



Transports
Canada



Gouvernement du Québec
Ministère des Transports



Ministère des Transports
de l'Ontario

Projet de train rapide Québec-Ontario

Examen préliminaire des technologies

Rapport final

Juin 1993

CANQ
CCC
144

CIGGT

PRJ-207 TA GROUP

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
700, BOUL. RENÉ-LÉVESQUE EST.
21^e ÉTAGE
QUÉBEC (QUÉBEC) - CANADA
G1R 5H1

RAPPORT FINAL
EXAMEN PRÉLIMINAIRE DES TECHNOLOGIES

Préparé pour le compte du

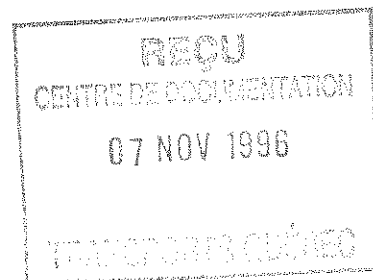
Projet de train rapide Québec-Ontario

par

The Canadian Institute of Guided Ground Transport
Université Queen à Kingston
Ontario (Ontario), Canada

en collaboration avec
Canarail, Inc.
Swederail
LGL et associés
et
J.H. Parker & Associates

Le 7 juin 1993



Le présent rapport est fondé sur des recherches réalisées au Canadian Institute of Guided Ground Transport. Il représente l'opinion des auteurs et n'a pas nécessairement l'aval de l'Université ni des autres organismes participants.

SOMMAIRE

Introduction et portée

Le présent examen préliminaire des technologies a été commandé par le Comité directeur du Projet de train rapide Québec-Ontario. Il devait consister en une évaluation rigoureuse et objective de deux familles de technologies ferroviaires à grande vitesse afin de déterminer une technologie représentative de chaque famille. Ces familles sont les suivantes :

- les technologies moyennement rapides (200-250 km/h) avec voitures pendulaires;
- les technologies très rapides (300 km/h et plus) actuellement non pendulaires.

Pour être candidate, une technologie du train rapide devait remplir les conditions suivantes : être actuellement en service commercial, permettre d'offrir des temps de parcours interurbains meilleurs que ceux des modes existants et se prêter à la mise au point de générations futures de matériel pouvant circuler sur la même infrastructure.

L'examen a touché un large éventail de questions concernant les caractéristiques techniques des technologies candidates, la possibilité d'adaptation au contexte d'exploitation, à la réglementation et au climat du Canada, l'accessibilité aux personnes handicapées, les activités courantes de R-D, les répercussions environnementales et la possibilité de produire des composantes au Canada.

Caractéristiques des technologies

Deux technologies pendulaires moyennement rapides et trois technologies non pendulaires très rapides ont répondu aux critères fixés par le Comité directeur. Les trains pendulaires sont le X-2000 d'ABB, exploité par la Statens Jernvagar (la société nationale des chemins de fer suédois) et l'ETR-450 de Fiat, exploité par les Ferrovie dello Stato (chemins de fer italiens). Les trains à 300 km/h sont le TGV de GEC-Alsthom, exploité par la Société nationale des chemins de fer français (SNCF), l'ICE, exploité par la Deutsche Bundesbahn (chemins de fer fédéraux allemands) et le Shinkansen série 300, exploité par la Société centrale des chemins de fer japonais.

Deux critères ont servi pour choisir la technologie représentative :

- (1) Pour les technologies remplissant les conditions nécessaires, il a été décidé de retenir celle qui a les plus longs antécédents d'exploitation à la vitesse recherchée;
- (2) Indépendamment du premier critère, la technologie représentative doit refléter des méthodes techniques récentes à l'échelle des principaux sous-ensembles, et les sous-ensembles actuellement en service doivent avoir une

probabilité raisonnable de continuer à être la norme pendant encore cinq années au moins.

Selon ces critères, c'est le TGV qui a été choisi pour la catégorie de 300 km/h et plus, car il a les plus longs antécédents d'exploitation, tandis que les technologies concurrentes ne se démarquent pas nettement en vertu du deuxième critère. Le X-2000 a été choisi comme technologie représentative du train pendulaire parce que l'ETR-450, bien qu'il soit en exploitation depuis plus longtemps, ne répond pas au critère (2) de «stabilité des sous-ensembles».

Cinq autres domaines de recherche ont été considérés dans le cadre de l'examen des technologies :

