
- Le circuit de retour traction au niveau de la plaque de liaison située à proximité de l'emprise ;
- Le maillage de terres du portique caténares.

Ce maillage peut être complété par un nombre suffisant de puits de terres en fonction de la nature des sols et des valeurs de faible résistance à obtenir.

2.5.4 Local technique

Le bâtiment technique comprend :

- Une salle principale recevant :

- Les armoires ou châssis de commande, de contrôle et de protection des appareillages;
- Les armoires de comptage;
- Le châssis ou armoire téléphonique;
- Le coffret de services auxiliaires alternatifs.
- Une salle auxiliaire recevant les chargeurs batteries et les batteries d'accumulateurs;
- Des locaux de vie à adapter suivant la demande.

2.5.5 Emprise- implantation

Compte tenu du type d'installation tel que décrit ci dessus, la surface de la sous-station est évaluée aux environs de 2500/ 3000 m².

Il convient de rechercher dans cette zone, un emplacement libre d'obstacles, et qui pourrait se situer :

- Entre le poste HQ et la voie ;
- De l'autre côté de la voie par rapport au poste HQ.

2.6 POSTES DE TRACTION

2.6.1 Fonctions des appareils de coupure

Chaque appareil de coupure (défini au chapitre 2.4) possède une fonction bien définie et de ce fait est référencé de la manière suivante:

- Interrupteurs de ligne (IL)
 - Appareils ayant une fonction de sectionnement de sections élémentaires.
- Interrupteurs de mise en parallèle (IMP)
 - Appareils permettant la mise en parallèle des secteurs;
 - Ils sont couplés aux informations d'état de tension des sections qu'ils alimentent;
 - L'information d'absence de tension en ligne provoque automatiquement leur ouverture.
- Interrupteurs de pontage (IP)
 - Ils assurent la liaison entre secteurs adjacents et sont normalement en position ouverture;

- Leur fonction est de réalimenter un secteur en cas d'indisponibilité d'un ou plusieurs disjoncteurs de départ traction.
- Interrupteurs d'alimentation (IA)
 - Appareil alimentant un groupe de sections élémentaires sectionnées en général par des sectionneurs;
 - Ces interrupteurs sont couplés à un transformateur de courant qui donne un ordre d'ouverture en cas de détection de surintensité dans la zone qu'ils alimentent;
 - Leur fermeture est volontaire après recherche et localisation de la cause.
- Sectionneur de ligne (SL) :
 - Assure une fonction identique aux IL mais sans pouvoir de coupure en charge.
- Sectionneurs de secours (S)
 - Ils permettent la réalimentation en secours d'une zone normalement alimentée par un interrupteur rendu indisponible ou par manque de tension de la section élémentaire l'alimentant;
 - Ils sont ouverts en service normal et en général inter-verrouillés avec l'appareil d'interruption principal;
 - L'alimentation en secours est assurée depuis une section élémentaire différente de l'alimentation normale.
- Sectionneurs médians (SM)
 - Ils Sont en position ouverture en service normal;
 - Ils permettent la réalimentation de la section de séparation dans le cas où une circulation électrique est arrêtée dessous;
 - Leur manœuvre doit faire l'objet d'une procédure particulière, définie aux documents d'exploitation.

2.6.2 Fonctions des postes de traction

Les appareils d'interruption de différentes fonctions sont regroupés, dans la mesure du possible :

- Soit dans les cellules dans le cas de postes à autotransformateurs;
- Soit installés sur les portiques caténares dans le cas des postes de ligne.

De ce fait, les postes de traction assurent les fonctions suivantes :

- Poste de sectionnement. Il regroupe les IP, et les SM. Une section neutre est aménagée au droit du poste.
- Poste de mise en parallèle (P) sur double voie. Il regroupe les IMP.
- Poste de ligne (L). Il regroupe les IL.
Poste d'alimentation (A). Il regroupe l'interrupteur (IA) ainsi que le sectionneur de secours (S...) et les sectionneurs alimentant les sections élémentaires de la zone.
Poste de sous-station (ST). Il comprend le portique caténaire situé en dehors de l'enclos de la sous-station et regroupe les S..., SM, IP ainsi que les sectionneurs tête de câble permettant d'isoler tout ou partie de la sous-station des installations caténaire

Dans le cadre de cette étude, les postes regroupent plusieurs fonctions élémentaires et sont classifiés comme suit :

- Poste de sectionnement et de mise en parallèle (SP);
- Poste de sous sectionnement et de mise en parallèle (SSP);
- Poste de mise en parallèle (PP);
- Poste de ligne (L);
- Poste d'alimentation (A);
- Poste d'injection (J) en 2 x 25 kV sur voie unique.

2.6.3 Description succincte des postes

2.6.3.1 Postes 1 x 25 kV :

Ces postes sont situés :

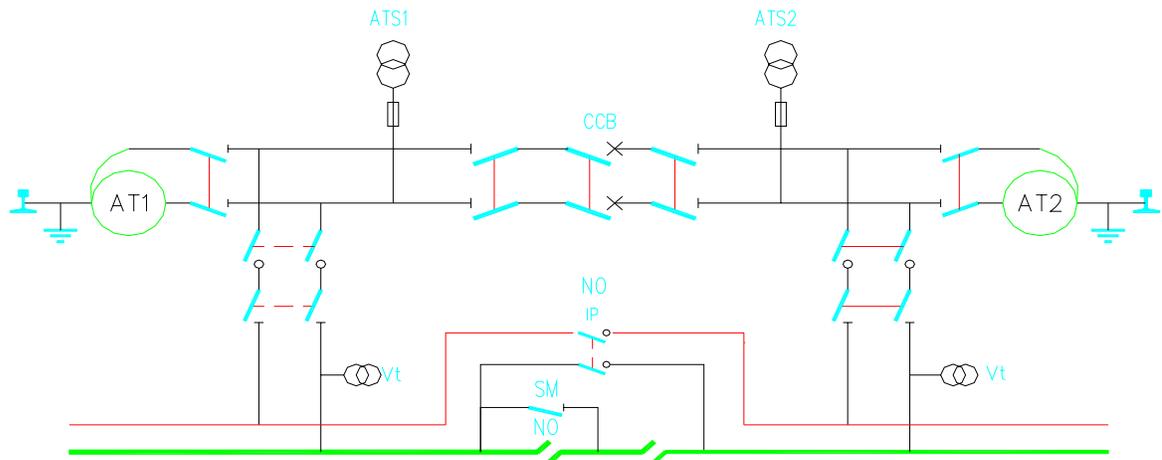
- Dans les sections de raccordement alimentées par la ligne de Montréal/Deux-Montagnes;
- En extrémité d'électrification en 2 x 25 kV;
- Au point d'alimentation du garage.

2.6.3.2 Postes 2 x 25 kV

Ces postes, répartis le long de la section électrifiée en 2 x 25 kV, comprennent un ou deux autotransformateurs installés en extrémité d'un jeu de doubles barres (caténaire et feeder) et isolables au moyen de sectionneurs.

Ce jeu de barres continu dans le cas de postes PP et sectionné par un interrupteur IP pour les postes de sectionnement (SP ou SSP) est alimenté depuis la ou les voies via des interrupteurs isolables côté voie par des sectionneurs tête de câble.

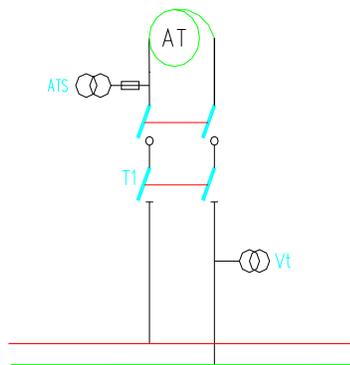
Figure 2.3 - Poste de sectionnement avec section de séparation 2 x25 kV



2.6.3.3 Poste J

Installé seulement sur voie unique, le poste J est muni d'interrupteurs IJ et d'un autotransformateur.

Figure 2.4 – Poste J



2.6.3.4 Implantations, Emprises

Ces postes peuvent être réalisés suivant deux méthodes :

- Appareillages de type extérieur (postes L, A) :
 - Les appareillages sont montés sur les supports caténaires ou poteaux indépendants en alignement, et ne nécessitent pas d'emprise particulière autre qu'une aire aménagée côté champs pour permettre la mise en place d'échelles.
 - Du fait de la hauteur des appareillages sous tension conforme aux réglementations de distance et d'éloignement, ces postes ne sont pas enclos.
- En cellules, de type intérieur (poste blindé)
 - Dans ce cas, une enveloppe métallique renferme les appareillages débrochables et le jeu de barres;
 - Les liaisons à la caténaire et au feeder sont réalisées en câbles;
 - Dans les postes 2 x 25 kV, les autotransformateurs seront de type secs (Cast resin) et enfermés dans des armoires ventilées accolées au poste blindé ou intégrés dans ce dernier;
 - L'emprise au sol est évaluée à 4 mètres de largeur sur environ de 4 mètres pour un poste de ligne à 25 mètres pour un SP 2 x 25 kV;
 - Une piste d'accès routier devra être aménagée pour l'acheminement des autotransformateurs dont la masse est d'environ 5 à 7 Tonnes.

