
**Évaluation préliminaire des tracés, des
technologies et des coûts d'implantation
inhérents à un train haute vitesse entre
Montréal et la frontière américaine
(direction New York)**

**Évaluation préliminaire des tracés - Livrable B2
Faisabilité et coût d'implantation - Livrable C2**

Présenté par :

CANARAIL

1140 boul. de Maisonneuve. Ouest, bureau 1050
Montréal, Québec
H3A 1M8 – CANADA

Téléphone: (514) 985-0930
Fax (514) 985-0929
E-Mail inbox@canarail.com

Septembre 2003
Projet No 03-108

Présenté au :

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC

700, boul. René-Lévesque Est
4e étage
Québec (Québec)
G1R 5H1

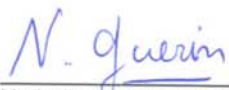
Titre du document : Évaluation préliminaire des tracés - Livable B2
Faisabilité et coût d'implantation - Livable C2

Description : Livable B2 et C2

Date : 10 septembre 2003

No. Projet : 03-108

Rédacteur(s) :



Nathalie Guérin, ing.jr.



Jean-Luc Dupré, ing. stagiaire



Claude Messier, ing.

Vérificateur :



Sad Pirbay, ing.

Approbateur :



Don Gillstrom, ing
Directeur de projet

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. INTRODUCTION	1
1.1 RAPPEL DES OBJECTIFS DU LIVRABLE B2	2
1.2 RAPPEL DES OBJECTIFS DU LIVRABLE C2	3
2. DIAGRAMMES DE SYNTHÈSE	4
3. TRACÉS	5
3.1 COURBES.....	5
3.2 EMPRISE	6
3.3 CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES	6
3.4 TRACÉ I	7
3.4.1 Problématiques.....	7
3.4.2 Améliorations	11
3.5 TRACÉ II	12
3.5.1 Problématiques.....	12
3.5.2 Améliorations.....	13
3.6 TRACÉS MIXTES ET VARIANTES	15
3.6.1 Problématiques.....	15
3.6.2 Améliorations	16
4. INFRASTRUCTURE.....	17
4.1 VOIE.....	17
4.2 TERRASSEMENT	17
4.3 OUVRAGES D'ART	18
4.4 CLÔTURAGE	18
4.5 GARES ET VOIES D'ÉVITEMENT	18
4.5.1 Voie d'évitement pour le croisement de deux trains rapides	18
4.5.2 Voie d'évitement pour le croisement ou le dépassement d'un train de marchandise	19
4.6 AMÉLIORATIONS	19
4.6.1 Voie	19
4.6.2 Voie d'évitement	19

5. SIGNALISATION ET PASSAGES À NIVEAU	22
5.1 RAPPEL DES EXIGENCES DE LA FRA	22
5.1.1 Passages à niveau	22
5.1.2 Signalisation	22
5.1.3 Équipement embarqué	23
5.2 PASSAGES À NIVEAU	23
5.3 SIGNALISATION ET CHOIX DES SYSTÈMES	24
5.3.1 Vitesses de 200 à 240 km/h (V1 et V2)	24
5.3.2 Vitesses supérieures à 300 km/h (V3)	24
5.3.3 Choix des systèmes	25
5.3.4 Systèmes futurs	25
5.4 AMÉLIORATIONS PROPOSÉES	26
5.4.1 Passages à niveau pour V1	26
5.4.2 Passages à niveau pour les tracés I et II à V2	27
5.4.3 Signalisation des lignes existantes pour V1 et V2	28
5.4.4 Système de contrôle de vitesse et de signalisation de cabine pour V1 et V2	31
6. TÉLÉCOMMUNICATIONS	32
6.1 SPÉCIFICATION	32
6.2 AMÉLIORATIONS PROPOSÉES	32
6.2.1 Artère principale	33
6.2.2 Système de liaisons radio « Very High Frequency »	34
6.2.3 Systèmes d'aide à l'exploitation	35
6.3 VARIANTE	35
7. ÉLECTRIFICATION	36
7.1 CHOIX	36
7.2 PERTURBATIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES	36
7.3 ÉVALUATION DE LA PUISSANCE INSTALLÉE	36
8. COÛTS UNITAIRES	38
8.1 INFRASTRUCTURE	38
8.2 SIGNALISATION	38
8.3 TÉLÉCOMMUNICATIONS	39
8.4 ÉLECTRIFICATION	40
8.5 MATÉRIEL ROULANT	41

9. MODÈLE DE COÛTS	45
10. SOLUTIONS POUR LA GAMME V1	46
10.1 TRACÉ I	46
10.2 TRACÉ II	46
10.3 COMPARAISON DES TRACÉS	46
11. SOLUTIONS POUR LA GAMME V2	48
11.1 TRACÉ I	48
11.2 TRACÉ II	48
11.3 COMPARAISON DES TRACÉS	49
12. SOLUTIONS POUR LA GAMME V3	50
12.1 TRACÉ I	50
12.2 TRACÉ II	50
12.3 COMPARAISON DES TRACÉS	51
13. EXPLOITATION	52
13.1 TEMPS DE PARCOURS	52
13.2 ÉVALUATION ALTERNATIVE	53
13.2.1 Restriction de vitesse de la courbe au nord de Lacolle	53
13.2.2 Évaluation d'un tracé alternatif à V1	53
13.3 GRAPHIQUE DE CIRCULATION	53
13.4 CONSÉQUENCES D'UNE EXPLOITATION HIVERNALE	55
14. ASPECTS LÉGAUX ET RÉGLEMENTAIRES	56
14.1 ENVIRONNEMENT	56
14.2 URBANISME ET AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE	57
14.3 TERRITOIRE AGRICOLE	58
15. CONCLUSION	59

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Diagrammes de synthèse du tracé I pour la gamme de vitesses V1
Annexe 2	Diagrammes de synthèse du tracé I pour la gamme de vitesses V2
Annexe 3	Diagramme de synthèse du tracé II pour la gamme de vitesses V1
Annexe 4	Diagramme de synthèse du tracé II pour la gamme de vitesses V2
Annexe 5	Détail des contraintes additionnelles portant sur la signalisation

Annexe 6	Fonctionnalités des installations d'alimentation de traction
Annexe 7	Estimation des coûts - tracé I - V1
Annexe 8	Estimation des coûts - tracé II - V1
Annexe 9	Estimation des coûts - tracé I - V2 - sans et avec électrification
Annexe 10	Estimation des coûts - tracé II - V2 - sans et avec électrification
Annexe 11	Estimation des coûts - tracé I - V3
Annexe 12	Estimation des coûts - tracé II - V3
Annexe 13	Graphiques de circulation - tracé I - V1 et tracé II - V1

1. INTRODUCTION

À l'initiative du ministère des Transports du Québec (MTQ), une évaluation préliminaire des tracés, des technologies et des coûts d'implantation inhérents à un train haute vitesse entre Montréal et la frontière américaine (direction New York) a débuté en février 2003.

À ce stade de l'étude, CANARAIL, mandaté par le MTQ, a effectué :

- une revue des études réalisées sur le transport interurbain voyageur par train rapide au Québec et dans les états voisins (livrable A);
- une revue des technologies en utilisation commerciale, aussi bien pour le matériel roulant que pour la signalisation ferroviaire (livrable C1);
- et finalement un bilan de l'état actuel des voies des réseaux du CN et du CP entre Montréal et la frontière américaine (livrable B1).

Le présent rapport présente les spécifications technologiques concernant l'infrastructure ferroviaire et le matériel roulant pour permettre des circulations sur les tracés existants à des vitesses maximales de 200 km/h (V1), 240 km/h (V2 - haute vitesse) et 300 km/h (V3 - grande vitesse). Il aborde aussi les coûts liés à l'implantation des tracés, de l'infrastructure et du matériel roulant.

Ce rapport contient deux livrables contractuels :

- le premier, soit le **livrable B2** porte sur l'évaluation préliminaire des tracés. Il est traité par le biais des chapitres 2 à 7.
- le second, soit le **livrable C2**, présente la faisabilité des tracés et les coûts d'implantation. Il se compose des chapitres 8 à 13 du présent rapport.

CANARAIL souhaite insister sur la précision de la présente étude. En effet, compte tenu de la durée et des données disponibles, cette étude peut être qualifiée d'étude de pré-faisabilité. Les améliorations à apporter à l'infrastructure ferroviaire, aux systèmes de signalisation et de télécommunications sont définies à partir de l'information fournie par les réseaux et dans le cas où cette dernière est manquante, les améliorations sont élaborées en considérant une situation originale typique vérifiant les règles de l'art.

Le but de ce travail est de fournir aux décideurs les éléments nécessaires et suffisants pour décider de la pertinence technique d'une liaison ferroviaire entre Montréal et la frontière américaine.

1.1 RAPPEL DES OBJECTIFS DU LIVRABLE B2

À partir des tracés I et II définis dans le livrable B1 intitulé « Bilan de l'état actuel des réseaux ferrés existants de Montréal à la frontière américaine pour les tracés I et II », CANARAIL a évalué les améliorations et mises à niveau nécessaires du système voie-véhicule afin d'adapter les tracés à la haute vitesse.

La démarche proposée consiste à :

- définir les spécifications pour le tracé et le profil de la voie;
- définir les spécifications en signalisation;
- définir les spécifications pour les passages à niveau;
- prendre en compte les zones protégées.

Ainsi des *tracés haute vitesse* sont proposés. Les améliorations à apporter aux tracés existants sont reportées sur les diagrammes de synthèse. Les hypothèses d'exploitation sont alors simulées.

Les différentes tâches de spécification des préalables (conditions) permettent d'identifier le niveau minimal d'exigences à respecter pour implanter de nouvelles technologies en conformité avec celles de la « Federal Railroad Administration (FRA) » du « U.S. Department of Transportation ». Le respect des spécifications de la FRA permet d'assurer une compatibilité entre le système ferroviaire développé au Canada et celui des États-Unis. Par ailleurs le respect de ces spécifications permet de soumettre le projet à une demande de financement de la part des États-Unis. Ces spécifications sont émises pour les tracés I et II et pour les gammes de vitesse V1 et V2.

Compte tenu de l'ensemble de ces spécifications (techniques et environnementales), CANARAIL passe en revue les tracés I et II pour vérifier s'il existe des endroits où les exigences minimales ne sont pas respectées. Le cas échéant, des solutions « types » sont proposées. Ainsi, les diagrammes de synthèse sont établis pour les tracés I et II et les gammes de vitesse V1 et V2.

CANARAIL propose que les améliorations à apporter aux tracés pour la vitesse V1 restent dans la limite de l'emprise ferroviaire. Cette approche permettra de limiter les coûts pour les tracés à V1.

La FRA exige une séparation entre le rail et la route pour les vitesses supérieures à 200 km/h. Ainsi la plupart des passages à niveau devront être éliminés ou remplacés par des ponts routiers. Par ailleurs, CANARAIL propose des sections de lignes nouvelles permettant des vitesses maximums pour chacune des gammes étudiées. Pour des raisons de budget, de telles sections sont proposées uniquement à l'extérieur des zones urbaines.

Les hypothèses d'exploitation sur ces tracés préliminaires sont à la base de simulations de circulation. Ces dernières permettent d'établir des diagrammes d'exploitation, d'identifier les plages disponibles pour l'exploitation d'une nouvelle technologie et d'évaluer approximativement les temps de parcours. Les zones de conflits, ainsi que les besoins en infrastructures nouvelles (voies d'évitement additionnelles ou nouveaux segments de voie), sont alors identifiés.

L'analyse des tracés et des options technologiques se fait dans une perspective de développement durable. Dans le cadre de cet exercice, les zones problématiques, autant du milieu humain que du milieu naturel, sont prises en compte. Ces zones sont évitées autant que possible et, si elles ne peuvent l'être, les principales mesures d'atténuation ou de compensation seront indiquées, afin que leur coût puisse être considéré dans la comparaison des options.

Finalement, le tracé pourra être amélioré pour éviter d'éventuels conflits d'exploitation ou zones protégées.

1.2 RAPPEL DES OBJECTIFS DU LIVRABLE C2

Basée sur la définition des spécifications techniques pour les différentes gammes de vitesse, la démarche utilisée consiste à :

- définir les coûts unitaires;
- évaluer des coûts d'implantation des tracés et des technologies (matériel roulant et signalisation);
- évaluer la faisabilité des différentes options.

À partir des diagrammes de synthèse reportant l'état actuel des voies, les spécifications sont appliquées et des diagrammes, mis à jour avec les améliorations proposées, sont produits pour chaque tracé et pour les gammes de vitesse V1 et V2.

CANARAIL a développé alors des coûts unitaires approximatifs pour chaque type d'améliorations et a réévalué les coûts totaux d'implantation du projet, en précisant quels sont ceux liés à l'adaptation de l'infrastructure, ceux liés à l'alimentation, ceux liés à la signalisation et au besoin au contrôle-commande, puis ceux liés au matériel roulant, etc.

Finalement, les exigences légales et réglementaires qui pourraient être requises pour l'approbation de constructions à l'extérieur des emprises existantes sont abordées.

2. DIAGRAMMES DE SYNTHÈSE

CANARAIL a produit à partir des diagrammes de synthèse présentant les conditions actuelles des tracés I et II une nouvelle version de ces diagrammes présentant les améliorations à apporter à chacun des tracés pour les gammes V1 et V2.

Les améliorations reportées sur les diagrammes figurent toujours en rouge. Elles peuvent concerner l'implantation du tracé, les caractéristiques des composants de la voie, les courbes, les passages à niveau ou les ponts. Dans l'encart *Configuration de la voie rapide*, le type de voie - existante, nouvelle ou réhabilitée, est mentionné ainsi que les principales vitesses restrictives. L'exploitation des trains est aussi mise à jour pour faire apparaître la liaison Montréal-New York.

L'annexe 1 présente les diagrammes de synthèse du tracé I pour la gamme de vitesses V1, et l'annexe 2, ceux du tracé I pour la gamme de vitesses V2.

L'annexe 3 présente les diagrammes de synthèse du tracé II pour la gamme de vitesses V1, et l'annexe 4, ceux du tracé II pour la gamme de vitesses V2.

3. TRACÉS

Dans cette section, CANARAIL présente les spécifications des courbes de raccordement, puis les différentes améliorations et modifications qu'il est possible d'apporter aux tracés I et II, afin de permettre des circulations à 200 et 240 km/h.

Pour la vitesse V3, CANARAIL suggère des tracés pour les réseaux de CN et CP qui sont élaborés à partir des sections existantes dans la région du Grand Montréal. Ces sections seraient complétées par des sections de voie nouvelles, situées autant que possible dans l'emprise ferroviaire existante.

3.1 COURBES

Les courbes seront améliorées, au besoin, afin de permettre une augmentation de la vitesse.

Toutefois, dans le cas de la gamme V1, les courbes seront modifiées tout en restant dans l'emprise ferroviaire actuelle, ce qui signifie que la vitesse de franchissement de ces courbes pourrait être inférieure à 200 km/h. Le détail de ces améliorations n'est pas présenté dans ce rapport, mais pourrait faire l'objet d'études techniques approfondies ultérieures.

Les caractéristiques des courbes minimales selon la gamme de vitesses étudiées, sont contenues dans le tableau 3.1. La démarche suivie pour calculer ces courbes, compte tenu des pratiques, est décrite ci-dessous.

Tableau 3.1 - Vitesse, dévers et rayon de courbure minimal

	V ₁	V ₂	V ₃
Vitesse maximum	200 km/h	240 km/h	300 km/h
Dévers maximum	114,3 mm 4½"	114,3 mm 4½"	152,4 mm 6"
Insuffisance de dévers sans pendulation	114,3 mm 4½"	114,3 mm 4½"	114,3 mm 4½"
Insuffisance de dévers avec pendulation	114,3 + 152,4, soit 266,7 mm 4½" + 6", soit 10½"	114,3 + 152,4 soit 266,7 mm 4½" + 6", soit 10½"	
Rayon de courbure minimum sans pendulation	1 630 m	2 350 m	3 230 m
Rayon minimum de courbure avec pendulation	1 070 m	1 530 m	

En Amérique du Nord, la vitesse maximale courante pour le fret est de 96 km/h (60 mph). Le dévers maximal permis pour le fret est de 114,3 mm (soit 4½"). Connaissant le couple (vitesse - dévers), le rayon de courbure minimal peut être calculé.

Pour les lignes qui sont partagées par des circulations fret et passager, la pratique européenne permet d'augmenter le dévers de 38 mm (soit 1½"), afin de permettre des circulations plus rapides pour le transport passager. Toutefois, le dévers maximal permis ne doit pas excéder 114,3 mm (soit 4½").