- **Matériel à deux niveaux** : il a été conclu que le motif essentiel de l'essai de ce matériel par les Français et les Japonais, c'est-à-dire la nécessité de répondre à la demande de pointe sans ajouter de trains, est peu susceptible de jouer ici.
- **Potentiel de transport de marchandises légères** : il a été conclu qu'il n'y avait aucune raison technologique pour exclure le transport de marchandises légères, bien que l'absence d'un réseau électrifié préexistant constituerait un handicap. Les principales questions à résoudre sont de nature commerciale.
- **Compatibilité de l'infrastructure avec les générations futures de technologie** : la compatibilité matérielle fondamentale n'est pas un problème. En revanche, la possibilité de tirer le maximum de l'amélioration des performances sera plus difficile. Par exemple, le tracé représentatif de la famille des trains roulant entre 200 et 250 km/h a été établi pour des virages que le train est capable de prendre à 250 km/h. La prochaine génération de matériel roulant du X-2000 sera testée à 280- 300 km/h, et des vitesses plus élevées sont possibles. De la même façon, la vitesse de 350 km/h dont est capable le TGV-NG ne représente pas la limite maximum. Il a été noté aussi que les réductions futures prévues de la résistance au vent dans les deux technologies peuvent rendre possible une augmentation de vitesse dans les zones urbaines. Il faudrait prendre des mesures pour empêcher les goulets d'étranglement qui empêchent l'exploitation de telles possibilités.
- **Accessibilité aux personnes handicapées** : bien que les deux technologies offrent des dispositifs d'immobilisation pour fauteuils roulants et des toilettes accessibles aux personnes handicapées, il faudra accroître le nombre de ces installations. Il faudra en outre aménager des quais surélevés dans les gares.
- **Fiabilité** : les deux technologies représentatives affichent un très haut niveau de fiabilité d'exploitation, épaulé par un système d'entretien préventif systématique très intensif selon les normes nord-américaines. La ponctualité, qui constitue un indicateur de premier ordre de la fiabilité du système, est de

97 p. 100 à la SNCF (sur voies réservées) et de 95 p. 100 chez la Statens Jarnvagar (SJ).

Normes de conception

Le rapport traite des normes de géométrie du tracé, des exigences de dégagement et des normes de conception des sous-ensembles de l'infrastructure. Les tableaux 1 à 3 présentent un résumé des recommandations à ce sujet.

Le tableau 1 résume les normes recommandées pour les spirales de transition, selon les critères géométriques des trains rapides actuellement utilisés sur les lignes à grande vitesse.

TABLEAU 1 : NORMES RECOMMANDÉES POUR LES SPIRALES DE TRANSITION	
Paramètre	Valeur suggérée
Dévers maximal	201 à 300 km/h : 180 mm; jusqu'à 200 km/h : 150 mm
Taux de variation du dévers - normal - exceptionnel	0,36 mm/m 0,6 mm/m
Longueur minimale de la spirale	300 km/h : 300 m; 200-250 km/h : 250 m
Écart minimal entre les spirales	150 m
Équation de calcul d'approximation de la parabole cubique	$y = x^3/6RL$, où L est la longueur de la courbe de transition projetée sur l'axe des x et R est le rayon de courbure de la section courbe à rayon constant
Équation de calcul de la longueur de la courbe de transition (pour un coup maximal de 0,2 m/sec ³)	$L = 0,118 V^3/R$, où V est la vitesse du véhicule en km/h et R correspond à la même chose que précédemment en mètres.

Le tableau 2 résume les recommandations avancées au sujet du dégagement minimal et des autres écarts liés à l'emprise.

TABLEAU 2 : LARGEURS ET ÉCARTS RECOMMANDÉS POUR LES EMPRISES			
PARAMÈTRE	NOUVELLE CONSTRUCTION, NOUVEAU TRACÉ	NOUVELLE CONSTRUCTION, TRACÉ EXISTANT	RECONSTRUCTION, TRACÉ EXISTANT
Largeur de dégagement - minimum absolu - conception	16,0 m ^a 21,0 m	12,25 m ^a 21,0 m	16,0 m 21,0 m
Largeur de l'emprise - minimum absolu - acceptable - conception	16,0 m ^a 30,0 m 50,0 m	24,5 m ^a 30,5 m ^a 50,0 m ^a	Tel que constaté ^a 30,0 m 50,0 m
Entraxe voies du train rapide - voies ordinaires	S.O.	4,5 m (jusqu'à 200 km/h) 8,85 m (jusqu'à 250 km/h) 10 m (jusqu'à 300 km/h) plus de 10 m (plus de 300 km/h)	comme à gauche
Entraxes des voies de train rapide	4,5 m	4,5 m	4,5 m
a Pour des notes détaillées, consulter le tableau 3.2.			

Le tableau 3 résume les recommandations concernant les normes pour les sous-ensembles d'infrastructure qui sont communs aux deux familles de technologie.