2.7 ALIMENTATION DU GARAGE

Les voies de garage des rames sont alimentées en 1 x 25 kV :

- En service normal, par la caténaire de la voie principale à partir d'un interrupteur d'alimentation (IA) encadré de sectionneurs d'isolement;
- En situation de premier secours, un sectionneur de secours placé en extrémité du site côté, permet la réalimentation du garage en cas d'intervention ou d'incident sur l'alimentation principale. Dans ce cas les protections sont assurées depuis la sous-station.

Chaque alimentation normale et secours est reliée sans possibilité de mise en parallèle à un portique équipé des sectionneurs alimentant chaque voie du garage.

En cas de coupure d'alimentation de la voie unique pour des motifs de maintenance ou d'incidents, le garage est totalement privé de tension.

2.8 ALIMENTATIONS AUXILIAIRES DES INSTALLATIONS

L'énergie en courant alternatif basse tension nécessaire au fonctionnement des appareils dans les postes et sous-station est fournie par un ou deux transformateurs auxiliaires connectés :

- Sur la caténaire ou la barre du poste dans le cas du 1 x 25 kV;
- Sur la barre feeder dans les installations à 2 x 25 kV.

Un tableau de répartition assure l'alimentation et la protection des différents circuits de l'installation.

Une alimentation à courant continu nécessaire au contrôle et à la supervision des équipements, est produite à partir d'un couple chargeur et batteries.

Les alimentations permanentes seront assurées par un équipement UPS.

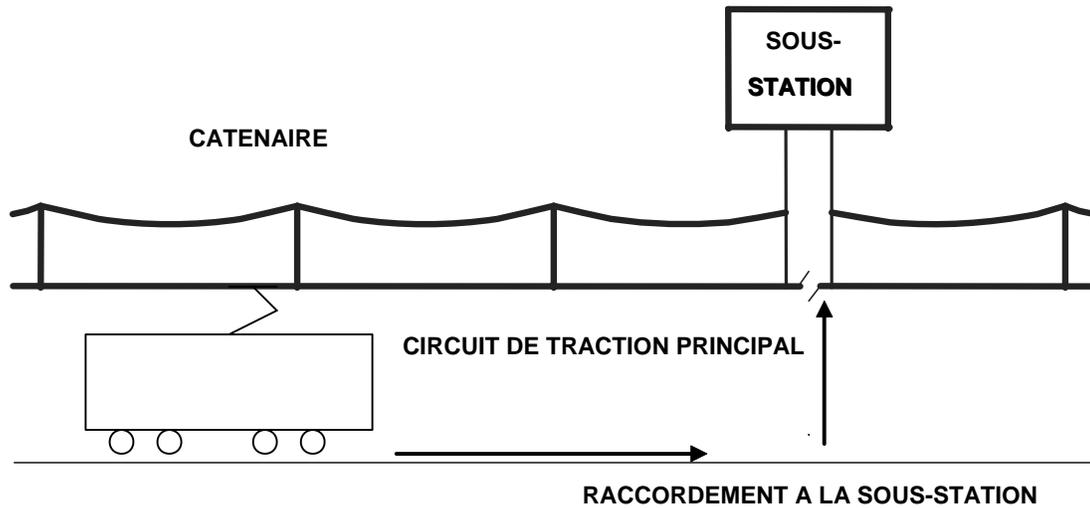
Un second tableau de répartition assure l'alimentation des équipements auxiliaires et de sécurité alimentés en permanence.

2.9 CIRCUIT DE RETOUR DE COURANT DE TRACTION

Le courant de traction, fourni par la sous-station, est acheminé par la caténaire jusqu'à la motrice qui le capte à l'aide du pantographe, le transmet aux moteurs via une « chaîne de traction » et le renvoie dans les rails.

Ce courant, acheminé à la sous-station par les rails de roulement, est appelé « Retour de Courant de Traction ». Une importante partie de ce retour est également acheminé par la terre.

Figure 2.5 - Principe du retour de courant de traction



Ce circuit RCT peut être :

- Monorail si il n'utilise qu'une file de rail (rail appelé file retour)
- Bi-rail s'il utilise les deux files.

2.9.1 Liaisons Longitudinales

2.9.1.1 Éclissage électrique sur voie sans Circuit De Voie

À chaque jonction de rails, il est réalisé une liaison longitudinale dite Rail/Rail (rails bonding) qui assure la continuité du courant de retour traction au niveau de chaque éclissage (joints mécaniques).

L'éclissage électrique sera monorail, sur les lignes dont les supports sont reliés individuellement au rail. Dans ce cas, il deviendra bi rail dans les cas suivants :

- Au droit des quais voyageurs;
- 100 m de part et d'autres des passages à niveau;
- 50 m de part et d'autres des appareils de voie;
- Sur la longueur des ouvrages d'art (Tunnels, Viaducs, ponts métalliques);
- Sur les voies de pré-conditionnement;
- Dans les faisceaux sous certaines conditions.

2.9.1.2 Éclissage électrique des voies avec CDV

À chaque jonction de rails, il est réalisé une liaison longitudinale dite Rail/Rail (rails bonding) qui assure la continuité du courant de retour traction au niveau de chaque éclissage (joints mécaniques). L'éclissage électrique sera bi-rail.

Les joints isolants de circuits de voies seront munis de connexions inductives permettant le passage de ce courant tout en assurant le fonctionnement normal des circuits de voie.

2.9.1.3 Fin d'électrification

En fin d'électrification, afin de permettre un abaissement progressif de la tension rail/sol, l'éclissage électrique devra être prolongé sur 500m après le signal de « fin de caténaire ».

2.9.2 Liaisons transversales

Les liaisons transversales ont pour objet d'améliorer au maximum le circuit de retour. Elles comprennent:

- Le retour de courant de traction vers les postes de traction électriques;
- Les liaisons équipotentielles pour réduire les tensions Rail / Sol ;
- Les liaisons de protection des structures métalliques.

Elles sont principalement réalisées :

- En reliant les voies entre elles, soit directement, soit par l'intermédiaire de connexions inductives;
- En rendant équipotentielles les files de rails (voies non munies de CDV) ;
- En améliorant les liaisons dans les appareils de voies.

Elles seront conçues pour ne pas perturber le fonctionnement des circuits de voie.

2.9.3 Artère retour

Etablie au droit des sous-stations, elle relie les rails à la sous-station soit directement, soit par l'intermédiaire de connexions inductives.

2.9.4 Implication pour les installations de signalisation

Les installations de signalisation devront donc être adaptées à l'alimentation 25 kV et à son circuit de retour.

Il sera donc nécessaire de modifier ou de remplacer les équipements de signalisation afin qu'ils soient compatibles avec ce type d'électrification.

2.10 COMMANDE, CONTRÔLE DES ÉQUIPEMENTS

Les installations de traction électriques sont gérées à partir d'une commande centralisée qui doit être en relation permanente avec :

- Le fournisseur d'énergie;
- Les trains;
- Les opérateurs en charge de l'exploitation;
- Les équipes de maintenance;
- Les secours.

Chaque poste de traction et sous-station comprend un équipement de commande, de contrôle et de surveillance des appareillages.

Cet équipement à courants faibles basé sur la mise en œuvre d'automates programmables.

Une interface est aménagée :

- Côté ligne de transmission, assurant la liaison au dispatching pour permettre la commande et la supervision à distance des installations;
- Côté appareillage, afin d'assurer l'isolement galvanique et capacitif nécessaire entre les circuits à courants faibles et ceux dits à courants forts;
- En local par le biais d'une interface homme machine qui peut être constituée d'un PC portable et/ ou d'un tableau de commande.

De plus le système de contrôle commande doit :

- Pouvoir être interrogé à tout moment pour déterminer l'origine d'un dysfonctionnement ou d'un incident ;
- Transmettre les informations nécessaires au fonctionnement du ground base maintenance system (GBMS) côté ligne de transmission par RTU, assurant la liaison au dispatching pour permettre la commande et la supervision à distance des installations.

Il existe actuellement un poste de type SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) qui gère la ligne Montréal/Deux-Montagnes. Ce poste reprendra la gestion électrique de la nouvelle ligne Montréal-Repentigny.

Les avantages sont :

- Vision complète du réseau;
- Agents déjà formés à la conduite de réseau de traction électrique;
- Bâtiment existant;
- Gestion des consignations caténares.

3. CARACTÉRISTIQUES ET PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA LIGNE DE CONTACT

Les caractéristiques et principes généraux de la ligne reprendront les éléments techniques et les montages à appliquer pour la création d'une ligne de traction électriques par caténaire 25 000V.

3.1 CONSTITUTION DE LA LIGNE DE TRACTION DES VOIES PRINCIPALES

3.1.1 Constitution de la ligne de contact

La ligne de traction assure le transport du courant nécessaire aux engins moteurs, elle est composée :

- D'un ou de deux fils de contact (cuivre, section 107mm²), sur lesquels frotte le pantographe qui alimente l'engin moteur. Compte tenu de la circulation envisagée, un seul fil sera certainement suffisant sur cette ligne;
- Le contact pantographe / fil de contact doit être continu et ne pas entraîner de déformation excessive de la ligne, il est donc indispensable que :
 - L'élasticité et la forme de la ligne de contact soient sensiblement constantes dans la fourchette de température considérées comme extrême au Québec (-50 à + 50 degrés centigrades);
 - La surface de frottement ne présente aucune saillie. Le fil de contact comporte donc deux rainures réalisées au cours de sa fabrication pour permettre sa suspension.