Par ailleurs, l'insuffisance de dévers additionnelle acceptée pour les circulations pendulaires est de 152,4 mm (soit 6").

Sur les lignes parcourues uniquement par du transport passager, ce qui serait le cas pour une ligne à 300 km/h, un dévers maximum de 152,4 mm (soit 6") est permis ainsi qu'une insuffisance de dévers de 114,3 mm (soit 4½"). Il en résulte donc un dévers maximal de 266,7 mm (soit 10½").

3.2 EMPRISE

L'implantation des tracés pour la vitesse V1 reste similaire à celle des tracés actuels. Afin de limiter les coûts, les modifications effectuées sur certaines courbes restrictives restent à l'intérieur de l'emprise ferroviaire actuelle.

Pour la gamme de vitesses V2, CANARAIL suggère l'acquisition de nouvelles sections d'emprise ferroviaire, afin d'améliorer les courbes les plus restrictives des tracés existants.

Pour respecter les contraintes sécuritaires associées à une exploitation ferroviaire à grande vitesse, soit de l'ordre de 300 km/h, CANARAIL suggère de construire une nouvelle ligne dédiée strictement à la grande vitesse. Cette nouvelle ligne serait implantée le long des tracés existants à l'intérieur de l'emprise ferroviaire actuelle. Toutefois, il serait nécessaire acquérir de nouvelles sections d'emprise pour permettre une vitesse de circulation de 300 km/h à l'extérieur de la zone urbaine du Grand Montréal.

3.3 CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

L'approche utilisée pour traiter les contraintes environnementales a consisté à éviter, dans la mesure du possible, des impacts indésirables en modifiant le tracé. Ainsi, les quelques sections de voie présentant un impact environnemental restent, malgré tout, les solutions les plus pertinentes.

À l'intérieur des zones urbaines, il existe des problèmes environnementaux et sociaux qui conduisent à des limitations de vitesse. Ces problèmes ne sont pas traités dans cette section, et ce, pour deux raisons. La première est que généralement, il n'est pas possible d'éviter ces problèmes ou de proposer une amélioration à cause des contraintes d'occupation du sol. La

deuxième raison est qu'il serait parfois possible de corriger sensiblement le problème existant par le biais d'études techniques très approfondies qui ne font pas l'objet de ce mandat.

Rappelons que pour la gamme V1, compte tenu du fait que les modifications du tracé restent à l'intérieur de l'emprise existante, aucune nouvelle contrainte environnementale n'est donc à prendre en compte pour les tracés I et II.

3.4 TRACÉ I

Dans cette section et la section suivante, CANARAIL présente les principales problématiques d'implantation liées à l'augmentation de la vitesse sur les réseaux existants ainsi que les solutions envisagées.

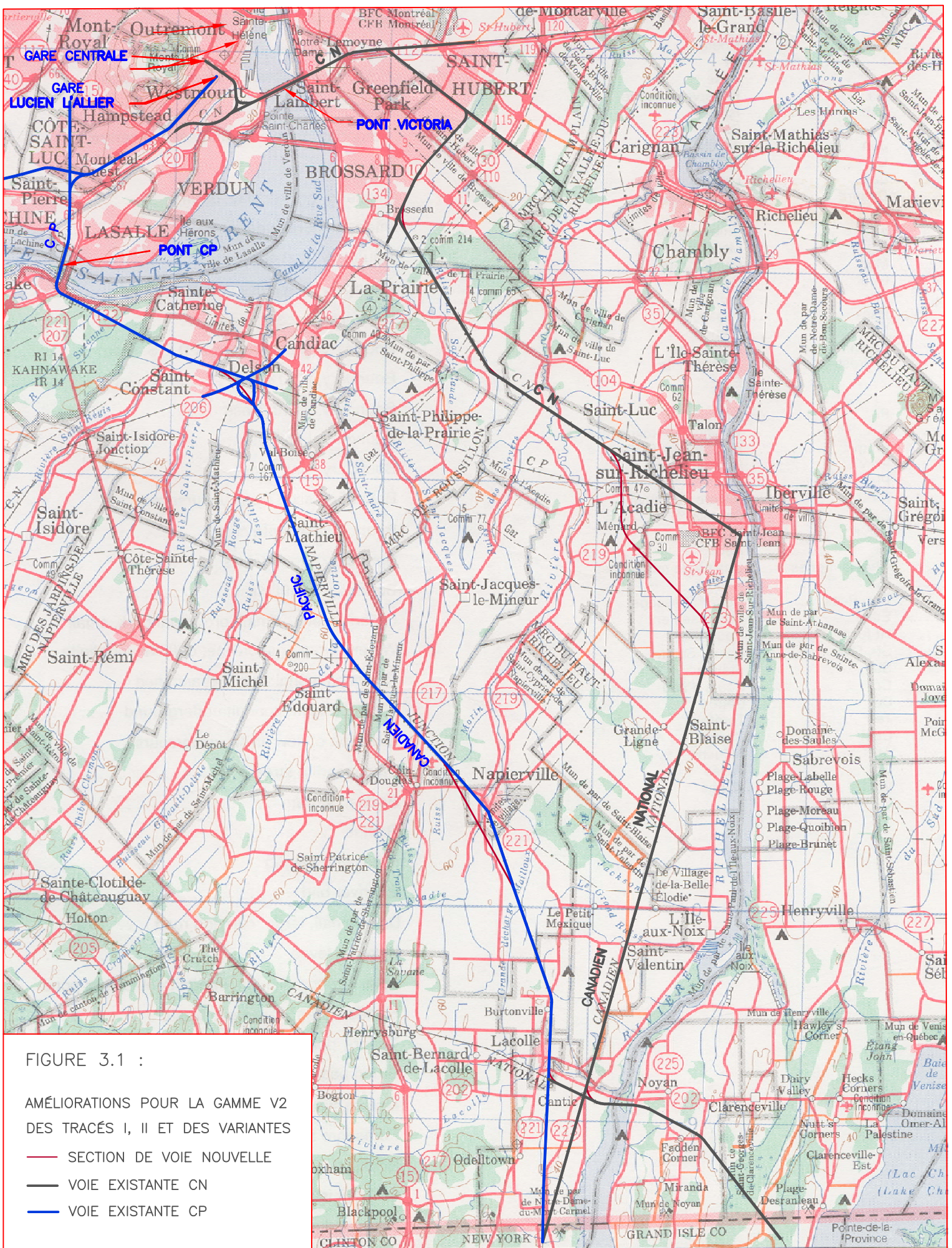
Les figures 3.1 et 3.2 présentent, respectivement pour les gammes de vitesse V2 et V3, les tracés du CN et du CP ainsi que les variantes.

3.4.1 Problématiques

La liaison de Montréal à la frontière américaine, empruntant le réseau du CN existant, comprend environ 77 km, dont 21 km dans la zone du Grand Montréal. Ces 21 kilomètres se caractérisent par des possibilités d'améliorations réduites et coûteuses, du fait de leur situation géographique. Cette problématique d'amélioration du tracé en zone urbaine est extrêmement complexe et requiert des études approfondies, qui ne font pas l'objet du présent mandat.

Le tableau 3.2 résume les principales problématiques associées aux courbes du tracé I. Pour chaque problématique, la vitesse de circulation limite est donnée pour deux conditions de circulation, avec ou sans pendulation. Les problématiques mentionnées dans le tableau concernent les trois gammes de vitesse.

Dans le cas de courbes composées, le tableau 3.2 ne mentionne que la courbe la plus restrictive.



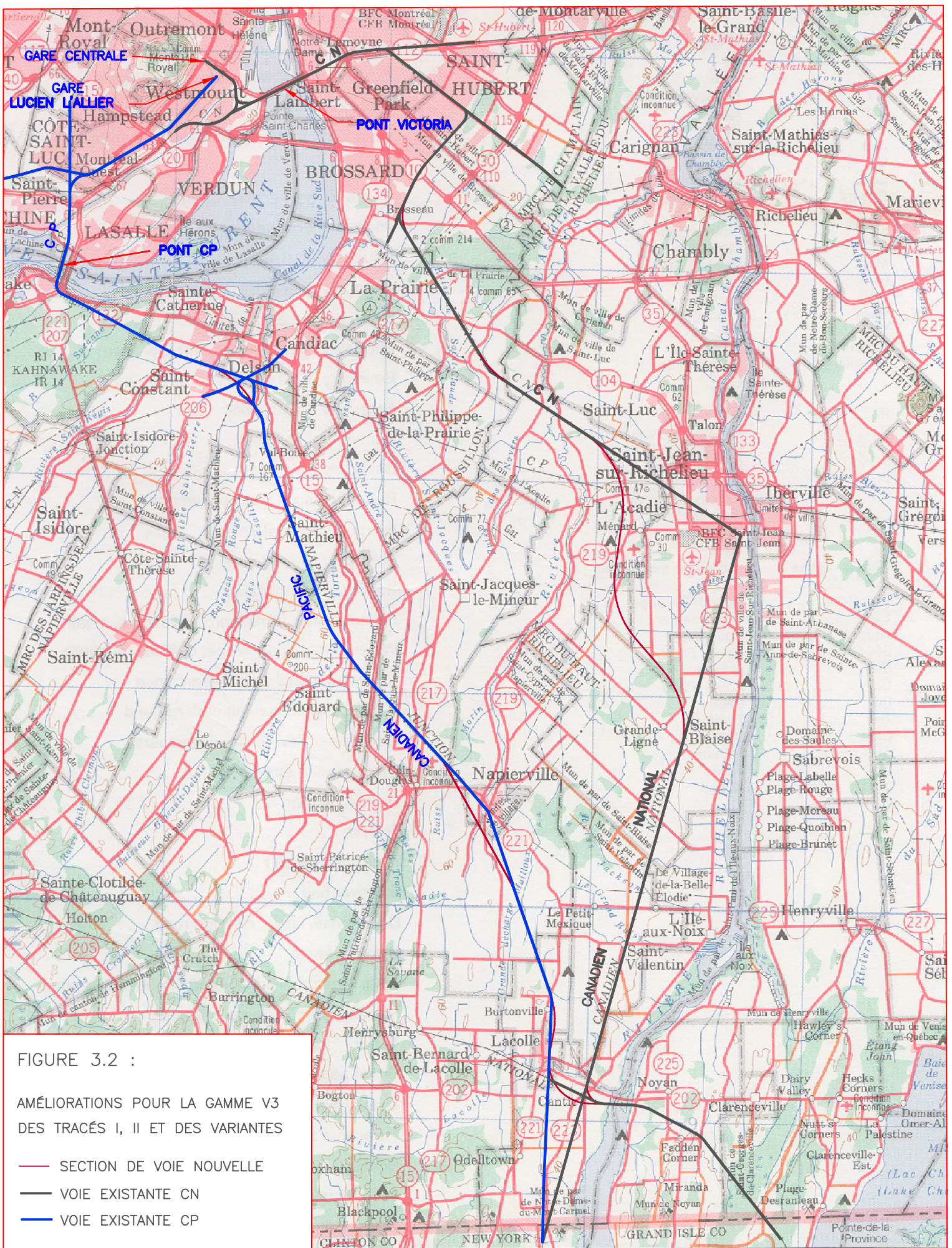


Tableau 3.2 - Résumé des principales problématiques liées au tracé I

Point milliaire	Problématiques et commentaires	Rayon de courbure	Longueur de la courbe	Vitesse limite sans pendulation km/h	Vitesse limite avec pendulation km/h	V1	V2	V3
PM 5	Courbe située à l'ouest de la cour de triage Southwark.	3 493 m 0°30'	4 699 m	231	313	N/A	X	X
PM 6	À Cannon, soit à la jonction entre les subdivisions de Rouses Point et de Saint-Hyacinthe, courbe composée* partiellement implantée sur un pont au-dessus de la route nationale 116.	227 m 7°41'	250 m	67	87	X	X	X
PM 8,8	Courbe de Castel Gardens, à la jonction pour Marieville. Traverse le boul. Maricourt à Saint-Hubert. Zone résidentielle à l'ouest de la courbe.	311 m 5°37'	660 m	80	103	X	X	X
PM 10,2	Deux courbes inversées au niveau du boulevard Grande-Allée à la limite entre les municipalités de Saint-Hubert et Brossard. Le croisement avec le boul. Grande-Allée est limité par des développements immobiliers du côté nord-ouest et une zone industrielle à l'est.	663 m 2°38'	465 m	112	144	X	X	X
PM 11	Courbe au niveau du croisement avec l'autoroute 10 et de ses bretelles d'accès.	609 m 2°52'	300 m	108	138	X	X	X
PM 12,5	Courbe composée qui croise le boulevard des Prairies à Brossard, soit à la jonction avec la subdivision de Massena. Cette courbe est bordée par des développements résidentiels à l'ouest, la vieille ferme et des bungalows à l'intérieur de la courbe.	431 m 4°03'	670 m	90	117	X	X	X
MP 17,8	Courbe au niveau de la rue de la bataille sur la municipalité de La Prairie.	782 m 2°14'	400 m	122	157	X	X	X
MP 26,02 à 27,1	Succession de 7 courbes situées dans la zone urbaine de Saint-Jean-sur-Richelieu. La première et la dernière sont des courbes inversées. Pas d'espace disponible pour une amélioration notable.	214 m 8°25'	1807 m	62	82	X	X	X
* Courbe composée : il s'agit d'une seule courbe formée par une succession de courbes ayant des rayons de courbure différents. Dans ce cas, uniquement le rayon de courbure le plus petit et donc le plus contraignant est indiqué.								

3.4.2 Améliorations

L'implantation du tracé pour V1 et V2 reste similaire au tracé initial, à l'exception de la traversée de Saint-Jean-sur-Richelieu. Le nouveau tracé contourne cette ville par l'ouest.

3.4.2.1 Courbes

Les améliorations des courbes, ainsi que les vitesses associées, sont proposées dans le tableau 3.3.

Tableau 3.3 - Modifications apportées aux courbes du tracé I pour V2 et V3

Point Miliaire	Problématiques	Description des améliorations	Caractéristiques des nouvelles courbes			
			Rayon de courbure	Longueur de la courbe	Vitesse limite km/h	Vitesse limite avec pendulation km/h
PM 5	Courbe situé au nord de la cour de triage Southwark.	Pas d'amélioration possible	3 493 m 0°30'	4 699 m	231	313
PM 6	A Cannon, courbe à la jonction entre les subdivisions de Rouses Point et de Saint-Hyacinthe.	Pas d'amélioration possible	227 m 7°41'	250 m	67	87
PM 8,8	Courbe de Castel Gardens, à la jonction pour Marieville.	Pas d'amélioration possible	337 m 5°11'	660 m	80	103
PM 10,2	Deux courbes inversées au niveau du boul. Grande-Allée à la limite entre Saint-Hubert et Brossard.	Pas d'amélioration possible	663 m 2°38'	465 m	112	144
PM 11	Courbe au niveau du croisement avec l'autoroute 10 et de ses bretelles d'accès.	Pas d'amélioration possible	609 m 2°52'	300 m	108	138
PM 12,5	À Brossard, courbe composée à la jonction avec la subdivision de Massena.	Nouvelle courbe à l'est de la courbe existante. Meilleure connexion possible, S'applique aussi à V3.	1 747 m 1°00'	1 750 m	207	256
MP 17,8	Courbe au niveau de la rue de la Bataille à La Prairie.	Nouvelle courbe au nord de la courbe existante. Amélioration identique pour toutes les vitesses	4 030 m 0°26'	1 450 m	246	> 300
MP 26 à 27,1	Succession de 7 courbes à Saint-Jean-sur-Richelieu.	La zone urbaine de Saint-Jean-sur-Richelieu est évitée grâce à une succession de trois courbes en alternance avec des sections en alignement. Toutes ces courbes ont le même rayon de courbure. Implique la construction de 6 nouveaux ponts routiers. S'applique uniquement à V2. Pour V3, un nouveau tracé – évitant Saint-Jean et incluant des courbes- relie la voie existante entre le PM 22 et 33, soit 16,4 km de ligne nouvelle à grande vitesse.	1 801 m 0°58'	11 600 m*	210	260
* incluant les portions en alignement.						

3.4.2.2 Les contraintes environnementales

La modification majeure apportée au tracé pour V2 et V3 est le contournement de la ville de Saint-Jean-sur-Richelieu.

Cette nouvelle section de voie pour V2 traverse une route bordée de bâtiments présentant un intérêt architectural.

Le tracé préliminaire de la nouvelle section de voie (Saint-Jean) pour V3 ne traverse pas de zones de contrainte environnementale majeure. Toutefois, il passe très près de bâtiments, ce qui nécessitera une étude plus détaillée lors d'une étape ultérieure.