TABEAU 3 : NORMES DE SOUS-SYSTÈMES D'INFRASTRUCTURE POUR LES DEUX FAMILLES DE TECHNOLOGIE

SOUS-ENSEMBLE	Nouvelle construction	Reconstruction	< 200 km/h	Remise en état 200 à 250 km/h	> 250 km/h
VOIE					
Plateforme	Enlèvement, remplacement ou renforcement des matériaux de faible portance	Enlèvement, remplacement ou renforcement des matériaux de faible portance	Remplacement ou renforcement sélectif (20 % et plus) des matériaux de faible portance	Remplacement ou renforcement sélectif (50 % et plus) des matériaux de faible portance	Comme pour la reconstruction
Terrassement	Matériaux granulaires lavés choisis, déposés en couches de moins de 1,5 m, avec compactage dynamique à ≤ 95 % de la masse volumétrique sèche (proctor modifié); renforcement par des géotextiles ou des treillis, selon le cas	Comme pour la nouvelle construction	Comme pour la nouvelle construction là où il y a remise en état de la plateforme	Comme pour la nouvelle construction là où il y a remise en état de la plateforme	Comme pour la nouvelle construction
Couche sous-jacente	0,70 m de pierre concassée de 25 mm; compactage dynamique	Comme pour la nouvelle construction	S.O.	S.O.	Comme pour la nouvelle construction
Sous-ballast	0,20 m de pierre concassée dure aplanie 31-0; compactage dynamique	Comme pour la nouvelle construction	Comme pour la nouvelle construction là où il y a remise en état de la plateforme ou du terrassement	Comme pour la nouvelle construction	Comme pour la nouvelle construction
Ballast	0,35 m de pierre concassée dure, résistante et à grain fin.				
Traverses	Monobloc en béton avec écartement de 60 cm (250 km/h et plus) ou de 65 cm (moins de 250 km/h).				
Attaches	Élastiques comme Nabla ou Pandrol avec coussin de caoutchouc de 9 mm ou l'équivalent ayant une rigidité de 70 kN/mm; force de retenue de 11 kN ou plus avec une déflexion de 8 mm.				
Rail	60 kg/m (équivalent de UIC 60) pour les voies de train rapide exclusives; lorsque la voie doit être partagée avec le service banlieue ou marchandises, rail 70 kg/m (140 RE), tel qu'utilisé dans le corridor Nord-Est.				
AUTRES					

TABLEAU 3 : NORMES DE SOUS-SYSTÈMES D'INFRASTRUCTURE POUR LES DEUX FAMILLES DE TECHNOLOGIE				
SOUS-ENSEMBLE	Nouvelle construction	Reconstruction	< 200 km/h	Remise en état 200 à 250 km/h > 250 km/h
Électrification	Autotransformateur 2 x 25 kV 60 Hz avec caténaire en opposition de phases; fil de contact de 150 mm ² en cuivre cadmium renforcé à une hauteur de 5,1 m. Les lignes caténaires devront être tendues à 7,5 ou 10 kN pour 200 km/h, à 15 kN pour 250 km/h, à 20 kN pour 300 km/h à 25 kN pour 350 km/h. Les sections où les rayons de courbure sont inférieurs à 2000 m devront être tendues à 7,5 kN.			
Signalisation et contrôle du trafic	TVM-430 avec affichage en cabine et régulation automatique de la vitesse; circuits de détection de véhicules routiers aux passages à niveau (là où il y en a - voir plus loin) et circuits de détection d'intrusion de véhicules aux ouvrages de franchissement et entre les voies contiguës de train rapide et de train classique qui seront reliés au sous-ensemble de contrôle du trafic.			
Protection aux passages à niveau	Aucun passage à niveau où la vitesse dépasse les 200 km/h; de 160 à 200 km/h, des passages à niveau publics peuvent être permis à certains endroits à la condition qu'on y installe des barrières complètes avec des circuits anti-intrusions, des circuits de détection des véhicules routiers liés au contrôle automatique du trafic et une visibilité améliorée aux passages; à moins de 160 km/h, des barrières pleine largeur avec des circuits anti-intrusion et une visibilité améliorée aux passages. Aucun passage à niveau privé ne sera permis si la vitesse d'exploitation dépasse les 200 km/h; à moins de 200 km/h, l'accès à l'emprise du train rapide à partir d'un passage à niveau privé doit être contrôlé électroniquement ou manuellement en coordination avec le contrôle automatique du trafic.			
Voies dans les gares	Toutes les voies dans les gares construites dans le cadre du projet de train rapide seront configurées de manière à permettre l'accès des deux côtés d'un train arrêté à partir de quais surélevés. La dimension des installations des gares sera déterminée par une estimation de la demande.			
Ponts	Tous les ponts ont un tablier ballasté pour les deux familles. Les ponts doivent respecter la limite de déflexion L/4000 afin d'être compatibles avec les générations futures des deux familles de technologies.			
Tunnels	Coupes transversales des tunnels (pour des rames étanches) : 41 m ² , voie double, 200 km/h; 71 m ² , voie double, 270 km/h; 90 m ² , voie double, 300 km/h; 150 m ² , voie double, 350 km/h; 46 m ² , voie simple, 270 km/h.			

Conformité aux normes de sécurité et questions connexes

Les questions suivantes ont été abordées :

- **Conformité aux normes applicables** : aucune des catégories de technologies telles qu'exploitées actuellement n'est conforme à la réglementation de la FRA ni aux normes de l'industrie.
- **Possibilité d'adaptation aux normes nord-américaines** : toutefois, ABB et Bombardier se sont toutes deux engagées à respecter ces normes. Cela nécessite de modifier l'unité motrice du TGV et l'unité motrice, les voitures et la remorque à cabine du X-2000. De telles adaptations paraissent réalisables.