Figure 3.1 - Fil de contact

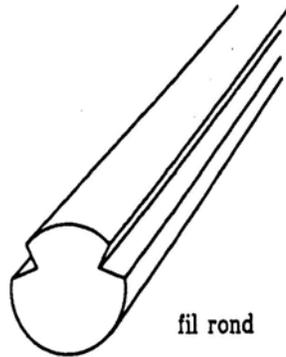
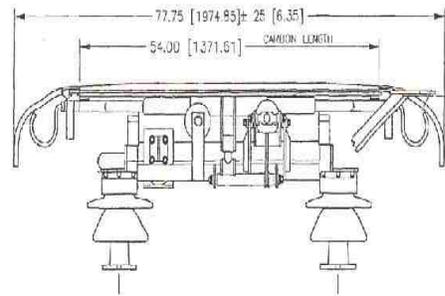
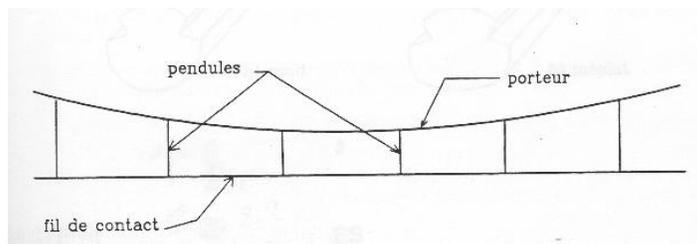


Figure 3.2 - Exemple de Pantographe



D'un porteur (bronze, section 116mm^2), qui soutient le fil de contact par l'intermédiaire de pendules griffés (bronze, section 12mm^2), dans la rainures du FC (Principe de pendulage : un pendule a 2,25 mètres du support puis un tous les 4,5 mètres - alternativement sur chaque FC si le montage comporte deux FC).

Figure 3.3 – Principe de caténaire

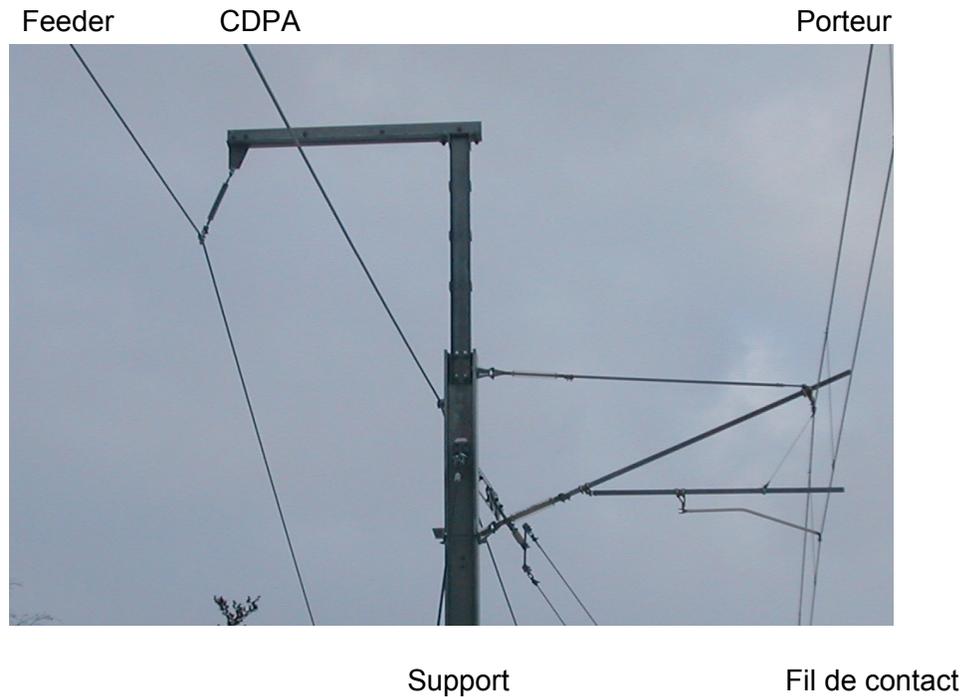


Ces fils et câbles doivent être bon conducteur afin de limiter au maximum les chute de tensions. Outre le type d'électrification, leur section dépend des paramètres de trafic et de vitesse.

On trouve, de plus, deux autres câbles :

- Le feeder (AC Sr 228 ou 288mm^2 à définir), qui participe à l'alimentation et à la distribution du courant de traction;
- Le Conducteur de Protection Aérien CDPA servant à la protection des structures (éventuellement associé à un câble de terre enterré) La description des protections fait l'objet du chapitre 9.

Figure 3.4 – Parties constitutives : supports et armement



Afin de supporter la ligne aérienne, il est installé à intervalle régulier des poteaux (appelés supports) supportant le plan de contact par l'intermédiaire d'un montage appelé armement.

Une portion de caténaire comprise entre deux supports est appelée « une Portée »

3.1.2 Supports

Les supports peuvent être des :

- Supports indépendants pour équiper une seule voie;
- Portiques (rigides ou souples) permettant d'équiper plusieurs voies.

La distance d'implantation du support entre le bord intérieur du rail et la face intérieure du poteau est généralement de 2,44 mètres.

3.1.3 Ancrage des poteaux

Les poteaux sur lesquels sont ancrés des conducteurs (ancrage fixe ou avec appareils tendeur) sont ancrés au sol par l'intermédiaire d'un hauban d'ancrage.

Le matériel d'ancrage, la hauteur d'ancrage et les longueurs d'ancrage dépendent de la somme des tensions mécaniques des conducteurs ancrés sur le poteau.

Un tendeur permet de régler la tension du hauban.



Figure 3.5 - Ancrage

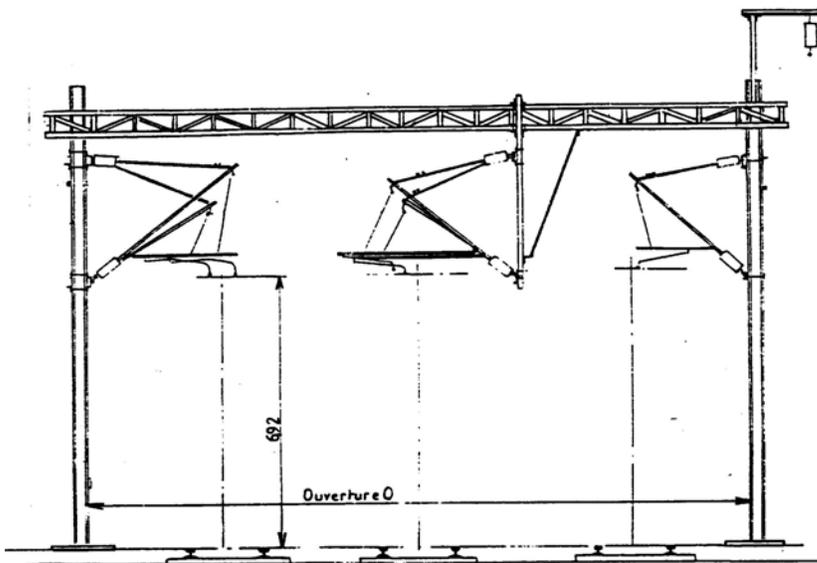
3.1.4 Équipement par portique rigide

Dans les zones où les entrevoies ne permettent pas l'implantation des supports indépendants (gares), les portiques rigides sont utilisés.

Ils sont constitués de 2 pieds droits réunis par une poutre en profilés assemblés (poutre autoporteuse).

L'équipement des voies se fait par pose de consoles sur les pieds droits et sur les chaises suspendues à la poutre.

Figure 3.6 – Portique rigide



3.1.5 Massif

Un poteau repose sur un massif qui transmet au sol les sollicitations des poteaux et armement. Il est fixé au massif par l'intermédiaire d'une plaque de fixation et de 4 tiges filetées.