3.5 TRACÉ II

3.5.1 Problématiques

La liaison Montréal à la frontière américaine, empruntant le réseau du CP existant, comprend environ 67 km, dont 24 km dans la zone urbaine du Grand Montréal. Ces 24 km se caractérisent par des possibilités d'améliorations réduites et coûteuses associées aux courbes, du fait de leur situation géographique. Cette problématique d'amélioration du tracé en zone urbaine est extrêmement complexe et requiert des études approfondies, qui ne font pas l'objet du présent mandat.

Le tableau 3.4 résume les principales problématiques du tracé II. Certaines problématiques ne sont pas concernées par la gamme de vitesses V1.

Tableau 3.4 - Résumé des principales problématiques liées au tracé II

Point miliaire	Problématiques et commentaires	Rayon de courbure	Longueur de la courbe	Vitesse limite km/h	Vitesse limite avec pendulation km/h	V1	V2	V3
PM 8,2	Deux courbes inversées au-dessus de la voie maritime du Saint-Laurent et sous la route nationale 138 à Kahnawake. Zone particulièrement encombrée par des ponts (au-dessus et en-dessous) ainsi que par le pont levant de la voie navigable.	606 m 2°53'	206 m	107	138	X	X	X
		819 m 2°08'	922 m	125	161			
PM 11,7	Courbe composée située au sud de l'autoroute 30 dans la municipalité de Saint-Constant. Amélioration impossible vers l'ouest et limitée par le pont routier de l'autoroute.	4 192 m 0°25'	1 010 m	270	368	N/A	N/A	X

Point millaire	Problématiques et commentaires	Rayon de courbure	Longueur de la courbe	Vitesse limite km/h	Vitesse limite avec pendulation km/h	V1	V2	V3
PM 14,4	Boucle de Delson. Limitée par la subdivision Massena et par des développements résidentiels à l'intérieur même de la boucle.	258 m 6°46'	641 m	70	90	X	X	X
PM 15,3	À la sortie de la boucle de Delson, deux courbes inversées dans la municipalité de Saint-Constant.	873 m 2°00'	1 668 m *	128	167	X	X	X
PM 16,2	À proximité de la cimenterie, courbe limitée par la présence d'un convoyeur par-dessus la voie ferrée.	3 743 m 0°28'	1 397 m	238	321	N/A	N/A	X
PM 22	Entre Saint-Mathieu et l'autoroute 15, courbe sans restriction apparente pour des modifications.	1 519 m 1°09'	933 m	167	219	N/A	X	X
MP 23,3	Courbe composée sans restriction apparente pour des modifications.	3 613 m 0°29'	592 m	276	379	N/A	N/A	X
MP 28,3	À l'entrée de Napierville, courbe.	4 366 m 0°24'	215 m	254	347	N/A	N/A	X
MP 29	À Napierville, courbe qui traverse la route principale. Il y a des installations industrielles du côté ouest par le pont de la rivière L'Acadie au nord.	1 165 m 1°30'	813 m	149	193	X	X	X
MP 34,8	Au nord de Lacolle, croisement avec la route régionale 221. Courbe limitée par le pont routier situé à son extrémité nord.	2 096 m 0°50'	inconnue	189	251	N/A	N/A	X
* Longueur totale n'incluant pas la courte section en alignement entre les deux courbes.								

3.5.2 Améliorations

L'implantation du tracé II pour les vitesses V2 et V3 reste similaire à celle du tracé actuel. La principale modification est la déviation pour éviter Napierville.

3.5.2.1 Courbes

Le tableau 3.5 présente les caractéristiques des courbes conservées, ainsi que celles des courbes améliorées.

Tableau 3.5 - Modifications apportées aux courbes du tracé II

Point miliaire	Problématiques	Description des améliorations	Caractéristiques de la nouvelle courbe			
			Rayon de courbure	Longueur de la courbe	Vitesse limite km/h	Vitesse limite avec pendulation km/h
PM 8,2	Deux courbes inversées	Pas d'amélioration possible.	606 m 2°53' 819 m 2°08'	206 m 922 m	107 125	138 161
PM 11,7	À l'Est de l'autoroute 30, courbe composée	Pas d'amélioration possible.	4 192 m 0°25'	1010 m	270	>300
PM 14,4	Boucle de Delson	Nouvelle connexion de la ligne principale CP. s'applique aussi à V3	3810 m 0°28' tangente	2 700 m 200 m	238	>300
PM 15,3	À la sortie de la boucle de Delson, deux courbes inversées	Amélioration mineure non abordée à cause de sa complexité.	873 m 2°00'	1 668 m *	128	167
PM 16,2	À proximité de la cimenterie	Amélioration mineure non abordée à cause de sa complexité.	3 743 m 0°28'	1 397 m	238	321
PM 22	Courbe entre Saint-Mathieu et l'autoroute 15	Modification mineure.	1 807 m 0°58'	2 800 m	180	235
PM 23,3	Courbe composée	Modification mineure.	3 613 m 0°29'	592 m	276	379
PM 28,3	À l'entrée de Napierville, courbe	Napierville est évité par l'ouest grâce à une portion de voie composée d'une courbe, d'une section en alignement puis d'une seconde courbe. s'applique aussi à V3	4 062 m 0°26' tangente	1 000 m 6 000 m 700 m	> 300	>300
PM 29	À Napierville		4 062 m 0°26'			
PM 34,8	Au nord de Lacolle, courbe limitée par le pont routier avec la 221	Une courbe, une section en alignement puis une seconde courbe. s'applique uniquement à V3	3 493 m 0°30' tangente 3 493 m 0°30'	2 000 m 1000 m 500 m	293	>300
* Longueur totale n'incluant pas la courte section en alignement entre les deux courbes.						

3.5.2.2 Les contraintes environnementales

L'amélioration apportée à la boucle de Delson ne pose pas de problème environnemental, telle qu'elle est planifiée. Toutefois, il faudrait éviter de modifier le tracé près du ruisseau de La Tortue à cause de la présence de zones possiblement instables et de remblais d'origine inconnue.

Le contournement de Napierville ne semble pas traverser de zones de contraintes environnementales tel qu'il est planifié. Mais ces dernières sont très proches du tracé.

3.6 TRACÉS MIXTES ET VARIANTES

3.6.1 Problématiques

Les tracés mixtes permettraient de raccorder les lignes du CN et du CP en empruntant au besoin un ou plusieurs des segments de voie suivants :

- de Delson (croisement du CN et du CP) à Brossard, sur la subdivision de Massena du CN;
- l'embranchement industriel Lacolle entre Lacolle au point milliaire 1,2 et Cantic, croisait anciennement la voie du CP;
- de Cantic jusqu'à la frontière américaine en direction de East Alburg, soit à l'est du lac Champlain, sur la subdivision de Swanton.

3.6.1.1 Section de Delson à Brossard

Actuellement, il n'existe pas de raccordement entre la boucle de Delson et la section de voie entre Delson et Brossard. Toutefois, il existe une possibilité de mise en place d'un tel raccordement mais ce dernier sera restrictif du point de vue de la vitesse.

Entre Delson et Brossard, il y a trois courbes dont une est particulièrement restrictive en termes de vitesse.

Finalement, à Brossard, juste avant la jonction avec la ligne du CN vers Rouses Point, il y a aussi une courbe inversée très limitante.

Compte tenu du fait que cette section est établie en zone urbaine, les possibilités d'amélioration des courbes sont quasi-inexistantes.

3.6.1.2 Embranchement industriel Lacolle

Cet embranchement est partiellement supprimé, il ne reste que 900 mètres de voie de Cantic à Lacolle. Par ailleurs, il n'existe pas de raccordement à Lacolle permettant de passer du réseau du CP à celui du CN (aussi bien vers Rouses Point que vers East Alburg). Toutefois, la possibilité de rétablir ce raccordement existe, car les emprises ferroviaires sont toujours en place. Mais un tel raccordement utilisant les emprises existantes serait très limitant en termes de vitesse de circulation.

3.6.1.3 De Cantic jusqu'à la frontière américaine vers East Alburg

La traversée du Richelieu par les deux ponts ferroviaires existants impose probablement une restriction de vitesse. CANARAIL ne dispose pas des données adéquates pour vérifier cette limitation.

Il existe aussi probablement deux courbes à l'est de la rivière Richelieu. La première est suffisamment proche du pont pour ne pas être limitante. CANARAIL ne connaît pas les caractéristiques de la seconde courbe, mais elle ne semble pas limitante. Les facteurs de limitation sont situés plutôt à l'ouest de la rivière.

3.6.2 Améliorations

Le choix d'élaborer un tracé mixte ou une variante reste un choix politique. CANARAIL présente dans la suite les principales améliorations à apporter à ces segments pour qu'ils puissent répondre aux spécifications techniques préalablement définies.

3.6.2.1 Section de Delson à Brossard

Le raccordement entre la boucle de Delson et la section de voie entre Delson et Brossard peut s'effectuer par une courbe de rayon de courbure de 350 mètres (soit 5°00'). La vitesse maximum sur cette courbe en considérant une circulation pendulaire est de l'ordre de 105 km/h. Ce raccordement s'applique aux trois gammes de vitesse.

Ce raccordement à Delson traverserait une zone de non-remblai, ce qui signifie que pour franchir le ruisseau Lasaline, il faudrait prévoir un pont ou un ouvrage minimisant les remblais.

Des possibilités d'amélioration des courbes existantes entre Delson et Brossard ne sont pas envisageables à cause du coût et de l'impact sur le milieu urbain.

3.6.2.2 Embranchement industriel Lacolle

En provenance de Montréal, les lignes du CN et du CP peuvent se raccorder à la ligne du CN vers East Alburg, et ce, au moyen de nouvelles courbes présentant une amélioration mineure par rapport aux tracés existants. Compte tenu du fait que l'embranchement industriel entre Cantic et Lacolle est partiellement démantelé, CANARAIL suggère un nouveau raccordement débutant au nord de Lacolle et rattrapant la ligne du CN juste avant les deux ponts ferroviaires du Richelieu. Le raccordement consisterait en une courbe et une courte section en alignement avant de traverser le Richelieu. L'implantation des deux raccordements prévus pour rejoindre la ligne de Cantic en direction de East Alburg à partir des réseaux du CN et du CP (pour la gamme de vitesses V2) se situe à proximité de ressources patrimoniales. Lors de l'implantation détaillée, ces points seront à vérifier.

3.6.2.3 De Cantic jusqu'à la frontière américaine vers East Alburg

Compte tenu des limitations à l'ouest des ponts ferroviaires permettant la traversée du Richelieu, CANARAIL ne propose pas d'amélioration des courbes situées à l'est de la rivière.

4. INFRASTRUCTURE

Dans les sections suivantes, CANARAIL détaille les spécifications concernant les critères de conception de la voie, les ouvrages d'art, les clôtures, ainsi que les gares et les voies d'évitement.

4.1 VOIE

Les critères de conception sont rassemblés dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 - Critères de conception de la voie pour les trois gammes de vitesses

Types	V ₁	V ₂	V ₃
Rail	# 115 livres minimum Soudés	# 115 livres minimum Soudés	# 115 livres minimum Soudés
Système de fixations du rail	Attaches élastiques	Attaches élastiques avec une semelle	Attaches élastiques avec une semelle
Traverses	Bois, non fendues ou pourries	Traverses béton	Traverses béton, éventuellement bi-bloc
Ballast	Matériau granitique Au moins 300 mm sous les traverses.	Matériau granitique Au moins 300 mm sous les traverses.	Matériau granitique Au moins 300 mm sous les traverses.
Épaulement	300 mm à partir de l'extrémité de la traverse	300 mm à partir de l'extrémité de la traverse	300 mm à partir de l'extrémité de la traverse
Sous-couches	N.A.	200 mm pour les nouvelles sections	200 mm pour les nouvelles sections

4.2 TERRASSEMENT

Cette section ne constitue pas des spécifications pour les activités de terrassement.

Les plates-formes des réseaux du CN et du CP sont bien conçues et en bon état. Elles sont capables de recevoir une voie dont la vitesse peut atteindre 240 km/h. Toutefois, il existe des zones où les sols sont sensibles aux lentilles de glace (particulièrement dans la vallée du Saint-Laurent). Il faudra donc apporter une attention particulière aux sections de voie traversant ces zones et à toutes les sections posant des problèmes géotechniques chroniques.

Le système de drainage des voies doit être en parfaite condition. Les fossés doivent être profonds et propres afin d'assurer un écoulement adéquat des eaux récupérées.

Dans une phase ultérieure, les activités de terrassement ainsi que les systèmes de drainage devront être étudiés de façon approfondie.

4.3 OUVRAGES D'ART

Les principaux ouvrages d'art à prévoir seraient des ponts routiers et des ponceaux. Les ponts routiers permettraient de remplacer certains passages à niveaux.

L'exploitation de trains passager à des vitesses de 200 km/h et 240 km/h n'imposera pas, à la structure des ponts, des charges (charges statiques et charges dynamiques cumulées) plus importantes que celles imposées actuellement par l'exploitation des trains fret ayant des charges à l'essieu de 30 tonnes et circulant à approximativement 100 km/h. Ainsi les ponts existants ne requièrent pas d'amélioration structurale. Toutefois, certains ponts pourraient requérir une inspection détaillée pour évaluer leur état actuel et ainsi programmer l'entretien nécessaire.

CANARAIL suggère que les ponts non ballastés existants soient convertis en ponts ballastés.

4.4 CLÔTURAGE

Une clôture de 1,8 mètre de hauteur est nécessaire en continu tout le long de la ligne lorsque les vitesses dépassent 200 km/h.

4.5 GARES ET VOIES D'ÉVITEMENT

Les aménagements destinés à promouvoir les gares à un rang de stations intermodales internationales (train interurbain, métro, bus et aussi, aménagement intérieur) ne sont pas considérés dans cette étude. Aucune nouvelle gare n'est envisagée au Québec.

Les voies d'évitement sur voie unique ont deux fonctionnalités principales:

- permettre aux trains rapides de doubler ou croiser des trains de marchandises;
- permettre aux trains rapides de se croiser.

4.5.1 Voie d'évitement pour le croisement de deux trains rapides

Le lieu de croisement entre deux trains rapides dépend des heures de départ respectives des trains aux 2 gares d'extrémité et du temps de parcours. Compte tenu de la faible longueur du parcours sur le territoire québécois et de la distance parcourue par un train à 240 km/h (4 km par minute) et à 300 km/h (5 km/minute), il n'est pas pertinent de proposer des voies d'évitement sans consulter l'étude homologue menée par les États-Unis.

À ce stade de l'étude, il n'y a pas de croisement pour trains rapide envisagé sur le territoire québécois. Cette hypothèse pourra être confirmée lorsque l'ensemble du parcours entre Montréal et New York sera étudié.

4.5.2 Voie d'évitement pour le croisement ou le dépassement d'un train de marchandise

Sur les parties de voie unique des deux parcours, et ce, pour garantir le respect des horaires des trains rapides sans trop perturber les trains de marchandises, il est nécessaire de prévoir au moins une voie d'évitement. Cette voie sera utilisée pour effectuer le croisement ou le dépassement d'un train de marchandise et d'un train rapide. De prime abord, la voie d'évitement a été envisagée de façon à permettre à tous les trains de marchandises de se garer.

4.6 AMÉLIORATIONS

4.6.1 Voie

La voie devra respecter les critères de conception adéquats de la voie. Les portions de voies où la vitesse de circulation sera augmentée à 200 km/h ou à 240 km/h devront être réhabilitées pour répondre à ces critères de conception.

Le tableau 4.2 rappelle les caractéristiques de la voie existante.

Tableau 4.2 - Caractéristiques de la voie existante des tracés I (CN) et II (CP)

Types	Voie principale du CN	Voie principale du CP
Rail	# 115 livres datant des 30 dernières années. Soit soudé, soit boulonné. En bon état.	# 110 et 115 livres datant des 30 dernières années. Soudé mais quelques sections boulonnées. En bon état.
Fixations	Selles avec deux crampons de part et d'autres du rail. Certaines sections équipées d'anti-cheminants.	Selles avec deux crampons de part et d'autre du rail. Certaines section équipées d'anti-cheminants.
Traverses	Bois, généralement en bon état	Bois, généralement en bon état
Ballast	Dolomite de petite fraction et résidus de production de nickel. Nombreux ajouts.	Matériau granitique de 50 millimètres.

4.6.2 Voie d'évitement

4.6.2.1 Tracé I

Actuellement, les trains en direction ou en provenance d'East Alburgh ont une longueur maximale de 9 000 pieds (2 750 mètres). Les trains en direction de New York sont généralement très longs et sont composés de 100 à 140 wagons. Une voie d'évitement de l'ordre de 9 500 pieds (2 900 mètres) est nécessaire.