- **Possibilité de modifier les règlements en vigueur :** les perspectives de conformité paraissent encourageantes dans le contexte canadien, où la Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada préconise des normes de rendement et la résolution pragmatique des problèmes de sécurité. Pour ce qui est des voies partagées, la position de la Direction générale de la sécurité ferroviaire est fondée sur la vitesse d'exploitation plutôt que sur le type de technologie, avec des critères de plus en plus restrictifs jusqu'à 250 km/h.
- **Exigences liées aux passages à niveau :** à des vitesses de plus de 200 km/h, aucun passage à niveau n'est permis, tandis qu'à des vitesses de 160 à 200 km/h, des passages à niveau à protection accrue sont permis après un examen de chaque emplacement.
- **Règles et pratiques hors réglementation :** le principal problème ici a trait au manque d'uniformité entre les règles et les pratiques auxquels sont soumis les exploitants canadiens et étrangers de trains rapides. L'examen a porté sur les équipes de train, les méthodes d'entretien et les compétences générales requises. La conclusion qui s'impose est que même s'il reste des différences majeures dans les principes d'exploitation, VIA Rail a pris des mesures qui ont rétréci l'écart entre la productivité canadienne et étrangère. Il sera possible de répondre aux exigences de formation des exploitants de train rapide.

Exploitation du train rapide dans les conditions climatiques canadiennes

Les conditions climatiques canadiennes influenceront à la fois sur la conception et la construction de l'infrastructure et sur la performance réalisable. L'examen a évalué les effets de la pluie et de la neige (intensité, accumulation et formation de glace) sur les limites de sécurité de l'exploitation et sur le comportement des voies, des véhicules, des caténaires ainsi que des systèmes de signalisation et de contrôle. Elle a également évalué les techniques d'atténuation, comme les gicleurs à eau chaude utilisés au Japon afin de réduire l'accumulation de neige et l'effet de l'ajout de réchauffeurs d'aiguilles sur la fiabilité des aiguilles à grande vitesse. La principale difficulté demeure la conception et la réalisation de superstructures de voie stables dans les conditions géotechniques et de gel-dégel astreignantes qui prédominent dans le corridor Québec-Windsor. La réalisation d'un examen de conception détaillé des conditions dans le Corridor est recommandée avant de procéder à une éventuelle mise en oeuvre du train rapide.

Évaluation de la situation des activités de R-D

L'étude a porté essentiellement sur les activités actuelles de R-D liées aux technologies représentatives susceptibles d'être mises en oeuvre au Canada. Les conclusions de l'exercice sont relativement optimistes en ce qui concerne les trains rapides proprement dits, notamment à cause de l'engagement des deux fournisseurs à produire des versions de leur matériel qui soient conformes aux critères de sécurité canadiens. Les prévisions sont beaucoup moins optimistes à l'égard de la R-D de l'infrastructure. La plupart des

activités de R-D liées aux trains rapides ne visent pas des domaines particulièrement pertinents pour le Canada, mais plutôt l'accroissement de la capacité et l'amélioration de la performance sur les marchés à capacité limitée.

Le Canada devra vraisemblablement investir dans la R-D pour résoudre ses propres problèmes, en accordant une attention particulière à trois domaines :

- **gestion de l'interface véhicule-voie :**
 - stabilité de la plateforme et de la superstructure de voie
 - contrôle de l'adhérence (roue-rail)
 - stabilité de la rame et efficacité à grande vitesse
 - amélioration de la conception des structures
- **gestion de l'interface véhicule-alimentation :**
 - comportement des caténaires et des pantographes à grande vitesse dans le climat canadien
 - optimisation de la conception en fonction des conditions canadiennes
 - stratégies et techniques de contrôle actif des pantographes
- **réduction et atténuation des impacts environnementaux :**
 - pendant la construction
 - en cours de service

Problèmes environnementaux

L'examen a traité du bruit, des vibrations et des champs électromagnétiques. En voici les principales conclusions :

- Les **vibrations** ne constitueront pas un problème général à la condition que la construction de l'infrastructure et l'entretien des rames, de la voie et des caténaires soient conformes aux normes.
- Les données sur les **champs électromagnétiques** sont très irrégulières. Les seules données contrôlées (sur le TGV) sont encourageantes car l'intensité et les caractéristiques des champs sont comparables à celles que l'on trouve dans les activités courantes. Toutefois, l'absence de normes significatives concernant les conséquences biomédicales et la signification épidémiologique font qu'il est impossible de tirer des conclusions absolues.
- La situation concernant le **bruit** est assez différente. Il ressort clairement que le bruit est le facteur qui aura les répercussions les plus importantes sur l'exploitation et qu'il pourrait avoir des effets majeurs sur la vitesse réalisable dans les zones urbaines. Il est possible d'atténuer le bruit au moyen d'ouvrages antibruit et de talus, mais à un coût important. La situation est compliquée par le fait que les niveaux de bruit ambiant dans les emprises ferroviaires actives dépassent généralement les limites statutaires imposées

par les municipalités. Pour pouvoir évaluer avec exactitude l'accroissement du bruit entraîné par l'exploitation d'un train rapide sur ces tracés, il faudra disposer de données sur les niveaux de bruit actuels.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	TA-1
2.	DESCRIPTION DES TECHNOLOGIES	TA-6
3.	NORMES DE CONCEPTION DES TECHNOLOGIES REPRÉSENTATIVES ...	TA-21
4.	ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ DES TECHNOLOGIES REPRÉSENTATIVES AUX NORMES ET RÈGLEMENTS DE SÉCURITÉ, ET QUESTIONS CONNEXES	TA-41
5.	EXPLOITATION DU TRAIN RAPIDE DANS LES CONDITIONS CLIMATIQUES CANADIENNES	TA-51
6.	ÉVALUATION DE L'ÉTAT DE LA R-D	TA-60
7.	QUESTIONS ENVIRONNEMENTALES	TA-70

1. INTRODUCTION

Le présent document constitue le rapport final de l'examen préliminaire des technologies réalisé par le Canadian Institute of Guided Ground Transport en collaboration avec Canarail, Inc., Swederrail, LGL et associés et J.H. Parker & Associates.