3.1.6 Figure 3.7 – Massif et plaque

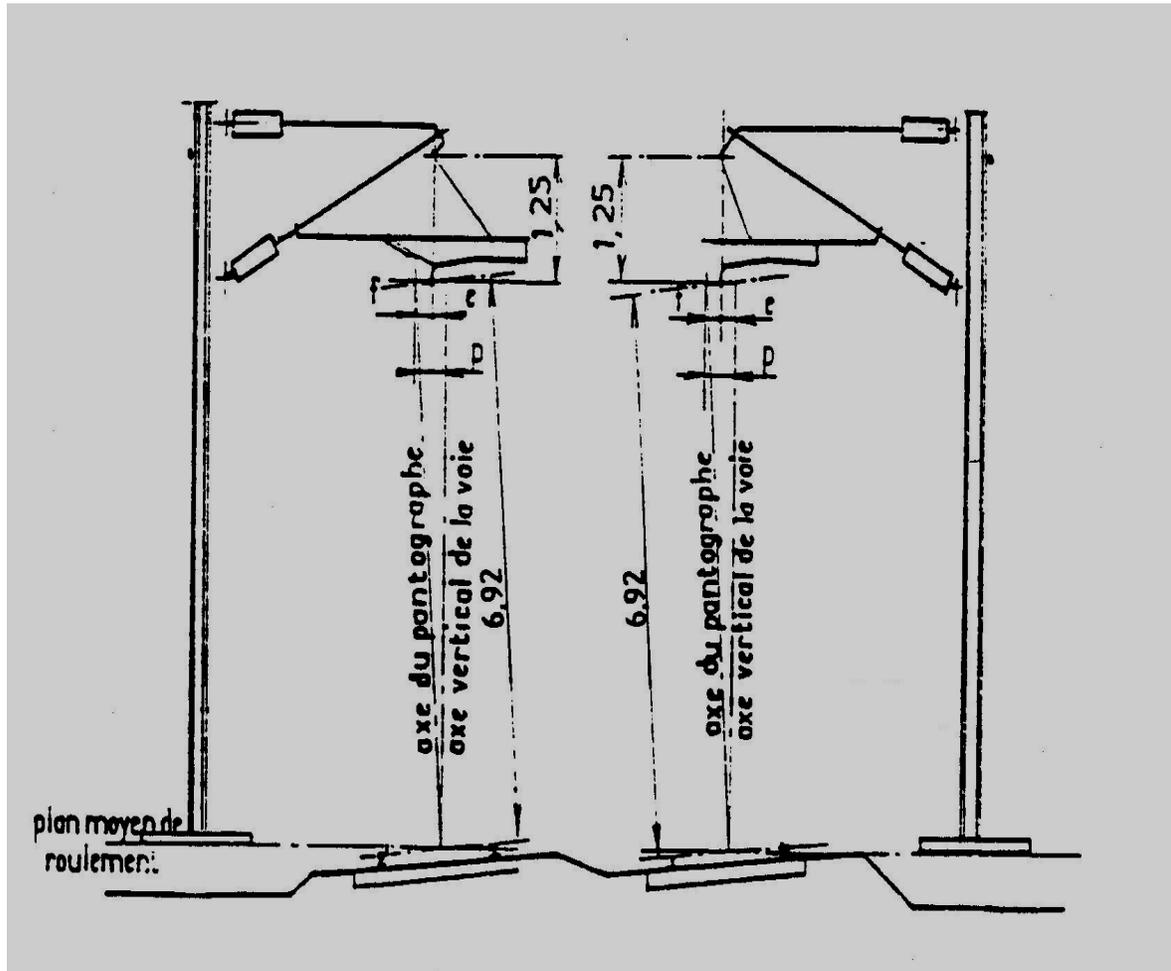


3.1.7 Armement

L'armement est l'équipement qui soutient les éléments constitutifs du plan de contact et va permettre de réaliser les réglages précédemment cités (désaxement, hauteur, etc.).

En fonction de la situation du fil de contact par rapport à l'axe de la voie, il sera utilisé deux types de montage pour réaliser le désaxement (l'un dit en compression, l'autre en tension).

Figure 3.8 – Massif et plaque supports indépendant avec montage compression et tension



1 Montage en tension
Trait plein

2 Montage compression
trait pointillé

1	Attache du hauban de console	2	Pied orientable pour console tubulaire	3	Console isolée tubulaire
4	Hauban isolé en tube	5	Suspension du porteur sur tube	6	Attache de l'antibalançant sur tube
8	Antibalançant et bras de rappel	9	Suspension d'antibalançant en câble (Acier Inox : 7 torons de 19 brins)	10	Pendule anti-vent
11	Suspension du CDPA				

Le montage sur le support peut être réalisé :

- Avec une console;
- Avec plusieurs consoles.

3.1.8 Montage normal d'une console

La console et le hauban sont articulés au support.

Figure 3.9 - Montage normal d'une console



3.1.9 Montage de plusieurs consoles

Ce montage permet la suspension de plusieurs caténaires sur un même support. Les consoles et les haubans sont fixés sur le support par l'intermédiaire de traverses.

Figure 3.10 – Montage avec 2 consoles



Figure 3.11 – Montage avec 3 consoles



Lorsqu'un aiguillage est situé près d'un appareil tendeur, le support est équipé de 3 consoles.

3.2 PRINCIPE DE REGLAGE DU FIL DE CONTACT

3.2.1 Position du fil de contact (FC) par rapport à la voie

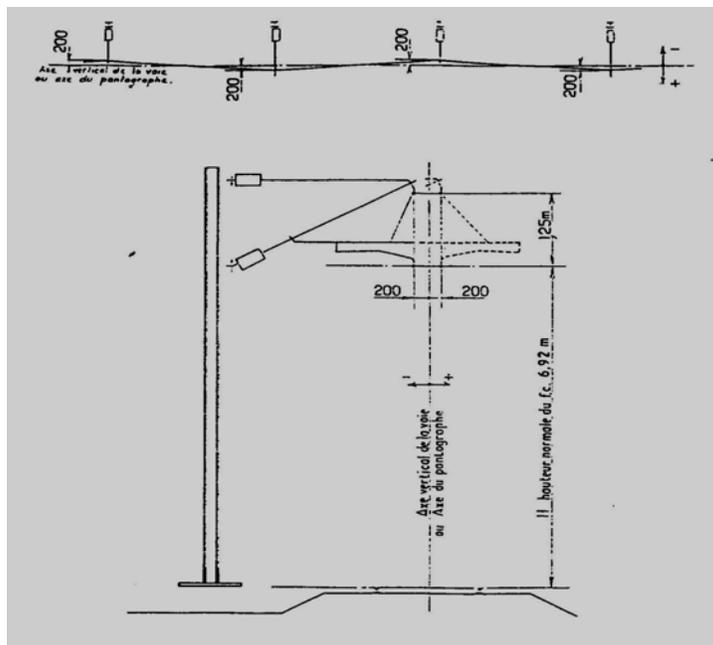
3.2.1.1 Désaxement

Si l'on néglige l'influence du comportement dynamique des différents éléments (voie, pantographe, engin moteur, ligne de contact) l'axe du pantographe et l'axe perpendiculaire au plan de roulement peuvent être considérées comme confondues.

Si la position du fil de contact est maintenue constante par rapport à l'axe du pantographe, le frottement se ferait toujours au même point amenant rapidement une usure et une rupture de l'archet. Pour éviter cet inconvénient, le FC est positionné alternativement de part et d'autre de l'axe de la voie, permettant ainsi un balayage de la toute la bande de frottement du pantographe.

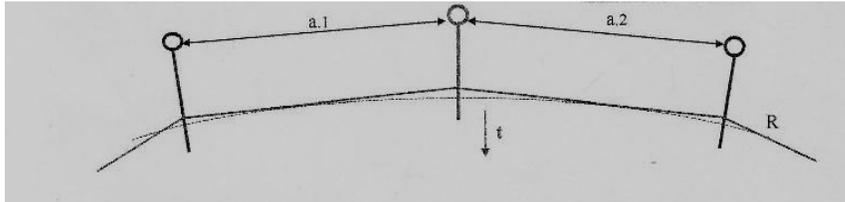
Le désaxement en alignement est effectué de telle sorte que le porteur et le fil de contact sont désaxés alternativement à chaque support (0,200 mètres de part et d'autres de l'axe de la voie sur la ligne Montréal/Deux-Montagnes).

Figure 3.12 – Exemple de désaxement en alignement



En courbe, le désaxement au support par rapport à l'axe du pantographe sert à limiter le désaxement en milieu de portée et conserver ainsi la caténaire sous la bande de frottement du pantographe. Le plan de contact restera perpendiculaire au plan de roulement

Figure 3.13 – Désaxement au support en courbe



3.2.1.2 Hauteur théoriques et différence de hauteur

Afin de garder un captage le meilleur possible, le fil de contact doit être maintenu à une hauteur la plus constante possible. Il doit de plus respecter le débattement maximal et minimal du pantographe

Pour exemple, la hauteur maximale est de 6,92 m pour la ligne Montréal/Deux-Montagnes. Cette hauteur est due à la présence de trains de marchandise comportant des wagons à deux conteneurs superposés.

Dans le cas où la hauteur ne peut être maintenue constante, la caténaire devra être abaissée progressivement en respectant une pente qui sera déterminée en fonction de la vitesse. Cette pente dite « pente de raccordement » permettra au pantographe de s'abaisser progressivement en limitant l'usure des divers éléments constitutifs. De plus, la différence de pente entre deux portées successives devra être de la moitié de la pente de raccordement maximale.

Vitesse \leq 40 km /h :	Pente maxi	10%
40 km/h < Vitesse \leq 100 km /h	Pente maxi	6%
100 km/h < Vitesse \leq 120 km /h	Pente maxi	4%

3.2.1.3 Hauteur minimale requise de la caténaire

Le gabarit dynamique des voitures est actuellement inconnu. Il faut ajouter un espace théorique pour leur mouvement lors de leur déplacement. Ces dimensions, données par la norme CSA-C22.3 - Railways electrification sont de :

- Espace de mouvement de l'équipement lors des déplacements : 150 mm;
- Tolérance du déplacement de la surface de la voie ferrée : 50 mm;
- Tolérance de déplacement de la caténaire : 50 mm;

- Dégagement électrique entre la caténaire et le matériel roulant : 200 mm;
- Dégagement électrique entre la caténaire et la structure : 200 mm;

La hauteur totale à ajouter aux dimensions statiques des voitures est donc de 650mm.

3.2.1.4 Flèche du plan de contact

Afin d'obtenir un captage du courant le meilleur possible, il est donné au FC une flèche dite « intentionnelle ». Sa valeur est égale au $1/1000^{\text{ème}}$ de la longueur de la portée.