Tableau 4.3 - Situation actuelle sur la ligne de CN

Lieu	Longueur	Possibilité d'extension
L'Acadie (PM 20.9)	6 060 pieds (1 847 mètres)	Cette voie d'évitement peut être allongée à environ 9 500 pieds (2 900 mètres) entre le ruisseau L'Acadie et le ruisseau près du chemin Coulée des Pères
Saint-Jean-sur-Richelieu (PM 26.5)	6 110 pieds (1 862 mètres)	Cette voie d'évitement est près de la ville et ne peut pas être allongée.

Pour les vitesses V2 et V3, une nouvelle voie est prévue pour contourner Saint-Jean-sur-Richelieu. Les voies actuelles contournées permettront d'effectuer les dépassements ou croisements. Le tableau 4.4 présente les modifications nécessaires sur le tracé I.

Tableau 4.4 - Modifications concernant les voies d'évitement du tracé I

Vitesse	Modifications nécessaires
V1	Rallonger au minimum de 3 500 pieds (1 067 mètres) la voie d'évitement de L'Acadie
V2	Aucune modification nécessaire
V3	

4.6.2.2 Tracé II

Actuellement, le train le plus long entre Montréal et New York est le train numéroté 253 formé en général de 90 à 120 wagons. En mars 2002, un convoi a atteint 146 wagons. La longueur d'un tel convoi est de l'ordre de 9 500 pieds (2 900 mètres)¹.

Tableau 4.5 - Situation actuelle sur la ligne de CP

Lieu	Longueur	Possibilité d'extension
Lacolle (PM 36.4)	4 385 pieds (1 336 mètres)	Cette voie d'évitement peut être étendue à environ 9 500 pieds (2 900 mètres) vers le nord jusqu'au croisement avec la route 221
Napierville	De l'ordre de 2 000 pieds (610 mètres)	Cette voie d'évitement peut être rallongée vers le sud sans limite particulière

Pour les vitesses V2 et V3, une nouvelle voie est prévue pour contourner Napierville. Les voies actuelles contournées permettront d'effectuer les dépassements ou croisements. Le tableau 4.6 présente les modifications nécessaires sur le tracé II.

¹ Les wagons font entre 55 et 85 pieds (entre 17 et 26 mètres). Les plus courants (porte-conteneurs, box car, citernes) font entre 52 et 60 pieds. Les wagons porte-automobiles et les wagons plats font 85 pieds. Dans l'axe considéré, il y a un mélange de porte-conteneurs, box cars et porte-automobile. La longueur moyenne est évaluée à 20 % .85 + 80 % .60, soit 65 pieds.

Tableau 4.6 - Modifications concernant les voies d'évitement du tracé II

Vitesse	Modifications nécessaires
V1	Rallonger au minimum de 5 200 pieds (1 590 mètres) la voie d'évitement de Lacolle
V2	Aucune modification nécessaire
V3	

5. SIGNALISATION ET PASSAGES À NIVEAU

Ce chapitre présente les principales exigences concernant la signalisation et les passages à niveau. Il fait également mention de certaines hypothèses et des systèmes de signalisation sélectionnés en fonction des plages de vitesse.

5.1 RAPPEL DES EXIGENCES DE LA FRA

5.1.1 Passages à niveau

Les exigences sécuritaires de la FRA requièrent des passages à niveau séparés au-delà de 200 km/h. Il faut noter que la procédure et les règles d'approbation de passages à niveau pour des circulations supérieures à 176 km/h (110 mph) ne sont pas encore définies. Le contrôle des passages à niveau doit être connecté au système de signalisation et être équipé de 4 barrières. Un détecteur de véhicules bloqués doit être installé et être connecté au système de signalisation pour éviter la collision avec un train.

Il faut noter que l'avant-projet du règlement de Transports Canada sur les passages à niveau n'autorise pas de passage à niveau à plus de 128 km/h (80 mph).

5.1.2 Signalisation

Les exigences de la FRA relatives à la signalisation sont résumées dans le tableau 5.1.

Tableau 5.1 - Exigences de la FRA relatives à la signalisation

Vitesse en milles/h	Exigences
de 126 à 200	125-200 mph (201-320 km/h) pour les passagers : Aucun passage à niveau n'est accepté.
de 110 à 125	110-125 mph (177-200 km/h) pour les passagers : Tous les passages à niveau doivent être équipés d'un système de barrières obstruant toute la route. La FRA doit approuver chacun des systèmes installés.
de 80 à 109	80-110 mph (129-176km/h) : Un TCS (Train Control System) avec une signalisation automatique de cabine ou un ATC (Automatic Train Control) ou un ATS (Automatic Train Stop) doit être installé (FRA, Titre 49, Part 236 section 236 alinéa f). Les restrictions de vitesse doivent être contrôlées.
de 50 à 79	60-79 mph (97-128km/h) pour les passagers et 50-79 mph (80-128km/h) pour les marchandises : Les équipement suivants doivent être installés : Contrôle du trafic avec système de bloc (FRA, Titre 49, Part 236 section 236 alinéa c), détection du rail cassé et système d'enclenchement des aiguilles.
de 0 à 49	0-49 mph (0-96km/h) : aucune exigence.

5.1.3 Équipement embarqué

Les exigences de la FRA stipulent que tous les trains (trains de marchandises ou de passagers) empruntant une ligne équipée de signalisation en cabine, doivent être équipés d'un système embarqué (Sect 236.566). Dans le cas de mixité des circulations, les trains à grande vitesse et les trains de marchandises, voire même les trains de banlieue devront par conséquent être munis du système de cabine et de contrôle de la vitesse. Par conséquent, un ensemble de locomotives, à définir, dédié au transport de marchandises sur les voies utilisées également par les trains à grande vitesse devra être équipé.

5.2 PASSAGES À NIVEAU

De nombreux passages à niveau privés jalonnent actuellement les différents parcours. Il serait approprié d'acheter les droits de passage et de réaliser un pont-route pour permettre aux anciens propriétaires des passages à niveau de traverser la voie. Si cette solution n'est pas réalisable, il peut être proposé d'installer une barrière normalement fermée, pouvant être ouverte par le propriétaire, et d'un dispositif d'autorisation de traversée de zone dangereuse. Cette solution est envisagée par VIA dans son projet « VIA Fast Route » entre Québec et Windsor. Chaque traversée comportera un feu de chaque côté de la voie. L'allumage du feu est provoqué par l'action sur un bouton-poussoir situé à proximité. Ce feu ne s'allume que si l'annonce de l'arrivée d'un train n'est pas déclenchée. Il conviendra de déterminer le délai d'annonce qui sera au moins égal au temps nécessaire au propriétaire pour traverser les voies à pied ou avec un véhicule. Si la traversée avec un véhicule est autorisée, il conviendra d'installer un détecteur de véhicule connecté au système de signalisation.

Le MTQ a émis des recommandations au sujet des passages à niveau privés. En effet, la fermeture de ces passages est traitée au cas par cas. Cette exigence ne peut pas être respectée dans le cadre de cette étude. Ainsi le MTQ et CANARAIL ont proposé, sur une base arbitraire, de diviser le nombre de passages à niveaux privés existants par 4 et par conséquent d'implanter une moyenne de $\frac{1}{4}$ des passages à niveaux privés. Ces nouveaux passages à niveau seront adaptés au niveau de vitesse à laquelle ils sont franchis. Un chemin d'accès permettra de relier les différents points d'accès des passages supprimés vers le nouveau passage à niveau. La longueur de ce chemin est définie de façon arbitraire et s'élève à 4 x 800 mètres.

Chaque passage à niveau public s'est vu affecter la solution adéquate selon la vitesse étudiée. Toutefois, CANARAIL n'a pas cherché à supprimer certains passages à niveau, puisque certains sont très proches l'un de l'autre. Ce point pourrait être étudié de façon approfondie lors d'une phase ultérieure.

Le tableau 5.2 donne les types de solutions pour les croisements route-rail.

Tableau 5.2 - Solutions aux croisements route-rail en fonction de la vitesse

V < 170 km/h	170 km/h < V < 200 km/h	V ≥ 200 km/h
Selon le type de route croisée et la fréquence d'utilisation du passage routier, le choix le plus adapté entre les différents types de passages à niveau	Passages à niveau équipés de feux clignotants, de cloches et de quatre barrières (deux barrières de part et d'autre de la voie)	Pont routier/viaduc

5.3 SIGNALISATION ET CHOIX DES SYSTÈMES

5.3.1 Vitesses de 200 à 240 km/h (V1 et V2)

Concernant les vitesses intermédiaires (200 à 240 km/h), les progrès technologiques ont permis d'augmenter le nombre d'informations transmises par les balises et d'améliorer les fonctionnalités embarquées (contrôle de vitesse, affichage au conducteur) pour les systèmes basés sur la technologie suédoise (EBICAB-L10000). Plusieurs versions de ce système sont utilisées dans différents pays, et ce, tant sur des lignes de marchandises que sur des lignes à grande vitesse (jusqu'à 250 km/h). De tels systèmes sont en exploitation aux États-Unis. ATSS (AT Signal System du Groupe Ansaldo appartenant à Bombardier) et Union Switch et Signals ont intégré à la signalisation de cabine existante, utilisant des circuits de voie codés, les fonctions de contrôle des restrictions de vitesse et de supervision des limites d'autorité en ajoutant ces balises. Ce système ASES est opérationnel sur New Jersey Transit depuis 2001 et est compatible avec le système ACSES d'Amtrack développé par Alstom pour le corridor Nord-Est pour des vitesses de 240 km/h. Le système ASES a néanmoins plus de fonctionnalités.

Pour ces vitesses (V1 et V2), il est proposé de sélectionner un système basé sur les circuits de voie codés et éventuellement des balises.

5.3.2 Vitesses supérieures à 300 km/h (V3)

Pour les vitesses d'exploitation supérieures à 300 km/h, les différents systèmes de signalisation évoqués dans les précédents rapports, basés sur des circuits de voie codés (en particulier le système du TGV français TVM) ont été implantés, moyennant quelques adaptations, sur de nouvelles lignes à travers le monde (Corée, Angleterre, Belgique). Ils ont prouvé leur fiabilité et leur excellente disponibilité. Grâce à la mise en œuvre des techniques numériques, de nouvelles générations de TVM (TVM 430) équipent par exemple la ligne du TGV Nord en France et permettent une capacité d'un train toutes les 3 minutes à 300 km/h. La TVM-SEI est une évolution de la TVM 430 dont elle reprend l'intégralité des fonctions : contrôle continu de vitesse et de l'espacement, affichage en cabine par transmission continue sol - bord. Ce nouveau système, en intégrant les fonctions d'enclenchement, réduit considérablement les interfaces habituellement nécessaires entre les deux systèmes : l'ATP (« Automatic Train Protection ») d'une part, le poste

d'enclenchement d'autre part, et permet ainsi de réduire fortement le coût et les risques associés aux projets.

Pour ces vitesses, il est proposé de sélectionner un système tel que celui de la TVM.

5.3.3 Choix des systèmes

Vitesse	V1	V2	V3
Contrôle commande de train	Signalisation de cabine avec information transmise par circuits de voie codés et balises (type nouvelle génération du système EBICAB). Contrôle de vitesse sécuritaire embarqué.		TVM (circuits de voie codés contenant de nombreuses informations)

5.3.4 Systèmes futurs

La transmission d'information de signalisation de sécurité vers le train par radio est également de plus en plus utilisée et testée à travers le monde. Ainsi, de nouveaux systèmes, utilisant la radio ainsi que des balises, sont également à un stade avancé de réalisation avec de nombreux sites pilotes, mais ne sont pas encore totalement opérationnels. Il s'agit :

- aux États-Unis, entre autres, du programme NAJPTC (North American Joint Positive Train Control) financé conjointement par l'AAR, la FRA et l'Illinois qui a pour objectif de développer les standards américains en implémentant ce système de contrôle commande pour des trains à grande vitesse entre Mazonia et Springfield dans le corridor Chicago-Saint-Louis.
- en Europe, du système ETCS (European Train Control System) qui se décline en trois niveaux de fonctionnement. L'interopérabilité des trains est obtenue en standardisant les fonctions embarquées, les messages entre le sol et le train, les balises et le système par radio utilisant le GSM-R (Global System for Mobile-Railway). Bombardier Transport a livré le premier système de contrôle ferroviaire et de signalisation par radio au monde, fondé sur la norme ERTMS/ETCS (European Rail Traffic Management System/European Train Control System) niveau 2. Il gère et commande tout le trafic ferroviaire sur la ligne qui relie Olten et Lucerne, en Suisse. Le système ETCS commande 35 kilomètres de doubles voies où circulent entre 120 et 140 trains par jour. Grâce au système de transmission par radio GSM-R, les signaux optiques ne sont plus nécessaires. Les Chemins de fer fédéraux suisses (CFF) ont effectué la mise en service commercial complet du système en avril 2002.

Ces systèmes ne sont pas encore opérationnels aux vitesses considérées dans l'étude (200 km/h et plus). Ils n'ont donc pas été sélectionnés. Néanmoins, de tels systèmes seront certainement en exploitation dans les années à venir.

L'annexe 5 détaille des contraintes additionnelles portant sur la signalisation.

5.4 AMÉLIORATIONS PROPOSÉES

5.4.1 Passages à niveau pour V1

Le diagramme de synthèse présente toutes les modifications de passages à niveau publics, il ne présente pas les fermetures des passages à niveau privés, lesquelles sont établies sur une base arbitraire préalablement définie.

Les tableaux 5.3 et 5.4 présentent les différentes modifications à apporter aux passages à niveau respectivement pour le tracé I et le tracé II.

Tableau 5.3 - Modifications des passages à niveau du tracé I pour V1

Type de passage à niveau	Existant	Solution			
		Supprimé	Conservé	Passage à niveau équipé de 4 barrières *	Passage à niveau équipé de 2 barrières *
Passage privé	66	49	0	17 passages à niveau adapté à la vitesse de franchissement des passages à niveau privés	
Passage à niveau équipé de Croix de Saint-André	3	0	1	2	aucun
Passage à niveau équipé de feux et d'une sonnerie	32	0	4	20	8
Passage à niveau équipé de feux, d'une sonnerie et de deux barrières	8	0	8	aucun	aucun
* Pour faciliter la lecture, on a appelé passages à niveau équipé de 4 barrières, les passages à niveau équipés de feux, d'une sonnerie et de 4 barrières. Idem pour les passages à niveau équipés de 2 barrières.					

Tableau 5.4 - Modifications des passages à niveau du tracé II pour V1

Type de passage à niveau	Existant	Solution				
		Supprimé	Conservé	Passage à niveau équipé de feux, d'une sonnerie et de 4 barrières	Passage à niveau équipé de feux, d'une sonnerie et de 2 barrières	Pont routier
Passage privé	71	53	0	18 passages à adapter à la vitesse de franchissement		
Passage à niveau équipé de Croix de Saint-André	7	0	5	2	aucun	aucun
Passage à niveau équipé de feux et d'une sonnerie	16	0	2	12	2	aucun
Passage à niveau équipé de feux, d'une sonnerie et de deux barrières	8	0	8	aucun	aucun	aucun

5.4.2 Passages à niveau pour les tracés I et II à V2

Le tableau 5.5 fournit le nombre de passages à niveau modifiés selon le type d'amélioration proposée. Le diagramme de synthèse illustre ces améliorations, sans tenir compte des passages privés.

Tableau 5.5 - Recensement des passages à niveau modifiés pour le tracé I pour V2

Type de passage à niveau	Existant	Solution				
		Supprimé	Conservé	Passage à niveau équipé de 4 barrières	Passage à niveau équipé 2 barrières	Pont routier
Passage privé	52	39	0	13 passages à adapter à la vitesse de franchissement		
Passage à niveau équipé de Croix de Saint-André	3	0	1	aucun	aucun	2
Passage à niveau équipé de feux et d'une sonnerie	23	0	4	1	aucun	18
Passage à niveau équipé de feux, d'une sonnerie et de deux barrières	8	0	8	aucun	aucun	aucun

Par ailleurs, six nouveaux ponts routiers sont à prévoir dans la nouvelle section qui contourne Saint-Jean-sur-Richelieu.

Le tableau 5.6 fournit le nombre de passages à niveau modifiés selon le type d'amélioration proposée.

Tableau 5.6 - Recensement des passages à niveau modifiés du tracé II pour V2

Type de passage à niveau	Existant	Solution				
		Supprimé	Conservé	Passage à niveau équipé de feux, d'une sonnerie et de 4 barrières	Passage à niveau équipé de feux, d'une sonnerie et de 2 barrières	Pont routier
Passage privé	64	48	0	16 passages à adapter à la vitesse de franchissement		
Passage à niveau équipé de Croix de Saint-André	7	0	5	aucun	aucun	2
Passage à niveau équipé de feux et d'une sonnerie	13	0	2	aucun	aucun	11
Passage à niveau équipé de feux, d'une sonnerie et de deux barrières	8	0	8	aucun	aucun	0

Trois nouveaux ponts routiers sont à prévoir pour le contournement de Napierville.