1.1 Portée

Le Comité directeur du Projet de train rapide Québec-Ontario a exigé une évaluation rigoureuse et objective des technologies candidates, des stratégies d'exploitation et des coûts du cycle de vie associés à la prestation d'un service de train rapide dans le corridor Québec-Windsor, portant sur deux familles de technologies de train rapide actuellement en service commercial à l'étranger :

- les technologies moyennement rapides (200-250 km/h) avec voitures pendulaires;
- les technologies très rapides (300 km/h et plus) actuellement non pendulaires.

Pour faire l'objet du présent examen, les technologies de train rapide devaient répondre à trois critères :

- être actuellement en service commercial;
- permettre d'offrir des temps de parcours interurbains plus avantageux que ceux des autres moyens de transport desservant le corridor Québec-Ontario;
- se prêter à la mise au point de générations futures de matériel capable de circuler sur la même infrastructure.

L'examen préliminaire des technologies portant sur la série de candidats définis par ces critères a englobé un large éventail de questions et de considérations techniques, notamment :

- la description, la caractérisation et la définition de chaque système de train rapide candidat, particulièrement en ce qui a trait au matériel roulant, au type de service et à la capacité;
- le choix d'une technologie représentative de chaque «famille»;
- la consultation de fournisseurs et d'exploitants afin d'obtenir les normes de conception de chaque technologie représentative;
- l'évaluation du potentiel des voitures à deux niveaux et de leurs contraintes d'utilisation;

- l'élaboration de normes de conception de chaque technologie représentative dans le contexte canadien afin de guider les experts-conseils en matière de tracés;
- l'évaluation préliminaire des technologies représentatives choisies quant à leur conformité aux normes et règlements canadiens de sécurité, y compris l'examen des règlements et normes fédéraux au Canada et aux États-Unis ainsi que des normes provinciales, le cas échéant;
- la détermination des domaines de non-conformité et les questions connexes concernant les exigences et pratiques hors réglementation du secteur (VIA, CN, CP ET AAR);
- l'évaluation de la possibilité d'adapter les technologies représentatives pour les rendre conformes aux exigences réglementaires existantes;
- l'évaluation de la possibilité de modifier la réglementation existante en matière de sécurité et les conséquences d'une telle mesure;
- la détermination des problèmes éventuels reliés à l'exploitation d'un train rapide dans les conditions climatiques canadiennes;
- l'évaluation de la possibilité d'exploiter les générations futures de chaque technologie représentative sans investissements majeurs dans l'infrastructure et le contrôle du trafic;
- l'évaluation de l'accessibilité des technologies aux personnes âgées et aux personnes handicapées;
- l'examen de la fiabilité des technologies représentatives;
- la définition des exigences aux passages à niveau pour les vitesses inférieures à 200 km/h;
- l'évaluation des activités actuelles de R-D reliées aux technologies représentatives et qui sont ou qui pourraient être pertinentes pour instauration et exploitation dans le contexte canadien;
- la détermination des répercussions environnementales éventuelles découlant de la construction et de l'exploitation de chaque technologie représentative;
- la liaison avec l'expert-conseil chargé de l'étude sur la stratégie industrielle au sujet des composantes à produire au Canada;

- la participation à la définition des services de transport et des caractéristiques de ces services pour permettre de prévoir la demande.

1.3 Organisation

Conformément à l'orientation donnée par le gestionnaire du Projet, le présent rapport est structuré pour répondre directement à chacun des objectifs énumérés ci-dessus. Tous les arguments en faveur de chaque option ont été présentés lorsqu'il a été impossible de trouver la réponse à une question par manque de données suffisantes ou à cause de la nécessité d'une décision qui dépassait le mandat du présent rapport. Il est à noter que ce dernier *ne comprend pas* de données techniques complètes sur chaque thème.

Le chapitre 2 résume les conclusions à l'égard des points suivants :

- la description, la caractérisation et la définition de chaque système de train rapide candidat, particulièrement en ce qui a trait au matériel roulant, au type de service et à la capacité;
- le choix d'une technologie représentative de chaque «famille»;
- la consultation des fournisseurs et des exploitants afin d'obtenir les normes de conception de chaque technologie représentative;
- l'évaluation du potentiel des voitures à deux niveaux et de leurs contraintes d'utilisation;
- l'évaluation de la faisabilité technique du transport de paquets et d'autres marchandises légères par train rapide;
- l'évaluation de la possibilité d'exploiter les générations futures de chaque technologie représentative sans investissements majeurs dans l'infrastructure et le contrôle du trafic;
- l'évaluation de l'accessibilité des technologies aux personnes âgées et aux personnes handicapées;
- l'examen de la fiabilité des technologies représentatives;
- la raison de l'exclusion du MAGLEV (système à sustentation magnétique) de la série initiale de technologies candidates.