3.3 CANTON DE POSE ET REGULARISATION

3.3.1 Canton de pose

Les lignes de voies principales sont constituées par une succession de tronçons qui, par construction, sont indépendants les uns des autres et appelés « cantons ».

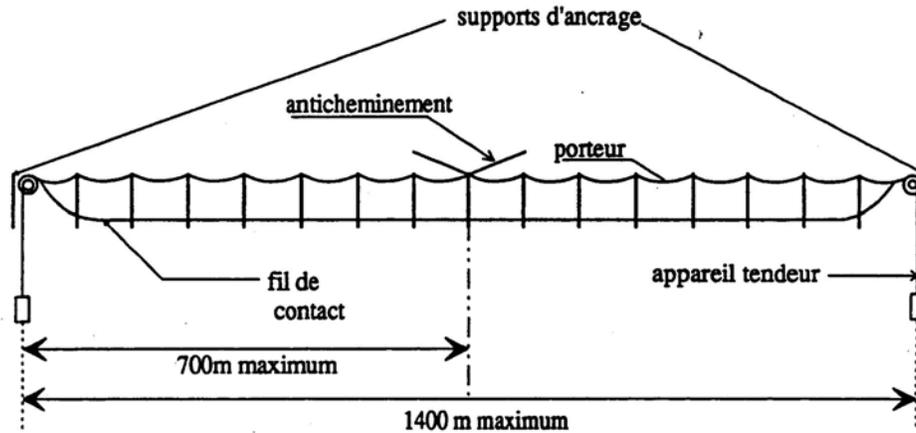
La longueur de conducteur comprise entre deux ancrages successifs constitue ce que l'on appelle un « canton de pose ». Afin de conserver un fil de contact rectiligne et apte à fournir une alimentation correcte (pantographe en contact permanent avec la caténaire), le fil de contact est tendu mécaniquement.

Lorsque cette longueur est supérieure à 700 mètres, chaque extrémité est équipée d'appareil tendeur et un câble appelé anti-cheminement fixe la position médiane du canton.

Pour obtenir une régularisation efficace de cette tension, la longueur du canton ne dépasse pas 1400 m en dehors du tunnel.

Un appareil tendeur destiné à maintenir constante la tension mécanique des deux conducteurs de la caténaire est installé à chaque extrémité du canton: cette opération s'appelle la « régularisation des conducteurs ».

Figure 3.14 – Canton de pose



3.3.2 Ensembles tendeurs

Les ensembles tendeurs maintiennent une tension mécanique constante dans les conducteurs régularisés entre deux températures. L'ensemble tendeur, installé en fin de canton, est composé :

- D'un Appareil Tendeur, de type à roue;
- De contrepoids destinés à mettre le fil sous tension;
- D'un système de guidage nécessaire au bon alignement de l'ensemble.

Dans le but de réduire la charge (contrepoids) nécessaire pour équilibrer la tension mécanique du fil, l'appareil tendeur est un système de poulies donnant un rapport de démultiplication de 5 (appareil tendeur de rapport 1/5), de 4 (appareil tendeur de rapport 1/4) ou de 3 (appareil tendeur de rapport 1/3).

Pour exemple, sur la ligne Montréal/Deux-Montagnes, la tension mécanique maintenue dans le fil de contact est de 12 000 Newtons pour le fil caténaire et de 12 000 Newtons pour le porteur.

Dans le cas d'un appareil tendeur de rapport 1/5, la charge du contrepoids doit être de $(12\ 000\ \text{N} + 12\ 000\ \text{N}) / (5)$ soit, 4 800 N ou 480 kg. Ces tensions mécaniques sont maintenues dans la plage de régularisation (températures entre -50°C à $+50^{\circ}\text{C}$)

Le non-respect de ces plages de régularisation peut entraîner :

- La dégradation du captage par perte de tension mécanique dans les conducteurs, en cas de butée d'été trop vite atteinte;

- Le déplacement excessif des éléments griffés côté Appareil Tendeur en cas de butée d'été atteinte trop tardivement.

Figure 3.15 - Appareil tendeur (Ici rapport 1/5)

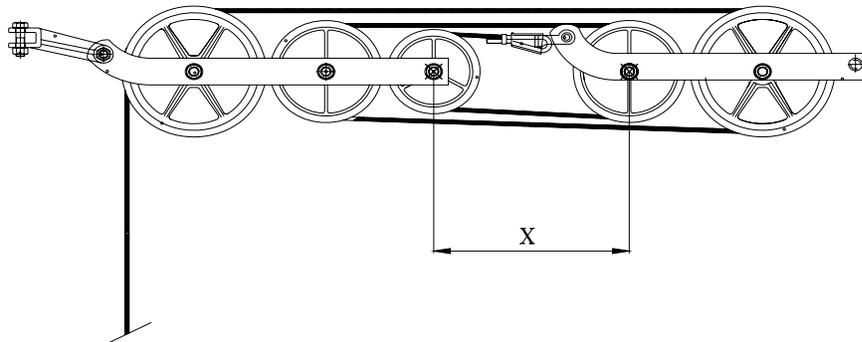
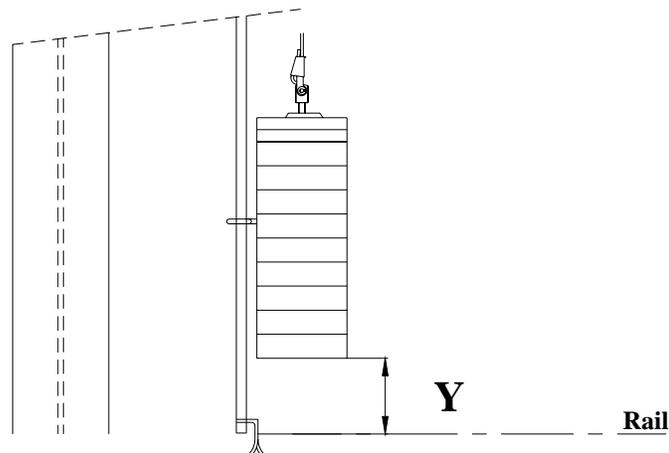


Figure 3.16 – Contrepoids



3.4 CONTINUITÉ DU PLAN DE CONTACT

Le guidage du pantographe devant s'effectuer sans discontinuité d'un canton de pose à l'autre, les extrémités de ces cantons se chevauchent sur une certaine longueur. Cette partie commune s'appelle la **zone commune**.

Les caténaires doivent assurer deux fonctions :

- Continuité mécanique (contact permanent pantographe/fil de contact);
- Continuité électrique (alimentation des moteurs de traction).

Cette continuité entre cantons de pose successifs est réalisée de plusieurs façons :

- Par équipement tendeur;
- Par sectionnement électrique (sectionnement à lame d'air, isolateur de section).

Le sectionnement électrique est réalisé lorsque, pour des raisons d'exploitation ou de maintenance, il est nécessaire d'isoler électriquement, l'un de l'autre, deux éléments consécutifs de caténaies.

3.5 ÉQUIPEMENT TENDEUR

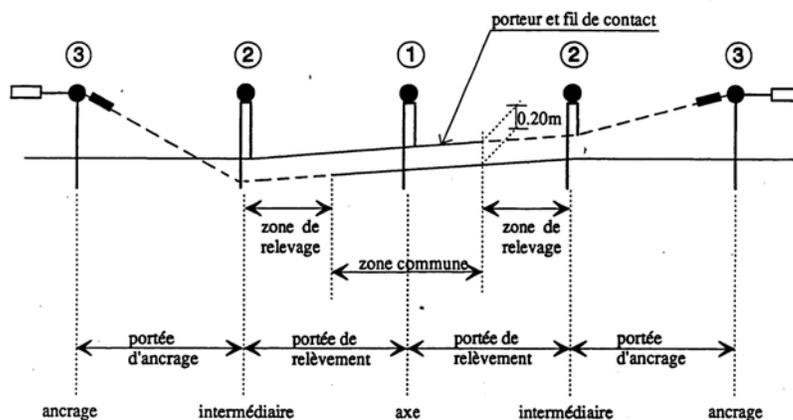
Dans la zone commune, les fils de contact et les porteurs cheminent côte à côte et sont distants, respectivement de 0,20 m.

Chaque demi-zone commune est suivie d'une zone de relèvement vertical du fil de contact au-dessus du plan de contact de la zone commune ce qui constitue la portée de relèvement. Le support qui permet ce relèvement est appelé intermédiaire.

Chaque portée de relèvement est suivie de la (ou des) porté (es) d'ancrage. Le support qui permet l'ancrage est appelé ancrage.

La continuité électrique de l'ensemble est réalisée par des connexions.

Figure 3.17 –Équipement tendeur



3.6.3 Isolateurs de section

Les isolateurs de section sont insérés dans le plan caténaire, le porteur au droit de l'isolateur de section est constitué d'une pièce isolante. Trois types d'isolateurs de section sont utilisés sur la ligne Montréal/Deux-Montagnes :

- L'isolateur double entrée qui permet une circulation de 40 km/h;
- L'isolateur à masse concentrée qui permet une circulation de 90 km/h dans le sens préférentiel et de 60 km/h dans le sens inverse;
- L'isolateur à grande vitesse franchissable à 120 km/h dans les deux sens.