5.4.3 Signalisation des lignes existantes pour V1 et V2

L'ensemble des lignes parcourues par les trains à grande vitesse devra être relié à la commande centralisée des circulations (CCC). Entre Brossard et Rouses Point (tracé I) et entre Delson et Rouses Point (tracé II), la signalisation devra être améliorée.

5.4.3.1 Impacts liés à l'électrification

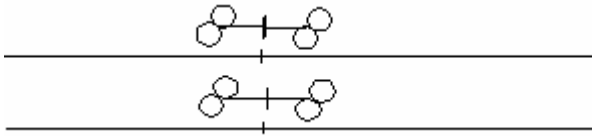
Pour électrifier les lignes en courant alternatif 25 Kv 60 Hz (voir chapitre traitant de l'électrification), il convient de soustraire les installations de signalisation aux effets perturbateurs qui résultent :

- des tensions parasites (effets électrostatiques);
- des courants induits (effets électromagnétiques);
- en particulier :
 - les circuits de signalisation et ceux de passage à niveau doivent être réalisés en câble avec armature métallique anti-inductrice afin de les soustraire aux effets électrostatiques et électromagnétiques;
 - les circuits de voie doivent être compatibles avec les problèmes du retour de courant de traction et donc être insensibles à l'influence de celui ci sur leur fonctionnement. Ils doivent être protégés contre les courants vagabonds et permettre la continuité du retour traction. Cette continuité est assurée par des connexions inductives qui doivent être installées à chaque joint isolé;
 - aucun circuit d'alimentation ne doit être sensible aux fréquences des harmoniques du 60 Hz;
 - les masses métalliques situées à proximité de la ligne à électrifier devront être mises à la terre et les canalisations de toute nature seront à protéger contre les influences du courant de traction.

5.4.3.2 Signalisation de cantonnement pour voie simple ou double banalisée

La signalisation pour voie simple banalisée est composée de deux signaux à deux aspects. Un signal est utilisé dans un sens de circulation, le deuxième l'est pour le sens opposé. Dans le cas d'une voie double, 4 signaux sont nécessaires.

Figure 5.1 - Signalisation pour voie simple ou double banalisée



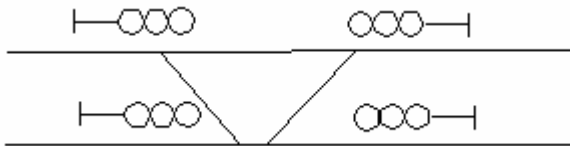
Le principe de l'espace des circulations par la distance consiste à partager la ligne en tronçons plus ou moins longs appelés cantons dans chacun desquels n'est admis normalement qu'un seul train. Chaque canton est protégé par un signal d'arrêt qui demeure fermé pendant toute la durée de l'occupation. Afin d'améliorer la fiabilité du respect des horaires et pour faire face à un incident sur une voie, les voies seront banalisées c'est à dire que les installations de signalisation permettront de parcourir chaque voie indifféremment dans un sens ou dans l'autre à la même vitesse.

La distance sécuritaire d'un train lancé à une vitesse de 250 km/h sur une pente de 0,3 % (descente) et ayant un taux de freinage sécuritaire de l'ordre de $0,5 \text{ m/s}^2$ (75% de $1,5 \text{ mph/s}$) est de l'ordre de 6 kilomètres. Il est considéré que cette distance sera divisée en 3 cantons. Pour cette étude de faisabilité, il est estimé que les cantons auront une longueur moyenne d'environ 2 kilomètres.

5.4.3.3 « Universal Interlocking »

L'universal interlocking est composé de 4 signaux de 3 aspects. Il assure la signalisation d'une double communication entre deux voies.

Figure 5.2 - Définition d'un « Universal Interlocking »



Les équipements d'un « universal interlocking » comprennent les installations de signalisation nécessaires pour assurer la sécurité des deux voies de communication et en particulier l'enclenchement des différents itinéraires. Ce sont en particulier :

- l'équipement de logique d'enclenchement de sécurité;
- l'automate programmable industriel de contrôle;
- les moteurs et les contrôleurs d'aiguilles;
- les électrodes et relais;
- le bungalow contenant les installations;
- les circuits de voie A/C;

- les batteries;
- les câbles;
- les réchauffages d'aiguilles.

5.4.3.4 Fin de double voie

La signalisation de fin de double voie est composée de 2 signaux à 3 aspects sur la voie directe et d'un signal à deux aspects utilisé pour les trains rejoignant la voie principale.

Figure 5.3 - Signalisation d'une fin de double voie



5.4.3.5 Modification de la commande centralisée

Des modifications seront nécessaires au niveau de la commande centralisée qui devra inclure la partie entre Brossard et Rouses Point (tracé I) et entre Delson et Rouses Point (tracé II). Il est supposé que cette commande centralisée continue à être localisée dans les locaux actuels du CP ou du CN.

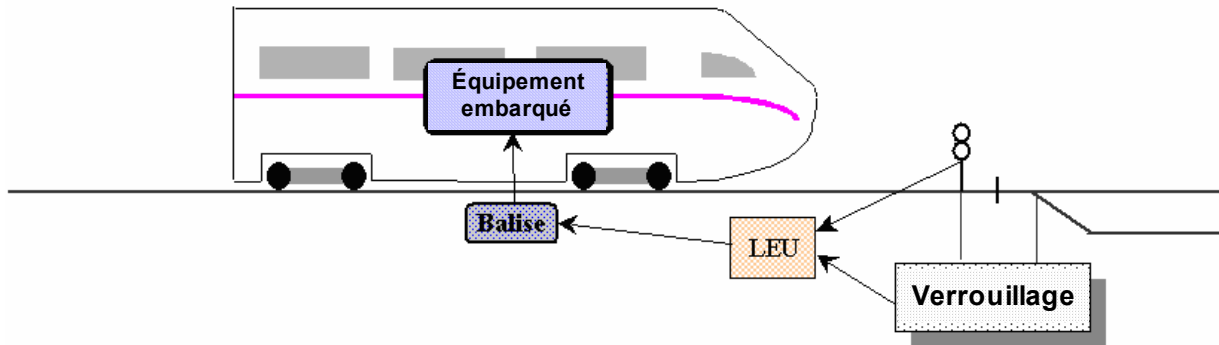
5.4.3.6 Système de protection des passages à niveau

Les passages à niveau doivent être équipés d'un système d'annonce à temps constant, avec signaux lumineux et 4 barrières. En raison des nouvelles vitesses, les circuits de voie devront être rallongés ou complètement modifiés.

5.4.4 Système de contrôle de vitesse et de signalisation de cabine pour V1 et V2

5.4.4.1 Équipement embarqué

Figure 5.4 - Architecture générale du contrôle de vitesse



L'équipement embarqué comporte :

- un calculateur embarqué de sécurité qui calcule la vitesse autorisée en fonction des données d'infrastructure reçues, qui contrôle cette vitesse et applique automatiquement, si nécessaire, le freinage;
- un interface homme/machine qui présente les informations au conducteur et lui permet d'entrer des données;
- un système de localisation qui détermine la distance parcourue depuis le dernier point de recalage;
- un système d'enregistrement;
- une antenne pour lire les messages de balise et une autre pour recevoir et émettre des messages par radio.

5.4.4.2 Équipement au sol

L'équipement au sol dépend du nombre de signaux à équiper. Chaque signal doit être connecté à 2 ou 3 balises par l'intermédiaire d'une interface dénommée LEU (Lineside Equipment Unit). Le contenu des informations des balises est fonction de l'aspect du signal.

La spécification des balises et des LEU prévoit un fonctionnement normal entre -40 °C et +70 °C.

6. TÉLÉCOMMUNICATIONS

Ce chapitre présente l'organisation générale du réseau de télécommunication et ses principales fonctionnalités. Les améliorations à apporter sont également abordées.

6.1 SPÉCIFICATION

Le réseau de télécommunication sera organisé autour du poste de la commande centralisée des circulations. Ce poste remplira trois fonctions :

- une fonction « aiguillage » : le répartiteur télécommande la totalité des aiguillages;
- une fonction de régulation des trains pour laquelle le répartiteur doit obtenir, si possible, automatiquement des informations relatives au suivi du train;
- une fonction régulation de l'énergie de traction en cas de lignes électrifiées.

Les principaux besoins en communication concernent donc :

- les échanges d'informations de sécurité et de régulation entre le répartiteur et les conducteurs de trains;
- la commande et le contrôle de la signalisation, des détecteurs de boîtes chaudes et autres détecteurs;
- la commande et le contrôle des postes électriques (dans le cas de l'électrification);
- les échanges d'informations de sécurité entre le répartiteur et les agents de maintenance. Un système téléphonique dédié avec des téléphones fixes le long de la voie peut s'avérer nécessaire pour les communications avec les équipes de maintenance, en cas d'urgence, ou pour servir de secours à la radio sol-train;
- les systèmes d'information aux voyageurs en gare;
- les systèmes de surveillance vidéo.

Le réseau de transmission doit avoir un haut niveau de disponibilité : un défaut sur un équipement ou sur une liaison ne devra pas perturber l'exploitation. Cette exigence amène à définir un réseau de secours en cas de défaut du circuit principal.

6.2 AMÉLIORATIONS PROPOSÉES

Pour faciliter l'exploitation des trains haute vitesse dans les meilleures conditions de sécurité, il est recommandé qu'un répartiteur unique contrôle leur circulation sur l'ensemble du parcours. Étant donné que la majeure partie du parcours s'effectue aux États-Unis, il est vraisemblable que le poste du répartiteur soit situé aux États-Unis.

Il est également recommandé que, dans la mesure du possible, le réseau haute vitesse soit doté de ses propres systèmes de télécommunication, notamment pour ce qui est de l'artère principale et des liaisons radio.

6.2.1 Artère principale

L'artère principale de télécommunication qui assurera le transport des signaux électroniques le long du chemin de fer devrait utiliser la technologie la plus fiable et comporter :

- un support de transmission constitué par un câble à fibres optiques;
- un système de transmission numérique à haut débit comprenant, à des intervalles réguliers, des nœuds permettant d'extraire les signaux et d'insérer d'autres signaux, lorsque nécessaire.

Le câble à fibres optiques pourrait être installé en aérien ou enterré le long de la voie. La méthode d'installation aérienne présente un double avantage : l'installation est plus rapide et beaucoup moins onéreuse en comparaison de l'enfouissement du câble dans le sol, le long de la voie. Elle nécessite cependant l'existence d'une infrastructure le long du chemin de fer : une ligne de poteaux ou une caténaire dans le cas d'une ligne électrifiée.

Les nœuds de communication seront situés dans les locaux techniques des gares ou dans les bungalows d'équipements, suivant la quantité d'information à traiter en ces points. Les équipements de transmission associés fonctionneront en mode numérique et ils seront redondants. De plus, ils seront reliés à la fibre optique pour former un anneau de transmission, de telle sorte que les communications soient toujours possibles en bouclant le système de part et d'autre de l'équipement de nœud qui serait défectueux ou d'une fibre qui serait défectueuse.

Sur le tracé en territoire québécois, il faut compter, au maximum, trois nœuds principaux de communication

Les liaisons entre les balises de contrôle des consignes de la signalisation et les bungalows d'équipements, ou les gares, le cas échéant, seront assurées par des fils de cuivre en paires et en câbles blindés, pour minimiser les interférences. Dans le cas où le bungalow d'équipements ne comporterait pas de nœud de communication, la liaison avec ce dernier sera assurée par un câble à fibre optique (avec les équipements opto-électroniques associés) car la fibre optique est complètement immunisée contre les perturbations électromagnétiques, que celles-ci proviennent des activités humaines ou des phénomènes naturels, comme la foudre.

En plus de transporter les signaux électroniques afférents à la signalisation et aux besoins de l'exploitation, l'artère de télécommunication devra transporter ceux qui seront reliés aux communications radio entre le répartiteur et les trains, le répartiteur et les véhicules et trains de travaux, le répartiteur et les postes portatifs (contremaîtres, surveillants, etc.) et enfin entre les portatifs (maintenance, sécurité, exploitation, etc.).

6.2.2 Système de liaisons radio « Very High Frequency »

Pour assurer les différentes liaisons radio décrites au paragraphe précédent, le réseau du train haute vitesse sera doté d'un système de radio « Very High Frequency (VHF) » fonctionnant en mode numérique (pour la qualité des communications) et comportant les éléments suivants :

- une platine de commande à la disposition du répartiteur;
- un certain nombre de bases situées le long de la voie, tous les 40 kilomètres environ, soit trois bases au Québec;
- un poste mobile à bord de chacun des trains et des véhicules;
- des postes portatifs à la disposition du personnel d'encadrement en charge de l'exploitation, de la maintenance ou de la sécurité.

6.2.2.1 Platine de commande

La platine de commande du répartiteur sera du type à écran tactile qui lui permettra de commander n'importe quelle base radio, individuellement ou collectivement. Elle comportera un ensemble microphone-haut-parleur. Le répartiteur pourra, s'il le désire, utiliser également un combiné classique. Pour mettre en fonction le microphone, le répartiteur aura l'option d'actionner, soit un bouton situé sur le microphone, soit une pédale.

Le système fonctionnera en duplex pour permettre au répartiteur de recevoir un appel d'urgence, même s'il est en train de parler.

6.2.2.2 Bases radio

Les bases radio seront situées le long de la voie et à proximité des gares, dans la mesure du possible, afin de faciliter la maintenance des équipements. Elles seront espacées de 30 à 40 kilomètres les unes des autres. Pour éviter les problèmes de battement entre deux bases consécutives, leurs fréquences d'émission seront différentes, de sorte que les fréquences d'émission des bases seront alternées le long du parcours : f1, f2, f1, f2, etc.

Chacune des bases comportera :

- un émetteur et un récepteur avec tous les équipements associés (alimentation, coupleurs, filtres, etc.);
- une antenne directionnelle montée sur un pylône.

6.2.2.3 Postes mobiles et portatifs

Les postes mobiles montés à bord des trains et des véhicules de travaux, ainsi que les postes portatifs, seront munis d'un récepteur à deux fréquences, f1 et f2 qui se calera sur le signal le plus

fort (f_1 , par exemple) jusqu'à ce que ce signal tombe en-dessous d'un seuil prédéterminé; à ce moment-là, il cherchera de nouveau le signal le plus fort qui sera alors f_2 et il se calera sur ce dernier. La commutation entre les deux fréquences sera automatique et le temps de transfert d'une fréquence à l'autre ne devrait pas dépasser 300 millisecondes de façon à ce qu'on ne perde pas plus qu'une syllabe de conversation pour que cette dernière reste intelligible.

En sens inverse, les postes mobiles et portatifs émettront toujours sur la même fréquence f_3 qui sera reçue par la base la plus proche ou les deux bases les plus proches. Sur la platine de commande du répartiteur le voyant de réception de la base ou des deux bases correspondantes s'illumineront et le répartiteur choisira la base la plus proche en fonction de la position du poste le long du parcours.

Lorsque les postes mobiles et portatifs entreront dans la zone d'influence des garages et des ateliers, ils devront commuter manuellement sur le canal correspondant.

6.2.3 Systèmes d'aide à l'exploitation

Tous les systèmes d'aide à l'exploitation tels que le système d'information aux voyageurs et celui de la surveillance vidéo devront aussi être rattachés à l'artère principale de télécommunications. Du centre de contrôle, le répartiteur pourra relayer aux voyageurs tous les renseignements utiles concernant les retards éventuels des trains ou les interruptions de service résultant des incidents d'exploitation ou des intempéries. En sens inverse, les caméras de surveillance vidéo des gares et des installations critiques permettront au répartiteur de prendre les actions correctives qui s'imposent face à la situation sur le terrain.

Il faut noter que les réseaux de téléphonie privés du chemin de fer joueront un rôle très important pour la coordination des services de l'exploitation et de la maintenance, d'une part et pour la circulation en toute sécurité des trains le long de la voie, d'autre part dans la mesure où les téléphones le long de la voie pourraient servir de relève en cas de défectuosité des radios.

6.3 VARIANTE

Il faut noter que si jamais le marché présentait des systèmes opérationnels de signalisation et télécommunications fonctionnant selon la norme GSM-R et si cette dernière était adoptée par les États-Unis et que de plus, ces équipements étaient offerts à des prix concurrentiels, tous les systèmes de signalisation et de télécommunications utiliseraient une plate-forme unique et intégrée. Ce serait, en quelque sorte, une solution « tout radio ». Le système de transmission par fibres optiques serait alors redondant ou pourrait servir de relève au système principal en cas de défaillance de celui-ci.