Le chapitre 3 résume les conclusions du présent rapport à l'égard du point suivant :

- l'élaboration de normes de conception de chaque technologie représentative dans le contexte canadien afin de guider les experts-conseils en matière de tracés.

Le chapitre 4 résume les conclusions du présent rapport à l'égard des points suivants :

- l'évaluation préliminaire des technologies représentatives choisies quant à leur conformité aux normes et règlements canadiens de sécurité, y compris l'examen des règlements et normes fédéraux au Canada et aux États-Unis ainsi que des normes provinciales, le cas échéant;
- la détermination des domaines de non-conformité et les questions connexes concernant les exigences et pratiques hors réglementation du secteur (VIA, CN, CP ET AAR);
- l'évaluation de la possibilité d'adapter les technologies représentatives pour les rendre conformes aux exigences réglementaires existantes;
- la définition des exigences aux passages à niveau pour les vitesses inférieures à 200 km/h;
- l'évaluation de la possibilité de modifier la réglementation existante en matière de sécurité et les conséquences d'une telle mesure.

Le chapitre 5 résume les conclusions du présent rapport à l'égard du point suivant :

- la détermination des problèmes éventuels reliés à l'exploitation d'un train rapide dans les conditions climatiques canadiennes.

Le chapitre 6 résume les conclusions du présent rapport à l'égard du point suivant :

- l'évaluation des activités actuelles de R-D reliées aux technologies représentatives qui sont ou qui pourraient être pertinentes pour instauration et exploitation dans le contexte canadien.

Le chapitre 7 résume les conclusions du présent examen à l'égard du point suivant :

- la détermination des répercussions environnementales éventuelles découlant de la construction et de l'exploitation de chaque technologie représentative.

Des renseignements complémentaires qui étayent les conclusions résumées dans chaque chapitre se trouvent dans l'annexe correspondante. L'annexe TA-1 renferme des données relatives au chapitre 2, l'annexe TA-2 renferme les données correspondant au chapitre 3, l'annexe TA-3 renferme les données correspondant au chapitre 4, et ainsi de suite. La plupart des renseignements figurant dans ces annexes ont été présentés précédemment dans des documents de travail, des rapports de voyage ou dans le rapport provisoire.

1.4 Remerciements

Cet examen n'aurait pas pu être achevé sans la collaboration des fournisseurs et exploitants de trains rapides et des organismes de réglementation et de sécurité au Canada et aux États-Unis.

Les auteurs tiennent à souligner la collaboration et l'aide qu'ils ont reçue d'ABB Canada et d'ABB International, de Bombardier et de GEC-Alsthom, de Fiat Ferroviaria, de Siemens, de la Société des chemins de fer japonais de l'Est et de la Société centrale des chemins de fer japonais, d'AMTRAK et de VIA Rail Canada, des chemins de fer nationaux de France, d'Allemagne, d'Italie et de Suède, des bureaux de la sécurité et de la recherche-développement de la Federal Railroad Administration des États-Unis, du Volpe National Transportation Systems Centre et de la Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada.

Les auteurs souhaitent aussi remercier les nombreuses personnes avec lesquelles ils ont travaillé au sein de ces organismes, au sein des ministères fédéraux et provinciaux des transports et de l'environnement, ainsi que leurs collègues du secteur de la consultation pour leur patience et leur aide afin d'obtenir des données et de simplifier les démarches bureaucratiques.

2. DESCRIPTION DES TECHNOLOGIES

2.1 Aperçu

Le présent chapitre traite des objectifs suivants qui figurent dans le mandat du présent examen :

- la description, la caractérisation et la définition de chaque système de train rapide candidat, particulièrement en ce qui a trait au matériel roulant, au type de service et à la capacité;
- la raison de l'exclusion du MAGLEV (système à sustentation magnétique) de la série initiale de technologies candidates;
- le choix d'une technologie représentative de chaque «famille»;
- la consultation des fournisseurs et des exploitants afin d'obtenir les normes de conception de chaque technologie représentative;
- l'évaluation du potentiel des voitures à deux niveaux et de leurs contraintes d'utilisation;
- l'évaluation de la faisabilité technique du transport de paquets et d'autres marchandises légères par train rapide;
- l'évaluation de la possibilité d'exploiter les générations futures de chaque technologie représentative sans investissements majeurs dans l'infrastructure et le contrôle du trafic;
- l'évaluation de l'accessibilité des technologies aux personnes âgées et aux personnes handicapées;
- l'examen de la fiabilité des technologies représentatives.

2.1.1 Processus

Le processus d'évaluation des technologies a débuté par le recensement des caractéristiques de technologie de train rapide et de leur état d'avancement en fonction des trois critères initiaux établis par le Comité directeur. Ainsi il a été possible de choisir cinq technologies qui répondaient à ces critères, trois dans la famille des technologies des trains non pendulaires circulant à 300 km/h et plus et deux dans la famille des technologies des trains pendulaires circulant à 200-250 km/h, tel que résumé plus loin.