Figure 3.19 - Exemple d'isolateur (Isolateur à masse concentrée)



3.7 ÉQUIPEMENT DES AIGUILLAGES

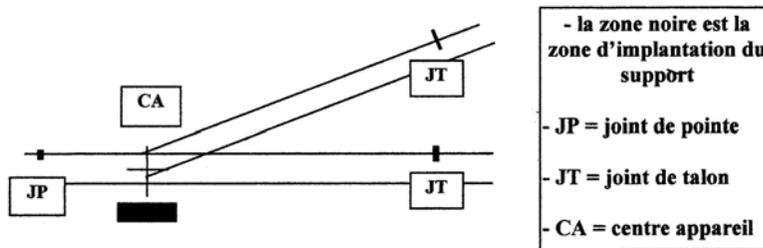
Pour assurer le guidage en hauteur des pantographes et le captage du courant de traction au franchissement des aiguillages, quel que soit l'itinéraire parcouru, des équipements particuliers et des réglages sont réalisés sur les branches directes et déviées de ces aiguillages.

3.7.1 Guidage en hauteur

Les archets des pantographes doivent, à tout instant être guidés :

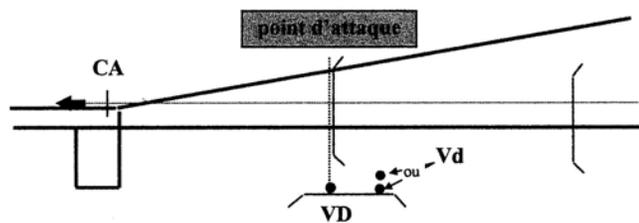
- Entre le joint de pointe et le centre de l'appareil de voie, par le fil de contact de la voie directe;
- Entre le centre de l'appareil de voie et le joint de talon, par le fil de contact de la voie parcourue.

Figure 3.20 - Aiguillage de caténaire



Dans la zone de transition de guidage, il existe un point appelé « point d'attaque » où la hauteur du fil de contact de la branche déviée doit être supérieure ou égale à la hauteur du fil de contact de la branche directe. Ce réglage est fonction des vitesses de franchissement de l'appareil.

Figure 3.21 - Point d'attaque

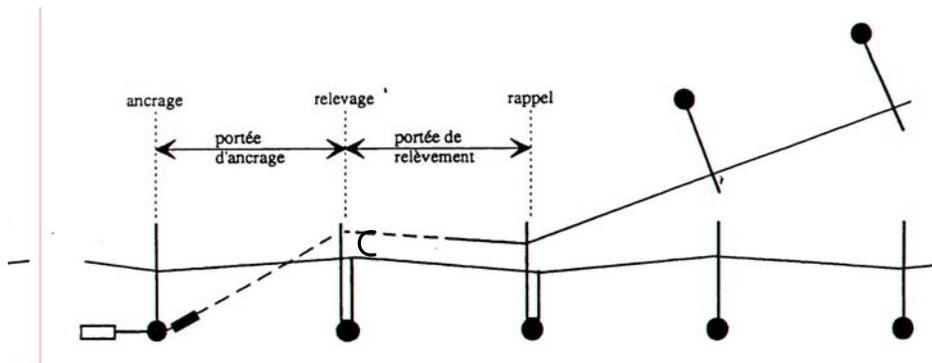


La différence admissible de hauteur entre les fils de contact est en fonction de la vitesse de la voie déviée :

- La vitesse de la voie déviée est égale à la vitesse de la voie directe, les deux fils de contact sont à la même hauteur;
- La vitesse de la voie déviée est différente de la voie directe et inférieure à 90 km/h le fil de contact de la voie déviée est surélevé de 5 cm par rapport à la voie directe.

Pour un observateur placé en talon de l'appareil et regardant vers le joint de pointe, la ligne aérienne de traction électrique équipant la voie déviée, après avoir été rappelée reste sensiblement parallèle à celle équipant la voie directe jusqu'à la suspension précédant la portée d'ancrage.

Figure 3.22 - Équipement d'aiguillage



Les caractéristiques des pantographes imposent qu'à proximité du centre de l'appareil le fil de contact de la voie déviée soit à une distance maximale de 0,20 mètres du fil de contact de la voie directe afin d'éviter, quel que soit l'itinéraire parcouru :

- Toute discontinuité du captage du courant;
- Tout accrochage des cornes de pantographes avec les fils de contact.

3.8 CONNEXIONS

Afin de fournir une circulation du courant la meilleure possible, des connexions électriques ont pour but d'assurer :

- L'alimentation au droit du poste de traction électrique;
- Le pontage éventuel des isolateurs de section;
- La continuité électrique aux équipements tendeurs et aiguillages;
- La répartition convenable du courant entre les conducteurs.

Figure 3.23 - Pontage éventuel d'un isolateur



Figure 3.24 - Connexion de continuité



Figure 3.25 - Connexion de répartition



La distance maximale entre deux connexions de répartition est de 200 m.

3.9 ÉQUIPEMENT DES PONTS ROUTES

3.9.1 Passage sous les ouvrages

Dans la mesure du possible, il est requis que la caténaire puisse franchir un ouvrage en passage libre.

Il est préférable que les porteurs soient isolés sous les PI avec un porteur dit « porteur protégé », ce qui évite des amorçages lors de fuites d'eau ou de génération de stalactites de glace sous les voûtes.

L'âme est recouverte d'une couche isolante avec une gaine protectrice. Une distance minimale de 0,30 m entre le porteur et l'ouvrage est à respecter.

En fonction des contraintes de hauteur imposée du plan de contact, de l'ouverture suffisante ou non au droit des intrados des ouvrages, et de coûts induits de modification, divers aménagements développés ci dessous permettent le franchissement des ouvrages.

3.9.2 Détermination de la hauteur libre de l'ouvrage

Sur la ligne Montréal/Deux-Montagnes, Il est évalué que la distance minimale requise pour permettre un libre passage de la caténaire sous un ouvrage est de 7.70 mètres (arrondi), décomposé comme suit :

- Marge voie (tolérance de hauteur par rapport à l'altitude de référence) : 0.15 m;
- Hauteur du plan de contact par rapport au-dessus du rail : 6.92 m;
- Distance minimale de pendulage entre le fil de contact et le câble porteur : 0.30 m;

- Distance d'isolement par rapport aux masses : 0.32 m.

Ces distances nominales sont données à titre indicatif et peuvent varier en fonction des contraintes d'ordre technique et économique identifiées et traitées lors des études de détail.

3.9.3 Équipements possibles

Les types d'équipements qui peuvent être installés sous les Passages Inferieurs, sont classés par ordre de préférence

- Équipement en passage libre, le porteur et le fil de contact passent librement sous l'ouvrage, en respectant certaines conditions de piquetage (centrage de la portée, réduction de l'encombrement, etc. :
 - Équipement avec fixation du porteur sous l'ouvrage, dans ce cas la caténaire est fixée sur les faces de l'ouvrage, la flèche de contact est supprimée;
 - Équipement avec ancrage du porteur sur l'ouvrage. Il est nécessaire de maintenir la section cuivre par l'adjonction d'un câble isolé qui franchi l'ouvrage en reliant les porteur ancrés de chaque côté;
 - Mise en œuvre d'une section de caténaire rigide, dans les cas extrêmes.

Le choix du type d'équipement dépendra :

- Des caractéristiques de l'ouvrage :
 - Hauteur libre au-dessus de la voie à équiper;
 - Forme de l'intrados;
 - Largeur suivant l'axe des voies.
- De la position du PI dans la portée et de la longueur de cette portée qui est fonction :
 - Du tracé de la voie;
 - De la présence de point obligé (branchements, etc.).
- De la hauteur minimale des fils de contact imposée par la proximité de :
 - Passage a niveau;
 - Autres points inférieurs.
- De l'encombrement minimal de la caténaire aux suspensions dû aux équipements situés aux abords ou sous l'ouvrage :
 - Isolateurs de section;
 - Sectionnements, équipements tendeurs, aiguillages.

3.10 VOIES DE SERVICE

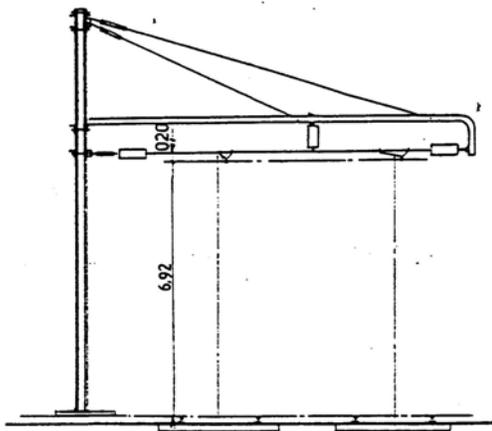
Les lignes de traction des Voies de Service sont réalisées plus simplement que celle des voies principales :

- Soit par une caténaire (un porteur et un seul fil de contact). Dans ce cas, les montages seront similaires au VP;
- Soit par ligne de contact, c'est-à-dire un ou deux fils de contact sans porteur. Dans ce cas, les montages (armement, aiguillages, etc.) seront plus simples. Un seul fil est alors suffisant.

3.10.1 Équipement par poteau indépendant

Les voies de service peuvent être équipées de poteaux indépendants avec un montage sur console à bec. Ce type de montage peut permettre d'équiper jusqu'à 3 voies.