7. ÉLECTRIFICATION

7.1 CHOIX

Pour ce qui concerne l'électrification, les dernières années ont confirmé que l'électrification en 25 kV représentait la meilleure option. D'ailleurs, la majorité des matériels roulant sont équipés de moteurs alimentés par une telle tension.

Comme la majorité des lignes nouvelles à travers le monde, la ligne Montréal-Deux-Montagnes est, depuis 1996, électrifiée avec une telle tension. La compatibilité avec la ligne de Deux-Montagnes orienterait vers une électrification en 25 kV monophasé 60 Hz avec 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. En particulier, les problèmes éprouvés par les riverains de cette ligne montrent qu'un système en 2 x 25 kV s'avère nécessaire pour limiter les perturbations électromagnétiques.

Certains réseaux européens ont mis au point le système 15 kV 16⅔ Hz qui pouvait être utilisé pour alimenter directement des locomotives sans problèmes de commutation. Ce système, principalement utilisé dans les pays germaniques, a forcé les chemins de fer à créer et à exploiter un réseau à une fréquence différente de celle utilisée dans l'industrie.

Il est conseillé d'appliquer le système 2 x 25 kV plutôt que le système 1 x 25 kV pour les raisons énoncées dans le chapitre suivant.

7.2 PERTURBATIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

L'électrification de la ligne nouvelle sera génératrice de perturbations électromagnétiques tant dans les emprises ferroviaires qu'à leur voisinage. Les nouvelles installations seront protégées, mais pour ce qui concerne les tiers et les installations de signalisation déjà existantes, une étude de perturbations permettra de définir les moyens visant à en éliminer les effets.

7.3 ÉVALUATION DE LA PUISSANCE INSTALLÉE

L'évaluation devra concerner :

- le service normal;
- l'hypothèse de trafic à l'ouverture de la ligne.

Dans le cas d'une situation dégradée du trafic obligeant les trains à se succéder à distance du block, le redémarrage amenant au rétablissement de la grille dans un délai estimé à 1 heure, aura pour effet une demande supplémentaire de puissance appelée.

Dans l'hypothèse où une augmentation de trafic est rendue nécessaire dans le temps, il conviendra, lors des études, de dimensionner les installations d'alimentation de traction avec une marge de sécurité suffisante afin d'éviter des coûts additionnels d'investissement

Les fonctionnalités des installations d'alimentation de traction sont décrites à l'annexe 6.

8. COÛTS UNITAIRES

8.1 INFRASTRUCTURE

CANARAIL a développé des coûts types reflétant les conditions du marché local de la construction ainsi que les conditions particulières du projet en question (état de la voie existante...). Ces coûts ont été élaborés à partir de coûts unitaires issus d'un projet réalisé mi-2002 pour le compte de VIA Rail Canada Inc.

Le tableau 8.1 liste les différents items utilisés ainsi que les coûts associés. Ces items sont relativement généraux (p.e. voie nouvelle à 300 km/h) et englobent des sous-items qui sont plus précis (p.e. matériau, pose, etc.). Le coût associé à chacun des items a fait l'objet d'un calcul détaillé incluant plusieurs sous-items. Le détail de ce calcul n'est pas présenté dans ce rapport. Toutefois, CANARAIL a vérifié l'ordre de grandeur du coût de chacun des items.

Tableau 8.1 - Coûts unitaires proposés

Item	Unité	Coût unitaire (\$ CAN)
Expropriation Acquisition de terrain	km linéaire	37 300
Terrassement et ponts Nouveau remblai	km	503 500
Amélioration de remblai existant	km	162 200
Clôture	km	210 000
Conversion en pont ballasté	m	8 000
Remplacement de ponts	m	32 100
Passages à niveau étagé Pont routier à 2 voies	unité	2 420 000
Fermeture de passages à niveau existants	unité	4 000
Voie Nouvelle voie à 200 km/h	km	292 200
Nouvelle voie à 240 km/h	km	437 700
Nouvelle voie à 300 km/h	km	453 500
Remplacement du rail	km	147 100
Réhabilitation de la voie pour 200 km/h	km	67 300
Réhabilitation de la voie pour 240 km/h	km	310 300
Récupération de matériaux Rail remplacé	km	17 000
Composants remplacés pour V1	km	9 000
Composants remplacés pour V2	km	42 000

Les items « voie nouvelle » comprennent les matériaux et la pose de la voie. Pour calculer les coûts totaux liés à la construction d'une nouvelle ligne, il faut ajouter le coût lié aux travaux de terrassement, soit l'item « nouveau remblai ».

8.2 SIGNALISATION

Les différents équipements à installer et leur coût associé ont été déduits :

- d'une étude effectuée en 2001 pour le Northern Indiana Commuter Transportation District pour la modernisation de sa ligne entre South Bend, Indiana au poste d'aiguillage de Kensington;
- d'une étude réalisée en 2002 pour le compte de VIA Rail Canada Inc.

Le tableau 8.2 résume ces coûts.

Tableau 8.2 - Coûts de signalisation

Item	Unité	V1	V2	V3
Signalisation de cantonnement	Canton Canton	150 000 \$ pour voie simple 230 000 \$ pour voie double		
Verrouillage	Verrouillage	700 000 \$		
Installation de fin de double voie	Installation de fin de double	350 000 \$		
Modification de la commande centralisée	km de nouvelle voie	N.A.	3 000 \$	
Système de protection des passages à niveau	Passage à niveau	350 000 \$	350 000 \$	
Équipement embarqué pour le contrôle de vitesse	Locomotive	250 000 \$	250 000 \$	300 000 \$
Équipement au sol pour le contrôle de vitesse pour V1 et V2	Signal	60 000 \$	60 000 \$	
Équipement au sol pour le contrôle de vitesse pour V3	km de voie simple km de voie double			200 000 \$ 300 000 \$

8.3 TÉLÉCOMMUNICATIONS

La technologie des télécommunications a fortement évolué durant les dernières années et s'est traduite par une baisse des coûts très importante. Tous les chemins de fer se sont orientés vers l'utilisation de la transmission par fibre optique enterrée ou même mieux, aérienne, dans le cas de voies électrifiées.

Les coûts ont été développés à partir de ceux issus de projets similaires réalisés dans les 10 dernières années au Canada, par exemple pour le Québec North Shore & Labrador (QNS&L) et pour la Compagnie minière de Québec-Cartier (QCM). Le tableau 8.3 donne les coûts unitaires des principaux items reliés aux télécommunications.

Tableau 8.3 - Coûts unitaires reliés aux télécommunications

Item	Unité	CAN \$
Fourniture et installation du câble à fibre optique	Somme forfaitaire pour l'artère principale	2 000 000 \$
Équipements de transmission	Somme forfaitaire pour l'artère principale	400 000 \$
Trois bases et platine de contrôle	Forfaitaire	300 000 \$
Radios de train	L'unité	10 000 \$
Portatifs	L'unité	2 500 \$

L'évaluation des coûts en télécommunication est indépendante du tracé et de la gamme de vitesses. Toutefois, elle caractérise un système ferroviaire à haute vitesse.

Ainsi les coûts d'équipements de l'artère principale s'élèvent à 2 000 000 \$ quel que soit le tracé et la gamme de vitesses. Ces coûts comprennent la fourniture et l'installation du câble à fibre optique et les équipements de transmission.

Une enveloppe globale de 500 000 \$ est affectée aux coûts pour la radio VHF.

En incluant les systèmes d'aide à l'exploitation (téléphonie, alarmes, surveillance vidéo, information aux voyageurs, etc.), il faut compter une enveloppe globale de 5 Millions \$ CAN pour les systèmes de télécommunications.

8.4 ÉLECTRIFICATION

Le coût de l'électrification de la ligne est basé sur les hypothèses suivantes :

- une sous-station tous les 50 kilomètres;
- un poste de sectionnement et de mise en parallèle SP situé à mi-chemin entre les sous-stations;
- un poste de mise en parallèle P situé entre la sous-station et le poste SP.

Il est considéré que le coût de la deuxième sous-station située aux environs de la frontière est partagé entre les deux pays.

Les coûts unitaires de ces installations et des caténaires sont issus d'une étude de faisabilité d'électrification de la ligne Montréal-Blainville réalisée en 2002. Ils sont reportés dans le tableau 8.4.

Tableau 8.4 - Coûts d'électrification

Item	Unité	Coût en CAN \$
Sous-station	unitaire	5 400 000 \$
Postes sectionnement et parallèles	unitaire	830 000 \$
Poste sectionnement	unitaire	810 000 \$
Poste de contrôle centralisé	unitaire	4 000 000 \$
Caténaire voie unique	km	200 000 \$
Caténaire voie double	km	360 000 \$
Raccordement à Hydro-Québec	km	250 000 \$
Provisions pour protection de circuits perturbés	forfait	4 000 000 \$

8.5 MATÉRIEL ROULANT

La quantité de matériel roulant requise pour assurer le service sur la ligne Montréal – New York ne peut être déterminée qu'approximativement. En effet, bien que les temps de parcours entre Montréal et la frontière américaine ait été déterminés au moyen de simulations, cette distance ne représente que 15 % de la longueur du parcours total.

Nous avons donc posé les hypothèses qui nous semblaient les plus réalistes concernant les vitesses commerciales, ou vitesses moyennes, qui seraient atteintes sur l'ensemble du parcours Montréal-New York pour les trois gammes de vitesses. Les vitesses utilisées ainsi que les temps de parcours calculés sont indiqués au tableau 8.5 suivant.

Tableau 8.5 - Vitesses et temps de parcours utilisés

Gamme de vitesses	Vitesse maximale (km/hre)	Vitesse moyenne (km/hre)	Temps de parcours (hres)
V1	200	145	4h 21 mn
V2	240	160	3h 56 mn
V3	300	180	3h 30 mn

Certaines hypothèses ont été posées concernant le service devant être assuré entre Montréal et New York. Le nombre de passagers utilisant le train annuellement a été déterminé en fonction des données d'achalandage présentées au rapport du livrable C-1. Nous avons également supposé que les départs devraient être effectués de Montréal et New York entre 07:00 et 19:00 heures, sept jours par semaine et que le pourcentage des sièges vendus, ou coefficient de remplissage, atteindrait 70 % en moyenne. Le tableau 8.6 présente un sommaire des hypothèses posées afin de pouvoir déterminer le nombre de rames requises.

Tableau 8.6 - Sommaire des hypothèses

Critères de design pour le service	
Distance Montréal - New York (km):	630
Nombre de passagers par an (2 directions)	788 000
Nombre de passagers par jour (2 directions)	2 159
Coefficient de remplissage	70 %
Premier départ	7:00
Dernier départ	19:00

Nous avons également supposé que le temps d'arrêt à chaque terminus, soit Montréal et New York serait d'une heure. Ce délai est considéré comme le minimum requis afin de permettre la descente des voyageurs, le nettoyage et l'inspection du train et enfin l'embarquement des passagers en préparation pour le départ.

Nous avons ensuite utilisé les modèles de matériel roulant types recommandés au livrable C1 pour chaque gamme de vitesses afin de déterminer le nombre de trains par jours requis pour assurer le service en fonction de ces paramètres et du nombre de places disponibles sur chaque type de matériel roulant. Les résultats sont présentés au tableau 8.7.

Tableau 8.7 - Nombre de trains par jour requis pour chaque gamme de vitesses

Vitesse moyenne (km/hre)	Temps de parcours (hres)	Matériel roulant				Nombre de trains par jour	
		Modèle	Type de traction	Composition des rames	Nombre de places	Deux directions	De chaque terminus
145	4.34	ICE TD	Automotrice Diesel-Électrique	4 voitures	195	15.8	8
145	4.34	Virgin Rail Classes 220	Automotrice Diesel-Électrique	4 voitures	174	17.7	9
160	3.94	Jet train	Train Diesel-Électrique	2 locos + 6 voitures	309	10.0	5
160	3.94	Acela	Train électrique	2 locos + 6 voitures	309	10.0	5
180	3.50	TGV	Train électrique	2 locos + 8 voitures	403	7.7	4
180	3.50	ETR 500	Train électrique	2 locos + 11 voitures	590	5.2	3

Un horaire des trains a ensuite été préparé pour chaque gamme de vitesses en fonction du matériel roulant type retenu et des hypothèses posées pour le service de trains. L'horaire de trains ainsi obtenu pour la gamme de vitesses V2 est présenté au tableau 8.8. Cet horaire indique que deux rames seront requises à chaque extrémité de la ligne en début de journée. Ces quatre rames pourront effectuer les cinq allers-retours requis quotidiennement.

Tableau 8.8 - Horaire des trains de passagers Montréal-New York - Vitesse V2

Départ de Montréal		Arrivée à New York	Attente à New York	Départ au plus tôt de New York	Départ de New York		Arrivée à Montréal	Attente à Montréal	Départ au plus tôt de Montréal	Départ de Montréal
Rame	Heure de départ				Rame	Heure de départ				
					11	7:00	11:00	1:00	12:00	12:00
					12	8:30	12:30	1:00	13:30	17:00
1	7:00	11:00	1:00	12:00	1	12:00	16:00	1:00	17:00	18:30
2	8:30	12:30	1:00	13:30	2	17:00	21:00	1:00	22:00	Nuit à Mtl
11	12:00	16:00	1:00	17:00	11	18:30	22:30	1:00	23:30	Nuit à Mtl
12	17:00	21:00	1:00	Nuit à NY						
1	18:30	22:30	1:00	Nuit à NY						

Une certaine quantité de matériel roulant de réserve doit être prévu pour remplacer le matériel roulant qui doit subir des entretiens ou des réparations suite à des pannes. Le matériel de réserve requis représente normalement de 5 à 10 % du parc au cours des premières années d'exploitation et peut atteindre 10 à 15 % après une période de 8 à 12 ans. Puisque le nombre de rames est petit et que ces rames sont généralement constituées de voitures différentes (première et deuxième classe, bistro, motorisée ou non), nous avons considéré qu'une rame complète serait requise pour la réserve.

Le nombre de rames requises pour chaque matériel type et chacune des gammes de vitesse sont indiqués au tableau 8.9. Les prix par rame ainsi que le coût total pour le matériel roulant sont également présentés dans ce tableau. Les prix pour le matériel roulant (ICE TD, JetTrain, Acela et TGV) ont été déterminés en fonction des prix payés au cours des dernières années par les exploitants ayant fait l'acquisition de matériel semblable.

Pour le matériel ICE TD, les prix ont été estimés à partir du coût pour une commande de 28 rames pendulaires électriques de sept voitures ICE-T et ajustés pour prendre en compte le nombre plus élevé de loges de conduite et le fait que les rames sont munies de groupes diesel-électriques.

Le prix du matériel Jet Train a été estimé à partir du coût des trains Acela. Il a été tenu compte du fait que ce matériel avait été construit sur commande. Le prix a été calculé à partir de celui des 2 rames additionnelles pour lesquelles Amtrak avait une option d'achat. Nous avons considéré que le prix des locomotives Jet train serait équivalent à celui des locomotives électriques tri-voltages Acela.

Le prix du matériel TGV a été dérivé directement du prix payé pour le matériel Thalys circulant sur la ligne Paris-Bruxelles-Amsterdam.

Tableau 8.9 - Coût du matériel roulant

Gamme de vitesses	Matériel roulant				Nombre de rames requises	Coût par rame (M \$ CAN)	Coût du matériel roulant (M \$ CAN)	Électrification de la ligne requise?
	Modèle	Type de traction	Composition des rames	Nombre de places				
V1	ICE TD	Automotrice Diesel-Électrique	4 voitures	195	7	14	98	Non
V2	Jet train	Automotrice Diesel-Électrique	2 locos + 6 voitures	309	5	27	135	Non
V2	Acela	Train électrique	2 locos + 6 voitures	309	5	27	135	Oui
V3	TGV	Train électrique	2 locos + 8 voitures	403	5	25	125	Oui

9. MODÈLE DE COÛTS

CANARAIL dispose d'un modèle de coûts fiable et exhaustif. Sa structure permet de corrélérer à chaque estimé la répartition des travaux sous-jacents. De plus, il permet aussi de combiner différents segments de voie d'un projet. Le modèle utilise une structure sectorielle de sous-systèmes, lesquelles sont :

- acquisition de terrain;
- terrassement et ponts;
- passages à niveau étagés;
- voie;
- signalisation, communication, électrification et passages à niveau;
- récupération de matériaux;
- matériel roulant.

Le coût de chacun de ces sous-systèmes est aussi divisé en 5 catégories de coût, appelés des secteurs. Le titre et la définition du contenu de chacun de ces secteurs sont donnés ci-dessous.