Le CIGGT a alors préparé une description technique initiale de chaque technologie retenue et l'a fait parvenir à chaque fournisseur et exploitant d'une technologie pour

examen, commentaire et correction. Les réponses reçues des fournisseurs et des exploitants ont permis de mettre à jour la caractérisation de chaque technologie et de l'utiliser dans le cadre du processus de sélection décroissante. Les caractérisations des technologies qui ont été utilisées pour la sélection décroissante ainsi que les autres documents techniques supplémentaires figurent à l'annexe TA-1.

Il est à noter que les spécifications de la conception et la performance de toutes les technologies candidates - y compris les technologies représentatives choisies - continuent d'évoluer avec les améliorations apportées par les fournisseurs et les exploitants. Les données supplémentaires figurant à l'annexe TA-1 reflètent cette dynamique, qui est une caractéristique fondamentale de toutes les technologies de train rapide qui ont connu du succès.

En parallèle avec la consultation des fournisseurs et des exploitants, les critères de sélection décroissante ont été établis selon les exigences fonctionnelles d'exécution du plan de travail global du Projet, et plus particulièrement en vue de la réalisation des objectifs des études sur *l'évaluation des technologies, la stratégie d'exploitation et l'établissement des coûts et la détermination du tracé*. Ces critères sont énumérés plus loin.

Ensuite ont été établis des correspondances entre les renseignements tirés de chaque caractérisation et les critères de sélection décroissante, et il a été évalué dans quelle mesure chaque technologie candidate répondait à chaque critère. Enfin, des recommandations concernant la technologie représentative de chaque famille ont été formulées et présentées au Comité directeur, qui a accepté les recommandations.

2.2 Description, caractérisation et définition des technologies candidates de train rapide

La présente sous-section fait état des résultats de l'évaluation des technologies de train rapide effectuée par le CIGGT dans chacune des deux familles de technologies qui répondent aux critères initiaux établis par le Comité directeur du Projet. Cette évaluation avait pour objectif de déterminer une technologie représentative dans chaque famille pour permettre d'effectuer l'ensemble de l'analyse technique et opérationnelle ultérieure et de déterminer les coûts du système. Notons qu'il ne s'agissait pas d'établir une préférence pour une technologie dans chaque famille pour des fins d'achat, mais seulement de déterminer une technologie particulière aux fins de l'analyse conceptuelle ultérieure.

2.2.1 Critères initiaux de sélection

Le Comité directeur a établi trois critères qui devaient tous être respectés pour qu'une technologie puisse éventuellement être représentative de l'une des deux familles de technologies de train rapide qui sont actuellement en service commercial à l'étranger.

Pour répondre à ces critères, une technologie doit :

- être actuellement en service commercial;

- permettre d'offrir des temps de parcours interurbains plus avantageux que ceux des autres moyens de transport desservant le corridor Québec-Ontario;
- se prêter à la mise au point de générations futures de matériel capable de circuler sur la même infrastructure.

Pourquoi pas le MAGLEV?

L'établissement du premier critère a eu pour effet d'exclure une catégorie entière de technologies à grande vitesse, les véhicules à sustentation magnétique. Cette décision est justifiée, étant donné le délai et la nature du processus de décision auquel se rattache la présente étude, ainsi que les caractéristiques du corridor Québec-Windsor.

Cette décision se justifie par six facteurs principaux :

- Lors de la rédaction de ces lignes, aucune technologie de train rapide à sustentation magnétique n'était en exploitation commerciale, même en Allemagne et au Japon.
- La technologie MAGLEV qui serait prête pour la commercialisation, c'est-à-dire le système de suspension électromagnétique Transrapid, exige l'installation et l'entretien de l'alignement de composants montés sur la voie selon des tolérances très exigeantes [$\pm 0,6$ mm] qui poseraient des difficultés exceptionnelles dans des conditions géotechniques et climatiques canadiennes.
- Les technologies MAGLEV à suspension électrodynamique - soit l'express linéaire japonais, qui a été testé sous la forme de divers véhicules expérimentaux, et les concepts de système de Bechtel, Foster-Miller, Grumman et Magneplane, qui n'existent que sur papier ou en modèles à très petite échelle - pourraient bien ne pas exiger un alignement très précis des composantes de la voie, mais il faudra au moins une décennie avant qu'elles soient commercialisables.
- Il reste d'importantes incertitudes techniques et environnementales associées aux technologies à suspension électrodynamique, notamment la capacité d'atteindre une stabilité commercialement acceptable avec des aimants superconducteurs dans l'environnement d'exploitation du MAGLEV, et la possibilité de ramener les champs magnétiques à bord et en bordure de la voie à des niveaux acceptables.
- La topographie modérée du corridor Québec-Windsor ne permet pas particulièrement d'exploiter les capacités de traction et de freinage indépendantes de l'adhérence qu'offre la technologie MAGLEV.

- Toutes les études menées jusqu'ici, peu importe le corridor, ont démontré que le MAGLEV exige des frais d'immobilisation supérieurs de 25 p. 100 à 100 p. 100 à ceux du train rapide sur rail.