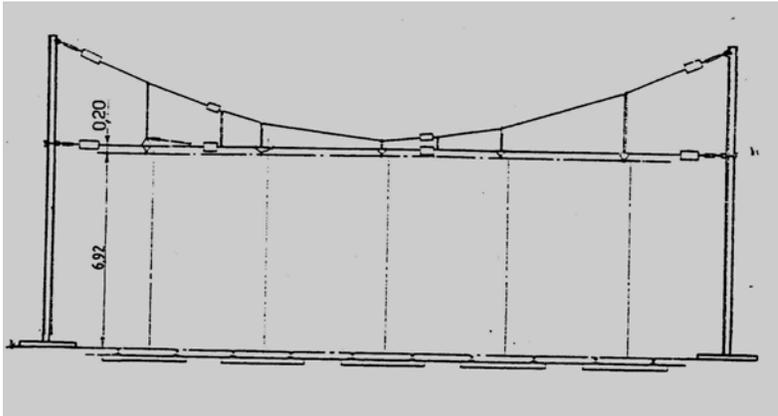
Figure 3.26 - Portique indépendant avec montage sur console dite à bec



3.10.2 Équipement des VS par portique souple

Lorsque le nombre de voies est supérieur à 3, les VS sont équipées de portiques souples pour voies de service. Ils sont constitués de 2 pieds droits réunis par un porteur auquel est attaché un transversal qui supporte le fil par l'intermédiaire de système en V.

Figure 3.27 - Portique souple pour voies de services



4. PROTECTION DES STRUCTURES ET DES EQUIPEMENTS

Les structures métalliques et les équipements composant l'environnement du chemin de fer sont susceptibles d'être, directement ou indirectement, portés à des potentiels pouvant atteindre 25 kV. Le présent chapitre présente les mesures nécessaires à leur protection. Elle est constituée d'un réseau de conducteurs auxquels viennent se raccorder les équipements et les différentes structures.

4.1 CONDUCTEUR DE PROTECTION AERIEN

Ces conducteurs, communément appelés CdPA, sont constitués par des câbles en aluminium/acier continu, non isolés, de 93 mm^2 de section. Ils sont fixés directement aux supports des caténaires et en cas de besoin, aux portiques de signalisation.

Des liaisons régulièrement espacées assurent leur connexion au potentiel des rails.

4.2 COLLECTEUR DE TERRE

Un câble collecteur de terre de 38 mm^2 de section est disposé dans les caniveaux à câbles de chaque côté de la totalité de la longueur de la ligne.

En fonction de la nature de l'infrastructure (tunnel, viaduc, sol naturel) ce collecteur de terre est connecté, à intervalles réguliers, à un câble de terre enterré (CdTE) en zone de sol naturel ou à une terminaison de terre dans les tunnels ou sur les viaducs.

4.3 CONDUCTEUR DE TERRE ENTERRÉ

Un conducteur électrique, non-isolé, et déroulé en continu en tranchée d'un côté de la voie est mis en œuvre comme équipotentiel terre.

Ce câble, appelé CdTE, est utilisé comme suit :

- En zone de sol naturel :

Un câble de 35mm², en cuivre, est enterré et électriquement connecté, tous les 50 m, au collecteur de terre installé dans les caniveaux à câbles.

- En tunnel :

- Des connexions terminales de l'armature métallique du béton du tunnel sont installées sur les parois latérales des chemins de câbles, tous les 50 m;

- Le CdTE, déroulé en continu d'un côté, est relié aux connexions terminales concernant ce même côté.

- En viaduc

- Sur les viaducs en béton, l'armature métallique du tablier est reliée à des connexions terminales installées le long des parapets, à des intervalles variant de 40 m à 80 m, suivant le type d'ouvrage;

- L'armature métallique des piles est reliée à des tubes enterrés sous celles-ci à une profondeur égale ou supérieure à 10 m;

- Les armatures métalliques du tablier et des piles sont connectées électriquement à un câble commun passant sous le tablier du viaduc.

4.4 LIAISON TRANSVERSALE INTEGRALE

Ces Liaisons Transversales Intégrales (LTI) regroupent tous les conducteurs du retour traction et de mises à la terre des structures métalliques environnantes, dans le but d'abaisser au maximum l'impédance de ces circuits et de collecter les courants vagabonds.

Leur espacement moyen est d'environ 700 à 1000 mètres et elles devront être implantées de manière à ne pas perturber le fonctionnement des circuits de voie.

Les LTI sont obligatoirement installées :

- Aux sous-stations et aux postes de traction électrique équipés d'autotransformateurs;
- Aux points de raccordement du retour du courant de traction (voies secondaires, embranchements, etc.);
- À une distance $d < 500$ mètres :

- Des salles d'appareillage signalisation et / ou de télécommunications;
- Des quais à voyageurs;
- Des communications entre deux voies;
- Des ponts routiers.

5. SIGNALISATION SPÉCIFIQUE AUX INSTALLATIONS DE TRACTION ÉLECTRIQUES

Une signalisation spécifique aux installations de traction électriques devra être mise en place. Il s'agit :

- De la signalisation à destination des mécaniciens, notamment :
 - Des signaux « fin de caténaire », signalant la fin de la zone électrifiée et délimitant la zone à ne pas franchir avec le pantographe levé;
 - Des signaux de « coupez courant », implantés à l'approche des sections de séparation de phase (une pancarte à distance à 500 m du premier sectionnement, un signal d'exécution " coupez courant", un signal "fin de parcours courant coupé").
- De la signalisation à destination du public et des personnels :
 - Plaques de prévention : « Danger de mort » - « 25 000 V » - « Défense de toucher aux fils - Ligne de contact sous tension »;

Elles seront mises en place sur les supports à quais, auvents, panneaux grillagés et dans les zones ouvertes au public.

- De la signalisation à destination des personnels de maintenance
 - Numéro d'identification des supports;
 - Des signaux mentionnant une hauteur de caténaire particulière;
 - Plaques « Condamnez défense de manœuvrer ».

Annexe B

Schéma de la ligne empruntée par les rames de l'AMT

Annexe C

Résultat des Simulations

Scénario Bi-mode – Sens Gare Centrale-Mascouche

RAILSIM v7 Report Generator - [TPC Train Summary Report: tpcout089.dat]

Station (ID)	Event (State)	Elapsed Time (Hrs:Min:Sec)	Distance (Meters)	Average Spd. (Km/h)	Make Up (Percent)	Power Consumption (kwh)
gare centrale	Departure	0:00:00.00	0.00		N.A.	0.00000
canora	Arrival	0:06:32.10	5486.69	50.37	0.00	287.48386
canora	Departure	0:07:12.10	0.00	45.71	0.00	0.00000
Mont royal	Arrival	0:08:47.70	917.13	34.54	0.00	62.82418
Mont royal	Departure	0:09:27.70	0.00	24.35	0.00	0.00000
Jct Est	Pass	0:13:04.70	2993.62		N.A.	112.50801
lacadie	Arrival	0:14:42.90	1125.42	47.04	0.00	14.55982
lacadie	Departure	0:15:22.90	0.00	41.75	0.00	0.00000
sauve	Arrival	0:18:04.70	1914.71	42.60	0.00	108.85381
sauve	Departure	0:18:44.70	0.00	34.16	0.00	0.00000
pie IX	Arrival	0:22:33.00	3925.96	61.91	0.00	178.46561
pie IX	Departure	0:23:13.00	0.00	52.68	0.00	0.00000
lacordaire	Arrival	0:26:01.50	2606.58	55.69	0.00	125.87898
lacordaire	Departure	0:26:41.50	0.00	45.01	0.00	0.00000
A25	Arrival	0:29:11.30	2107.79	50.65	0.00	139.45102
A25	Departure	0:29:51.30	0.00	39.98	0.00	0.00000
saint-jean	Arrival	0:35:17.20	6436.00	71.09	0.00	200.64138
saint-jean	Departure	0:35:57.20	0.00	63.32	0.00	0.00000
pointe aux trembles	Arrival	0:39:19.00	3523.71	62.86	0.00	122.68017
pointe aux trembles	Departure	0:39:59.00	0.00	52.46	0.00	0.00000
charlemaque	Arrival	0:45:26.20	5020.08	55.23	0.00	180.78765
charlemaque	Departure	0:46:06.20	0.00	49.22	0.00	0.00000
Jct AMT	Pass	0:47:04.20	597.03		N.A.	71.84631
le gardeur	Arrival	0:48:50.50	1816.47	52.88	0.00	61.84131
le gardeur	Departure	0:49:30.50	0.00	42.53	0.00	0.00000
Terrebonne	Arrival	0:59:14.70	10957.29	67.52	0.00	371.76104
Terrebonne	Departure	0:59:54.70	0.00	63.19	0.00	0.00000
mascouche	Arrival	1:02:03.00	1415.92	39.73	0.00	86.35746
Run Total (With Dwells)			50844.40	49.16	0.00	2125.94262
Run Total (Without Dwells)			50844.40	56.44	N.A.	2125.94262

Consommation :

- Jonction de l'est-Mascouche : $2126 - (112 + 63 + 287) = 1664$ kWh;
- Début portion de voie AMT-Mascouche : $71 + 61 + 371 + 86 = 589$ kWh.