1. Services professionnels et gestion de projet : couvre les coûts d'ingénierie, de surveillance de chantier et de gestion de projet par le contractant ou le consultant.
2. Transport et diffusion : dans le cadre de ce projet, tous les coûts de transport sont inclus dans le coût de l'item lui-même (matériau, équipement, etc.).
3. Équipement et matériel : couvre les coûts de tous les équipements et matériels requis dans le cadre du sous-système considéré. Le matériel de voie est inclus dans le secteur « Construction et Pose » du sous-système « Voie ».
4. Construction et pose : couvre les coûts de construction et de travaux de pose au sein des différents sous-systèmes.
5. Mobilisation et démarrage : couvre une variété de coûts inhérents au démarrage du projet et à la construction. Ces coûts peuvent aussi inclure des coûts liés au maintien de la sécurité sur le réseau ferré lors de la construction ou la réhabilitation des voies.

La précision des coûts dépend d'une part de l'évaluation de l'état des réseaux, d'autre part des coûts unitaires. CANARAIL ne dispose pas de données caractérisant la précision de l'état des réseaux. Les coûts unitaires utilisés ont été comparés à ceux utilisés dans des projets similaires. Pour ces raisons, CANARAIL estime la précision des coûts à plus ou moins 25 %.

10. SOLUTIONS POUR LA GAMME V1

Pour cette gamme de vitesses, CANARAIL a choisi de limiter les améliorations aux possibilités offertes par l'emprise ferroviaire. La particularité de ces tracés est donc d'exploiter au maximum l'alignement des tracés existants. Ainsi, cette approche limite les coûts tout en permettant d'obtenir des temps de parcours intéressants en comparaison à une voie complètement réhabilitée pour une vitesse maximale de 200 km/h. Ce dernier point est discuté dans la partie Exploitation.

10.1 TRACÉ I

Ce scénario requiert peu de modifications et permet une vitesse de 200 km/h sur 70 % du tracé total soit à l'extérieur du Grand Montréal et de Saint-Jean-sur-Richelieu.

L'annexe 7 présente le résumé des coûts de ce scénario ainsi que le détail des différents sous-systèmes. Le montant total s'élève à 43,9 millions de dollars pour l'infrastructure.

10.2 TRACÉ II

Ce scénario permet une vitesse de 200 km/h sur un peu plus de 50 % du tracé total, soit à l'extérieur du Grand Montréal, à Delson et à Napierville.

L'annexe 8 présente le résumé des coûts de ce scénario ainsi que le détail des différents sous-systèmes. Le montant total s'élève à 35,1 millions de dollars pour l'infrastructure.

10.3 COMPARAISON DES TRACÉS

Le tableau 10.1 donne les coûts associés aux principales améliorations pour les deux tracés ainsi que les coûts globaux. Le coût lié au matériel roulant est de l'ordre de 100,8 millions de dollars pour 7 rames ICE TD.

Tableau 10.1 - Coûts des différents sous-systèmes pour les tracés I et II pour V1 (millions de \$)

Sous-système	Tracé I	Tracé II
Acquisition de terrains	0 \$	0 \$
Terrassement et ponts	2 806 000 \$	1 863 000 \$
Passages à niveau étagés	226 000 \$	247 000 \$
Voie	6 571 000 \$	5 714 000 \$
Signalisation, télécommunications et passages à niveau	35 216 000 \$	27 961 000 \$
Récupération de matériaux	-936 000 \$	- 721 000 \$
Matériel roulant	100 748 000 \$	100 748 000 \$
Coûts globaux	144 631 000 \$	135 812 000 \$

La différence des coûts entre les deux scénarios s'explique en partie par le nombre important de passages à niveau rencontrés sur le tracé I (32 pour CN et 16 pour CP). Une étude plus détaillée permettrait de supprimer certains passages à niveau sur le tracé I et ainsi rendre son coût similaire à celui du tracé II.

Le coût par kilomètre associé au tracé I est de l'ordre de 573 900 \$, celui associé au tracé II est de l'ordre de 527 400 \$.

Si l'on considère la possibilité de supprimer la moitié des passages à niveaux du tracé I, le coût kilométrique descend alors à 511 100 \$ (soit un gain de 16 x 350 000 \$ lié aux améliorations des passages à niveau mais un coût de fermeture s'élevant à 16 x 5 000 \$), auquel il faut ajouter le coût lié aux infrastructures routières nécessaires pour maintenir la connexion.

11. SOLUTIONS POUR LA GAMME V2

Les tracés pour la gamme de vitesses V2 sont élaborés de façon à permettre une circulation à 240 km/h sur toute la voie, exceptée dans la grande zone urbaine de Montréal. Ainsi les courbes sont améliorées et les zones urbaines de Saint-Jean sur le tracé du CN et de Napierville sur le tracé du CP sont contournées. Les voies en zone urbaine sont conservées à titre de voie d'évitement.

Le FRA exige une séparation route/rail pour les vitesses supérieures à 200km/h. Ainsi les passages à niveau publics rencontrés à l'extérieur de la grande zone urbaine de Montréal sont remplacés par des ponts routiers.

Outre les sections de voie nouvelles, l'infrastructure ferroviaire requiert aussi une réhabilitation comprenant un remplacement partiel du rail, le remplacement systématique des traverses bois pour des traverses béton et un ajout de ballast.

CANARAIL a basé son étude sur une exploitation commune des tracés pour les trains frets et les trains voyageurs. Pour des raisons de sécurité, Transports Canada exigera probablement une séparation physique de l'exploitation frets et voyageurs, ce qui se traduirait par une séparation temporelle des circulations frets et voyageurs. Cette dernière est possible en utilisant les sections de voies existantes qui ne seront pas empruntées par le transport voyageurs. Il s'agit des sections traversant Saint-Jean-sur-Richelieu pour le tracé I et Napierville pour le tracé II.

11.1 TRACÉ I

La principale caractéristique de ce scénario est la section de voie nouvelle de 11,6 km qui permet d'éviter Saint-Jean-sur-Richelieu à 240 km/h. Ce scénario permet une vitesse de 240 km/h sur 74 % du tracé total soit à l'extérieur du Grand Montréal. Notons que la vitesse dans cette dernière zone est augmentée par rapport à la situation actuelle.

L'annexe 9 présente le résumé des coûts de ce scénario ainsi que le détail des différents sous-systèmes. Le montant total s'élève à 143 millions de dollars pour l'infrastructure sans électrification (JetTrain) et 204,5 millions de dollars pour l'infrastructure avec électrification (Acela).

11.2 TRACÉ II

Comme pour la gamme de vitesses V1, ce scénario permet une vitesse de 240 km/h sur un peu plus de la moitié du tracé total, soit à l'extérieur du Grand Montréal et dans la région de Delson. En effet, il existe encore une restriction de vitesse à la sortie de la boucle de Delson. Les améliorations pertinentes sont impossibles à mettre en œuvre à cause de contraintes environnementales et de l'implantation d'une cimenterie.

Ce scénario comprend un segment de voie nouvelle pour contourner Napierville d'un peu plus de 8 kilomètres.

L'annexe 10 présente le résumé des coûts de ce scénario ainsi que le détail des différents sous-systèmes. Le montant total s'élève à 104.5 millions de dollars pour l'infrastructure sans électrification (JetTrain) et 164.7 millions de dollars pour l'infrastructure avec électrification (Acela).

11.3 COMPARAISON DES TRACÉS

Le tableau 11.1 donne les coûts associés aux principales améliorations pour les deux tracés ainsi que les coûts globaux.

Le coût du matériel roulant est estimé à 138 millions de dollars pour 5 rames, aussi bien pour le JetTrain que l'Acela. Toutefois l'Acela demande l'électrification de la ligne ce qui majore les coûts d'environ une soixantaine de millions de dollars pour l'infrastructure.

Tableau 11.1 - Coûts des différents sous-systèmes pour les tracés I et II pour V2 (millions de \$)

Sous-système	Tracé I	Tracé II
Acquisition de terrains	619 000 \$	506 000 \$
Terrassement et ponts	23 704 000 \$	18 138 000 \$
Passages à niveau étagés	71 907 000 \$	44 360 000 \$
Voie	26 068 000 \$	21 310 000 \$
Signalisation, télécommunications et passages à niveau (JetTrain)	22 782 000 \$	21 492 000 \$
Signalisation, télécommunications et passages à niveau et électrification (Acela)	84 365 000 \$	82 004 000 \$
Récupération de matériaux	-2 110 000 \$	-1 645 000 \$
Matériel roulant	137 613 000 \$	137 613 000 \$
Coûts globaux – Option JetTrain	280 583 000 \$	241 774 000 \$
Coûts globaux – Option Acela	342 166 000 \$	302 286 000 \$

La différence des coûts entre les deux scénarios s'explique encore par le nombre important de passages à niveau à remplacer par des ponts routiers sur le tracé I (26 pour CN et 16 pour CP) et aussi par différence de longueur de section nouvelle (11,6 km pour CN et 8 km pour CP).

Le coût par kilomètre sans électrification associé au tracé I est de l'ordre de 1 907 800 \$, celui associé au tracé II est de l'ordre de 1 566 500 \$.

Si l'on considère la possibilité de supprimer une dizaine de ponts routiers du tracé I, le coût kilométrique descend alors à 1 586 500 \$ (soit un gain de 24 200 000 \$), auquel il faut ajouter le coût lié aux infrastructures nécessaires pour maintenir la connexion.

12. SOLUTIONS POUR LA GAMME V3

À ce niveau de détail de l'étude, CANARAIL étudie les possibilités d'extension des réseaux existants CN et CP tout en conservant les approches existantes du centre-ville de Montréal et en tentant d'utiliser au maximum la voie existante ou son emprise. Rappelons que les lignes nouvelles ou lignes à grande vitesse sont dédiées uniquement à la grande vitesse. Ainsi CANARAIL propose des tracés de lignes nouvelles restant si possible dans l'emprise ferroviaire actuelle.

La séparation temporelle des circulations frets et haute vitesse s'applique pour la gamme de vitesses V3, car Transports Canada exige une séparation physique entre de telles lignes.

Les coûts sont évalués en considérant que les passages à niveau sont modifiés de la même façon que pour la gamme de vitesses V2.

12.1 TRACÉ I

Le tracé I pour V3 se caractérise par une nouvelle section permettant d'éviter Saint-Jean-sur-Richelieu, tout en permettant une vitesse de circulation de 300 km/h (section comptant des courbes). Ainsi, le tracé reste celui proposé pour la vitesse V2 de la gare Centrale jusqu'au point milliaire 20,75. La nouvelle section à 300 km/h débiterait approximativement avant le pont ferroviaire du point milliaire 20,8. Cette section rattraperait le tracé I prévu pour V2 juste après Saint-Blaise-sur-Richelieu, soit vers le point milliaire 33,30 (voir la figure 3.2).

Suite à une réhabilitation de la voie existante, les circulations à 300 km/h pourront débuter approximativement au point milliaire 13.

Ce tracé comporterait environ 20 km de voie nouvelle. Il présente une diminution de longueur d'un peu plus d'un kilomètre par rapport au tracé original.

L'annexe 11 présente le résumé des coûts de ce scénario ainsi que le détail des différents sous-systèmes. Le montant total s'élève à 230,2 millions de dollars pour l'infrastructure, incluant l'électrification.

12.2 TRACÉ II

Ce tracé ne présente pas de modification majeure par rapport à celui proposé pour la gamme de vitesses V2. Une amélioration de la courbe située au nord de Lacolle est toutefois à prévoir pour maintenir les 300 km/h sur cette section du tracé.

Ce tracé comporterait 16 km de voie sur une nouvelle emprise. Suite à une réhabilitation de la voie existante, les circulations à 300 km/h pourront débuter approximativement au point milliaire 16.

L'annexe 12 présente le résumé des coûts de ce scénario ainsi que le détail des différents sous-systèmes. Le montant total s'élève à 191,5 millions de dollars pour l'infrastructure incluant l'électrification.

12.3 COMPARAISON DES TRACÉS

Le tableau 12.1 donne les coûts associés aux principales améliorations pour les deux tracés ainsi que les coûts globaux.

Le coût lié au matériel roulant est de l'ordre de 128 millions de dollars pour 5 rames TGV.

Pour les 2 tracés, l'électrification est évaluée à environ 56 millions de dollars. Cet item est inclus dans le sous-système « Signalisation, télécommunications et passages à niveau ».

Tableau 12.1 - Coûts des différents sous-systèmes pour les tracés I et II pour V3 (millions de \$)

Sous-systèmes	Tracé I	Tracé II
Acquisition de terrains	820 000 \$	651 000 \$
Terrassement et ponts	47 078 000 \$	36 299 000 \$
Passages à niveau étagés	66 372 000 \$	44 360 000 \$
Voie	33 802 000 \$	27 382 000 \$
Signalisation, télécommunications, passages à niveau et électrification	82 282 000 \$	83 101 000 \$
Récupération de matériaux	- 216 000 \$	- 333 000 \$
Matériel roulant	127 765 000 \$	127 765 000 \$
Coûts globaux	357 903 000 \$	319 225 000 \$

On constate que les coûts d'électrification des deux tracés sont similaires. Le tracé II comprend environ 13 km supplémentaires de voie double par rapport au tracé I, ce qui compense le fait que le tracé II soit plus court.

La différence des coûts entre les deux scénarios s'explique principalement par le nombre important de passages à niveau à remplacer par des ponts routiers sur le tracé I (26 pour CN et 16 pour CP) et aussi par différence de longueur de section des deux tracés (75 km pour CN et 67 km pour CP).

Le coût par kilomètre associé au tracé I est de l'ordre de 3 075 000 \$, celui associé au tracé II est de l'ordre de 2 879 400 \$.

13. EXPLOITATION

13.1 TEMPS DE PARCOURS

Les principales caractéristiques prises en compte pour déterminer les temps de parcours aux différentes vitesses entre Montréal et Rouses Point sont les suivantes:

- les caractéristiques du train (vitesse maximale, taux de freinage et d'accélération, masse);
- la vitesse maximale de la ligne et les restrictions de vitesses dues principalement aux courbes et aux ponts;
- les valeurs du profil et des courbes, utilisées pour le calcul de la force de résistance de la voie.

La vitesse maximale d'une portion de ligne entre deux restrictions de vitesse a été déterminée, afin qu'une majorité (près de 66 % de la longueur) de cette portion soit parcourue à cette vitesse maximale par le train. Par exemple, sur le réseau de CP, pour les gammes de vitesse V3, entre la restriction de vitesse du Seaway Bridge (PM 8) et celle de la courbe après Delson, la vitesse maximale de la ligne a été fixée à 200 km/h. Elle a été fixée à 175 km/h pour les gammes de vitesse V2 et à 150 km/h pour les gammes de vitesse V1.

Les résultats des simulations sont indiqués dans les tableaux 13.1 et 13.2. Ces temps de parcours incluent une marge de 7 % conformément au « Railroad Corridor Transportation Plans, A Guidance Manual ».

Tableau 13.1 - Temps de parcours majorés sur les tracés I et II pour les trois gammes de vitesse

Vitesse	V0 (situation actuelle)	V1	V2	V3
Matériel utilisé	Train de banlieue actuel	ICE TD	Jet train	TGV
Gare Centrale/Rouses Point (tracé I)	89 mn	36 mn	29 mn	26 mn 30 s
Gare Lucien-L'Allier/Rouses Point (tracé II)	70 mn	29 mn	25 mn	23 mn 30 s
Écart entre CN et CP	19 mn	7 mn	4 mn	3 mn

La différence de temps entre les deux parcours provient essentiellement de la différence de longueur des deux parcours (66 kilomètres pour le parcours utilisant les voies actuelles de CP contre 78 kilomètres pour celui du CN) et de la longue restriction de vitesse sur le pont Victoria pour la ligne du CN.

Les moyennes des vitesses, pour V1, V2 et V3, sont du même ordre de grandeur pour les tracés I et II, soit respectivement de l'ordre de 145 km/h, 160 km/h et 180 km/h.

13.2 ÉVALUATION ALTERNATIVE

13.2.1 Restriction de vitesse de la courbe au nord de Lacolle

Une évaluation de la perte de temps liée à la restriction de vitesse due à la courbe au PM 34,50 (restriction de vitesse de l'ordre de 190 km/h, avant Lacolle sur la ligne CP) dans le cas de la gamme de vitesses V3 a été réalisée. Elle est estimée à 30 secondes. Lors d'études futures, on pourrait considérer que le gain de temps ne justifie pas la reconstruction de cette courbe.

13.2.2 Évaluation d'un tracé alternatif à V1

Le temps de parcours pour le tracé actuellement proposé pour la gamme V2 a été calculé en supposant que la vitesse de ligne était limitée à la vitesse V1. Le temps de parcours est de 2 minutes inférieur pour le tracé I et d'une minute pour le tracé II au temps de parcours sur les lignes existantes améliorées pour la gamme de vitesses V1.