Scénario Bi-mode – Sens Mascouche-Gare Centrale

Station (ID)	Event (State)	Elapsed Time (Hrs:Min:Sec)	Distance (Meters)	Average Spd (Km/h)	Make Up (Percent)	Power Consumption (kwh)
mascouche	Departure	0:00:00.00	0.00		N.A.	0.00000
Terrebonne	Arrival	0:02:01.60	1415.92	41.92	0.00	80.88577
Terrebonne	Departure	0:02:41.60	0.00	31.54	0.00	0.00000
le gardeur	Arrival	0:12:14.70	10957.29	68.83	0.00	356.81248
le gardeur	Departure	0:12:54.70	0.00	64.34	0.00	0.00000
Jct AMT	Pass	0:14:39.20	1818.69		N.A.	123.69081
charlemaque	Arrival	0:15:31.30	594.81	55.48	0.00	1.05589
charlemaque	Departure	0:16:11.30	0.00	44.19	0.00	0.00000
pointe aux trembles	Arrival	0:21:09.70	5020.08	60.56	0.00	163.65054
pointe aux trembles	Departure	0:21:49.70	0.00	53.40	0.00	0.00000
saint-jean	Arrival	0:25:14.60	3523.71	61.91	0.00	115.45910
saint-jean	Departure	0:25:54.60	0.00	51.80	0.00	0.00000
A25	Arrival	0:30:54.20	6436.00	77.33	0.00	156.70777
A25	Departure	0:31:34.20	0.00	68.23	0.00	0.00000
lacadraire	Arrival	0:34:02.80	2107.79	51.06	0.00	135.68419
lacadraire	Departure	0:34:42.80	0.00	40.23	0.00	0.00000
pie IX	Arrival	0:37:26.00	2606.58	57.50	0.00	117.19287
pie IX	Departure	0:38:06.00	0.00	46.18	0.00	0.00000
saue	Arrival	0:41:33.70	3925.96	68.05	0.00	148.30457
saue	Departure	0:42:13.70	0.00	57.06	0.00	0.00000
lacadie	Arrival	0:44:44.50	1914.71	45.71	0.00	112.78038
lacadie	Departure	0:45:24.50	0.00	36.13	0.00	0.00000
Jct Est	Pass	0:47:09.90	1127.46		N.A.	53.03204
Mont royal	Arrival	0:50:47.70	2991.58	45.88	0.00	68.79263
Mont royal	Departure	0:51:27.70	0.00	40.83	0.00	0.00000
canora	Arrival	0:53:00.70	917.13	35.50	0.00	63.81077
canora	Departure	0:53:40.70	0.00	24.82	0.00	0.00000
gare centrale	Arrival	0:58:59.00	5486.69	62.05	0.00	239.73959
Run Total (With Dwells)			50844.40	51.72	0.00	1937.59940
Run Total (Without Dwells)			50844.40	59.84	N.A.	1937.59940

Consommation :

- Mascouche-Jonction de l'est- : $1937-(239+63+68+53) = 1634$ kWh;
- Début portion de voie AMT-Mascouche : $81+356+123=560$ kWh.

Scénario Diesel – Sens Gare Centrale-Mascouche

RAILSIM v7 Report Generator - [TPC Train Summary Report: tpcout093.dat]

Station (ID)	Event (State)	Elapsed Time (Hrs:Min:Sec)	Distance (Meters)	Average Spd (Km/h)	Make Up (Percent)	Power Consumption (Liters)
Section #1						
gare centrale	Departure	0:00:00.00	0.00		N.A.	0.00000
canora	Arrival	0:07:35.70	5486.69	43.34	0.00	47.80033
canora	Departure	0:08:15.70	0.00	39.85	0.00	0.00000
Mont royal	Arrival	0:09:57.20	917.13	32.53	0.00	9.02725
Mont royal	Departure	0:10:37.20	0.00	23.33	0.00	0.00000
Jct Est	Pass	0:14:25.90	2993.25		N.A.	16.20856
lacadie	Arrival	0:16:04.20	1125.79	45.35	0.00	3.27027
lacadie	Departure	0:16:44.20	0.00	40.40	0.00	0.00000
saueve	Arrival	0:19:36.30	1914.71	40.05	0.00	17.08266
saueve	Departure	0:20:16.30	0.00	32.50	0.00	0.00000
pie IX	Arrival	0:24:42.30	3925.96	53.13	0.00	32.35330
pie IX	Departure	0:25:22.30	0.00	46.19	0.00	0.00000
lacordaire	Arrival	0:28:30.80	2606.58	49.78	0.00	20.08695
lacordaire	Departure	0:29:10.80	0.00	41.07	0.00	0.00000
A25	Arrival	0:32:01.40	2107.79	44.48	0.00	19.11789
A25	Departure	0:32:41.40	0.00	36.03	0.00	0.00000
saint-jean	Arrival	0:38:59.00	6436.00	61.36	0.00	41.81618
saint-jean	Departure	0:39:39.00	0.00	55.48	0.00	0.00000
pointe aux trembles	Arrival	0:43:21.60	3523.71	56.99	0.00	24.51108
pointe aux trembles	Departure	0:44:01.60	0.00	48.31	0.00	0.00000
charlemaque	Arrival	0:50:03.50	5020.08	49.94	0.00	33.32136
charlemaque	Departure	0:50:43.50	0.00	44.97	0.00	0.00000
Jct AMT	Pass	0:51:47.50	595.33		N.A.	8.92474
le gardeur	Arrival	0:53:43.90	1818.17	48.16	0.00	10.72205
le gardeur	Departure	0:54:23.90	0.00	39.42	0.00	0.00000
Terrebonne	Arrival	1:04:47.60	10957.29	63.25	0.00	65.70764
Terrebonne	Departure	1:05:27.60	0.00	59.43	0.00	0.00000
mascouche	Arrival	1:07:45.90	1415.92	36.86	0.00	13.98004
Run Total (With Dwells)			50844.40	45.02	0.00	363.93030
Run Total (Without Dwells)			50844.40	51.04	N.A.	363.93030

Consommation :

- Jonction de l'est- Mascouche- : $363-(48+9+16) = 290$ litres;
- Jonction de l'est-Début de portion de voie AMT : $290-14-65-10=201$ litres.

Scénario Diesel – Sens Mascouche-Gare Centrale

RAILSIM v7 Report Generator - [TPC Train Summary Report: tpcout094.dat]

Station (ID)	Event (State)	Elapsed Time (Hrs:Min:Sec)	Distance (Meters)	Average Spd (Km/h)	Make Up (Percent)	Power Consumption (Liters)
Section #1						
mascouche	Departure	0:00:00.00	0.00		N.A.	0.00000
Terrebonne	Arrival	0:02:18.60	1415.92	36.78	0.00	14.08895
Terrebonne	Departure	0:02:58.60	0.00	28.54	0.00	0.00000
le qardeur	Arrival	0:13:21.70	10957.29	63.31	0.00	69.18242
le qardeur	Departure	0:14:01.70	0.00	59.49	0.00	0.00000
Jct AMT	Pass	0:16:11.70	1819.46		N.A.	19.34153
charlemaque	Arrival	0:17:07.40	594.04	46.79	0.00	0.15736
charlemaque	Departure	0:17:47.40	0.00	38.50	0.00	0.00000
pointe aux trembles	Arrival	0:23:30.20	5020.08	52.72	0.00	34.03882
pointe aux trembles	Departure	0:24:10.20	0.00	47.21	0.00	0.00000
saint-jean	Arrival	0:28:04.50	3523.71	54.14	0.00	24.96496
saint-jean	Departure	0:28:44.50	0.00	46.25	0.00	0.00000
A25	Arrival	0:34:12.30	6436.00	70.68	0.00	34.99554
A25	Departure	0:34:52.30	0.00	62.99	0.00	0.00000
lacordaire	Arrival	0:37:53.90	2107.79	41.78	0.00	20.22641
lacordaire	Departure	0:38:33.90	0.00	34.24	0.00	0.00000
pie IX	Arrival	0:41:47.20	2606.58	48.54	0.00	20.53157
pie IX	Departure	0:42:27.20	0.00	40.22	0.00	0.00000
saueve	Arrival	0:46:34.80	3925.96	57.08	0.00	30.54712
saueve	Departure	0:47:14.80	0.00	49.14	0.00	0.00000
lacadie	Arrival	0:50:09.50	1914.71	39.46	0.00	16.79900
lacadie	Departure	0:50:49.50	0.00	32.10	0.00	0.00000
Jct Est	Pass	0:52:42.80	1126.70		N.A.	11.96039
Mont royal	Arrival	0:56:30.50	2992.34	43.49	0.00	9.49275
Mont royal	Departure	0:57:10.50	0.00	38.92	0.00	0.00000
canora	Arrival	0:58:56.20	917.13	31.24	0.00	9.38253
canora	Departure	0:59:36.20	0.00	22.66	0.00	0.00000
qare centrale	Arrival	1:06:01.10	5486.69	51.32	0.00	44.51626
Run Total (With Dwells)			50844.40	46.21	0.00	360.22559
Run Total (Without Dwells)			50844.40	52.58	N.A.	360.22559

Consommation :

- Mascouche-Jonction de l'est : $360 - (44 + 9 + 9 + 11) = 287$ litres;
- Début portion de voie AMT-Jonction de l'est : $287 - 14 - 69 - 19 = 185$ litres.