Ceci montre que, pour la gamme de vitesses de 200 km/h, la construction de portions de lignes nouvelles, n'engendre pas un gain de temps significatif concernant le temps de parcours. Il est donc recommandé d'utiliser les voies actuelles à cette gamme de vitesses.

13.3 GRAPHIQUE DE CIRCULATION

Conformément aux données d'achalandage décrites dans le Livrable C1 intitulé « Revue des technologies en utilisation commerciale », les diagrammes d'exploitation considèrent 7 trains par direction quotidiennement.

Ces graphiques (annexe 13), qui représentent la position des différents trains en fonction du temps, sont des exemples de graphique de circulation. Ils ont été établis pour la vitesse V1 en prenant en compte l'exploitation actuelle des trains de voyageurs ainsi que les caractéristiques de voie suivantes :

- voie simple entre Delson et Rouses Point, au niveau de South Junction sur la ligne du CP;
- une voie supplémentaire est dédiée aux trains rapides entre Lucien-L'Allier et South Junction sur la ligne du CP;
- voie simple entre Cannon et Rouses Point sur la ligne du CN.

Les horaires de passage pour un train partant à midi sont donnés dans le tableau 13.2.

Tableau 13.2 - Horaires des trains

Ligne CP		Ligne CN	
Montréal – Gare Lucien-L'Allier	12h00	Montréal - Gare Centrale	12h00
Montréal-Ouest	12h06	Cannon	12h09
Delson	12h13	Brossard	12h17
Napierville	12h22	L'Acadie	12h21
Rouses Point	12h29	Saint-Jean-sur-Richelieu	12h24
		Rouses Point	12h36

Ces résultats montrent que :

- sur les lignes du CP, 45 % du temps de parcours ne permettent d'effectuer que 33 % de la distance du parcours (Montréal-Delson);
- sur les lignes du CN, 50 % du temps de parcours est nécessaire pour parcourir un peu moins de 30 % de la distance du parcours (Montréal-Brossard).

L'infrastructure actuelle semble pouvoir supporter le trafic prévu de 7 trains quotidiens par direction - maximum envisageable avec une amélioration du système de signalisation du réseau existant. Toutefois, il faut que les voies d'évitement pour trains de marchandises soit réalisées et qu'une double voie permettant le croisement des trains rapides soit construite du côté américain, près de la frontière. Il faudrait également vérifier que le trafic futur des trains de marchandise puisse s'insérer dans les plages horaires (sillons) laissés libres par les trains rapides et les trains de banlieue. Dans l'exemple d'horaire considéré, des sillons pour les trains de marchandises peuvent être tracés entre 10h00 et 15h00 et entre 22h00 et 06h00 sur la partie québécoise.

Les horaires retenus en définitive dépendraient de :

- les règles d'entretien prévoyant de réserver des intervalles permettant d'effectuer des travaux de maintenance;
- la position (coté américain ou québécois) des portions de doubles voies nécessaires aux croisements des trains rapides;
- la nécessité d'obtenir des rotations satisfaisantes du matériel et un coefficient d'occupation des rames de 65 % en période normale;
- les correspondances à assurer, compte tenu des nombreuses contraintes à respecter (occupation des voies des gares par exemple).

13.4 CONSÉQUENCES D'UNE EXPLOITATION HIVERNALE

En période hivernale, les événements suivants peuvent apporter des limitations à l'exploitation :

- chute de neige abondante sur la voie;
- problème de givre si les lignes sont électrifiées.

Les problèmes liés aux chutes de neige abondantes sont correctement maîtrisés par les deux réseaux. Compte tenu des nouvelles vitesses, la maîtrise des amas de neige sur la voie devra faire l'objet d'une politique curative spécialement élaborée.

Sous certaines conditions météorologiques, en l'absence de train, le givre ou le verglas peut se former sur le fil de contact des lignes de traction électrique. Des résistances parasites sont ainsi créées. Elles sont susceptibles de perturber le captage de courant et lorsque les intensités captées sont élevées, de détériorer le fil de contact et le pantographe. Le retour d'expérience sur lignes nouvelles à grande vitesse prouve que l'échauffement nécessaire, pour faire fondre le givre recouvrant un fil à température voisine de 0° Celsius et assécher celui-ci dans un délai de 15 minutes environ, est de l'ordre de 10° Celsius. La méthode pour faire face à ce problème consiste à réchauffer l'ensemble de la caténaire en créant une boucle par mise en série des caténaires des deux voies principales, dont une extrémité est alimentée par une sous-station, l'autre extrémité étant reliée au circuit de retour. La conception de la caténaire doit permettre d'effectuer cette boucle.

14. ASPECTS LÉGAUX ET RÉGLEMENTAIRES

Cette section présente un aperçu des exigences légales et réglementaires qui pourraient être requises pour l'approbation de constructions à l'extérieur des emprises existantes. Soulignons en premier lieu que ce texte est présenté à titre indicatif et n'a pas valeur d'avis juridique. Soulignons également que ce texte est basé sur l'hypothèse que l'entité qui réalisera les travaux à titre de propriétaire est assujettie ou accepte de s'assujettir à toutes les lois fédérales, provinciales et municipales applicables.

Les champs couverts sont ceux de l'environnement, de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire, ainsi que celui de la protection de territoire agricole.

14.1 ENVIRONNEMENT

Au Canada, l'environnement constitue un domaine de juridiction partagée entre les niveaux de gouvernement fédéral et provincial. Ainsi, chacun des deux niveaux de gouvernement y exerce pleinement sa juridiction dans les domaines qui relèvent de sa compétence. En matière d'évaluation des effets environnementaux des projets ou activités de développement, les deux gouvernements disposent de leur propre loi : la *Loi sur la qualité de l'environnement* du Québec, alors que le gouvernement fédéral applique la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale*. Les deux procédures ne s'appliquent pas nécessairement à tous les projets. Il peut toutefois se présenter des cas où les deux lois s'appliquent.

L'article 31.1 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LRQ, chap. Q-2) précise que nul ne peut entreprendre une construction, un ouvrage, une activité ou une exploitation dans les cas prévus par règlement sans suivre la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement et obtenir un certificat d'autorisation. L'article 2 du *Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement* (Q-2, r.9) énumère tous les types de projets qui peuvent être assujettis à la procédure. Deux cas peuvent nécessiter une étude d'impact sur l'environnement :

- la construction d'un terminus ferroviaire ou de construction d'une voie de chemin de fer de plus de 2 km ;
- la construction d'un pont nécessitant l'empiètement temporaire et/ou permanent dans un cours d'eau sur une longueur de 300 m et plus ou une surface de 5 000 m² et plus.

La durée normale de la procédure pour un projet de ce genre serait approximativement de 24 mois entre le dépôt de l'avis de projet et l'émission du décret, soit de 12 à 14 mois de délais administratifs au Ministère, y incluant les 4 mois d'audiences publiques, 9 mois pour le promoteur afin de réaliser une étude d'impact et 2 mois pour l'émission du décret. Il est possible, par une gestion proactive, de réduire la durée du processus d'autorisation. Une durée totale de 18 à 20 mois constitue un objectif optimiste, mais réalisable.

Suite à l'obtention du décret, le promoteur doit encore respecter l'article 22 de la LQE et obtenir un certificat d'autorisation de construction. À cette fin, il devra déposer les plans et devis du projet auprès du Ministère, notamment pour démontrer comment les mesures d'atténuation seront implantées lors de la construction.

Selon la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (LCEE), le processus fédéral d'évaluation environnementale est déclenché si une autorité fédérale :

- propose un projet,
- finance un projet,
- cède un droit foncier au promoteur du projet
- doit exercer une responsabilité de réglementation dans le cadre du projet.

Si une autorité fédérale propose ou finance en tout ou en partie la réalisation du projet, cette autorité devra mener une évaluation environnementale du projet. De même, une autorité fédérale devant céder un terrain, que ce soit par vente, location, servitude ou droit d'utilisation, devra mener une évaluation environnementale du projet.

La situation est plus complexe au chapitre de la responsabilité de réglementation. Ce déclencheur signifie que l'autorité fédérale concernée ne peut émettre un permis ou un avis favorable au projet avant d'avoir effectué une évaluation environnementale. Ce pourrait être le cas si des permis sont requis en vertu de la loi fédérale sur les chemins de fer.

En outre, la construction d'un nouveau pont pourrait constituer un déclencheur en vertu de la loi canadienne. Si le nouveau tracé franchit un cours d'eau classé navigable (tel le Richelieu, qui est une voie navigable internationale) ou jugé navigable selon la pratique coutumière, l'ouvrage de franchissement devra être autorisé en conformité avec l'article 5(1) de la *Loi sur la protection des eaux navigables* (LPEN). La Garde côtière canadienne exigera une évaluation environnementale de la traversée avant d'entamer le processus d'autorisation de l'ouvrage; un des éléments importants de cette évaluation est lié à l'article 35(2) de la *Loi sur les pêches*, qui interdit de détruire l'habitat du poisson (qui est de juridiction fédérale) sans autorisation. Les spécialistes du ministère des Pêches et Océans voudront examiner une caractérisation de l'habitat du poisson au site de traversée et, conformément à leur politique de «aucune perte nette d'habitat», obtenir du promoteur du projet une entente de compensation si le projet entraîne la destruction d'habitat.

14.2 URBANISME ET AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Au Québec, ce domaine est régi par la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* (LAU). Les municipalités régionales de comté (MRC), entre autres, préparent et gèrent un schéma d'aménagement auxquelles les municipalités constituantes doivent se conformer dans l'application de leurs attributions en matière d'urbanisme.

Les interventions doivent être conformes au schéma d'aménagement. Des pourparlers devront être entrepris avec la MRC afin de vérifier la conformité des modifications de tracé ferroviaires envisagées. Si elles sont jugées non conformes au schéma, il faudra entamer la procédure de modification du schéma d'aménagement.

Les municipalités devront par la suite adopter des règlements de concordance pour modifier leur plan et règlements d'urbanisme afin de tenir compte de la modification du schéma d'aménagement. Les modifications des plans et règlements municipaux sont soumis à une consultation publique et à l'approbation de la MRC. Les pièces suivantes pourraient devoir être modifiées : le plan d'urbanisme, le règlement de zonage et le règlement de lotissement.

14.3 TERRITOIRE AGRICOLE

Les interventions sur le territoire agricole sont régies par la Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles. Entre autres, cette loi définit un régime de protection du territoire agricole. Dans un territoire agricole désigné, il est interdit d'utiliser un lot à une fin autre que l'agriculture, de procéder à la coupe d'érables dans une érablière, d'enlever le sol arable, de faire du lotissement ou d'aliéner un lot (pour un propriétaire ayant un droit de propriété sur un lot contigu) sans avoir préalablement obtenu une autorisation de la Commission de protection du territoire agricole du Québec (CPTAQ).

La construction d'un chemin de fer en territoire agricole déclenchera probablement la procédure. Le promoteur du projet présentera sa demande à la municipalité, qui la transmettra à la CPTAQ accompagnée d'une recommandation sur l'opportunité de la demande, ainsi que d'une attestation que la demande est conforme au règlement de zonage ou à un projet de règlement adopté et endossé par la MRC.

Outre ces obligations légales, la tradition veut que le passage en territoire agricole s'accompagne au préalable d'une consultation spécifique des propriétaires impliqués et des syndicats de producteurs agricoles locaux et régionaux.

15. CONCLUSION

Cette section reprend les points importants de la présente étude. Le tracé I exploitant le réseau du CN est évalué à approximativement 77 km, alors que le tracé II n'en compte que 67 km. Quel que soit le tracé, il n'y a pas de contraintes techniques ou environnementales majeures identifiées à ce stade-ci, qui pourraient conduire à abandonner l'un ou l'autre des tracés proposés.

Il est très important de nuancer les coûts de réalisation de ces projets en considérant aussi le choix de la gare à Montréal. La gare Lucien-L'Allier ne présente pas actuellement les services attendus d'une gare internationale. Mais moyennant des investissements, il est tout à fait envisageable de l'aménager. La gare Lucien-L'Allier et la gare Centrale sont toutes les deux liées au métro, via les stations Lucien-L'Allier et Bonaventure, et aux trains de banlieue.

La particularité des tracés associés à la gamme de vitesses V1 est d'exploiter au maximum l'alignement des tracés existants. Ainsi, les coûts sont limités tout en proposant des temps de parcours très légèrement supérieurs (de l'ordre de la minute) à ceux d'un scénario pour lequel la voie serait complètement réhabilitée pour une vitesse de 200 km/h. Le temps de parcours associé au tracé I est de 36 minutes, de 29 minutes pour le tracé II.

Les tracés pour V2 sont élaborés de façon à permettre une circulation à 240 km/h sur toute la voie exceptée dans la grande zone urbaine de Montréal. Ainsi les zones urbaines de Saint-Jean-sur-Richelieu pour le tracé du CN et de Napierville pour le tracé du CP sont contournées.

Comme l'exige le FRA, les passages à niveau route/rail franchis à plus de 200 km/h sont remplacés par des ponts routiers.

L'infrastructure ferroviaire nécessite une réhabilitation comprenant le renouvellement des traverses (béton).

Le tracé I comprend alors une section de voie nouvelle de 11,6 km qui permet d'éviter Saint-Jean à 240 km/h. Le temps de parcours associé à ce scénario est de 29 minutes, soit de 4 minutes de plus que pour le tracé II. Ce dernier comprend un segment de voie nouvelle pour contourner Napierville d'un peu plus de 8 kilomètres.

Le coût d'aménagement du tracé I pour V2 est supérieur à celui du tracé II. Cet écart est dû, d'une part à la longueur du tracé, d'autre part au nombre plus important de passages à niveau route/rail. Ce dernier point devrait faire l'objet d'une étude détaillée afin de rendre les coûts des deux scénarios plus compétitifs.

Les tracés des lignes nouvelles à grande vitesse (V3) sont implantés, autant que possible, dans l'emprise ferroviaire actuelle. Le tracé I comporterait environ 20 km de voie nouvelle à l'extérieur de l'emprise existante. Il présente une diminution de longueur d'un peu plus d'un kilomètre par

rapport au tracé original. Le tracé II comporterait 16 km de voie sur une nouvelle emprise. Le temps de parcours qui lui est associé est de 23 minutes et 30 secondes, soit 3 minutes de moins que pour le tracé I.

Soulignons qu'il est difficile d'étudier et d'évaluer la pertinence d'une ligne nouvelle à grande vitesse (au moins 300 km/h) sur un tracé de 70 km de longueur. Il semble indispensable de considérer l'intégralité de la liaison New York-Montréal pour l'étude de cette gamme de vitesses.

Les coûts de télécommunications s'élèvent à 5 millions de \$ incluant les systèmes d'aide à l'exploitation. Ces coûts restent identiques quels que soient le tracé et la gamme de vitesses, mais il reflète les coûts d'un système adapté à la haute vitesse.

Afin de comparer le coût des différents scénarios, CANARAIL suggère un coût kilométrique représentatif pour chaque gamme de vitesses :

- de l'ordre de 0,6 million de \$ pour la gamme V1;
- de l'ordre de 1,6 million de \$ pour la gamme V2;
- de l'ordre de 3 millions de \$ pour la gamme V3.

Concernant les tracés mixtes, l'option la plus pertinente permettrait de relier la gare Centrale au réseau CP via une section à aménager entre Brossard et Delson. Considérant que cette section se situe en zone urbaine, les possibilités d'améliorations pour les vitesses étudiées sont quasi-inexistantes. Ainsi, le temps de parcours de cette section Brossard - Delson contribuerait à perdre le gain de temps associé à l'utilisation du réseau CP de Delson à la frontière américaine.

Les variantes permettraient de raccorder les tracés I et II au tracé projeté pour la liaison Boston-Montréal. Aussi bien pour la gamme de vitesses V2 que V3, ces liaisons sont techniquement possibles. Toutefois, elles nécessiteraient des études environnementales majeures (sites patrimoniaux, faune liée à la rivière Richelieu).

Le choix du matériel roulant a un impact sur les coûts liés à l'infrastructure selon la nécessité l'électrification ou non la ligne. Il n'existe présentement aucun matériel roulant à traction diesel-électrique pour la gamme de vitesses V3 et le seul matériel roulant diesel-électrique disponible pour la gamme de vitesses V2 est le JetTrain de Bombardier. L'électrification de la ligne sera donc nécessaire pour la gamme de vitesses V3 et pourrait être requise pour la vitesse V2, selon le matériel roulant retenu. En revanche, pour la gamme de vitesses V1, plusieurs modèles de matériel roulant diesel-électrique et électrique sont disponibles.