Comme les marchés sont dominés par l'automobile et que les distances interurbaines sont relativement courtes dans le corridor Québec-Ontario, une technologie qui exige un investissement initial supérieur, même si les frais d'exploitation et d'entretien sont aussi faibles que ce que soutiennent les partisans du MAGLEV, est peu susceptible d'être attrayante. C'est particulièrement vrai dans le cas du MAGLEV, étant donné qu'une part importante de l'investissement dans l'infrastructure - environ le tiers des 85 p. 100 à 95 p. 100 du coût initial total du système - ira vraisemblablement à l'étranger pour payer une technologie particulière, tandis que pratiquement tous les éléments de l'infrastructure du train rapide sur rail pourraient être achetés au Canada.

Bien qu'il ait fait l'objet de beaucoup d'attention soutenue récemment aux États-Unis et qu'on y ait consacré des investissements considérables (bien au-delà de trois milliards de dollars au total) en Allemagne et au Japon depuis 25 ans, le MAGLEV reste une technologie à la recherche d'une application. Bien que certaines de ses caractéristiques soient uniques et que son potentiel soit suffisant pour justifier des efforts soutenus de R-D dans ces pays où le trafic et la congestion des chemins de fer sont élevés, la présente étude a conclu que l'exclusion du MAGLEV par l'application du critère initial est à la fois appropriée et justifiée.

2.2.2 Technologies candidates

Les deux familles de technologies à l'étude sont :

- les technologies moyennement rapides (200-250 km/h) avec voitures pendulaires;
- les technologies très rapides (300 km/h et plus) actuellement non pendulaires.

L'application des critères établis par le Comité directeur a permis d'éliminer toutes les technologies à l'exception de deux technologies pendulaires moyennement rapides, soit celle de l'ETR-450 de Fiat, exploité par les Ferrovie dello Stato italiennes, et celle du X-2000 d'ABB, exploité par la Statens Jernbane (société nationale des chemins de fer suédois), et trois technologies non pendulaires très rapides, soit le TGV de GEC-Alsthom de la SNCF, l'ICE des chemins de fer fédéraux allemands construit par un consortium dirigé par Siemens, et le série 300 de Shinkansen de la Société centrale des chemins de fer japonais, qui joue également le rôle d'entrepreneur général dans sa construction.

Dans tous les cas, ces technologies répondent à tous les critères déjà définis, bien que dans deux cas (ICE et série 300 de Shinkansen) la vitesse maximale de service, mais non la vitesse maximale réalisable, est inférieure à 300 km/h. De nouvelles générations de ces technologies sont déjà en train d'être mises au point, et il est possible de traiter explicitement de la question de la compatibilité avec l'infrastructure.

2.2.3 Critères de sélection des technologies représentatives

Les critères de sélection d'une technologie représentative de chaque famille ont été déterminés en fonction des principaux objectifs des études sur *l'évaluation de la technologie*, sur *la stratégie d'exploitation et l'établissement des coûts* et sur *le tracé*. Plus précisément, ces études doivent déboucher sur des conclusions rigoureuses, crédibles et objectives concernant la configuration du système (double voie sur le parcours entier ou sur une partie du parcours), la fiabilité du système, les tracés possibles (nouveau tracé ou coexistence dans des tracés existants) et les coûts du cycle de durée économique. Ces conclusions doivent être élaborées suffisamment pour permettre la différenciation entre les deux familles de technologie.

Pour réaliser ces objectifs, il faut avoir accès à un corps important de données d'exploitation sur chaque famille, particulièrement sur les modes de défaillance et leur fréquence, les sources de retard d'exploitation, la valeur des facteurs requis pour la construction, l'exploitation et l'entretien des véhicules et de l'infrastructure. Cette exigence donne lieu au premier critère :

- Pour les technologies remplissant les conditions nécessaires, il a été décidé de retenir celle qui a les plus longs antécédents d'exploitation à la vitesse recherchée.

Toutefois, les technologies de train rapide sont dynamiques, et il a été estimé important de fonder l'évaluation des performances relatives et absolues des deux familles sur des technologies qui devraient rester relativement stables, du moins pour ce qui est des principaux sous-ensembles, d'ici cinq à dix ans.

Un biais important pourrait résulter d'une analyse basée sur une technologie de première génération ayant de longs antécédents d'exploitation plutôt que sur une technologie plus récente mais promettant la stabilité technologique des principaux sous-ensembles. Par conséquent, le deuxième critère établi pour la sélection décroissante était le suivant :

- Indépendamment des antécédents d'exploitation, la technologie représentative doit refléter des méthodes techniques récentes au niveau des principaux sous-ensembles, et les sous-ensembles actuellement en service doivent avoir une probabilité raisonnable de continuer à être la norme pendant encore cinq années au moins.

Notons que ce critère ne joue pas contre l'innovation continue, particulièrement le raffinement progressif d'une technologie retenue (par exemple, la puissance nominale du moteur asynchrone de traction à courant alternatif du X-2000 sera portée à 1100 kW lors de la prochaine série de production). Il donne simplement une certaine assurance que les fondements de l'analyse du présent projet resteront valables assez longtemps pour permettre de prendre une décision éclairée.

2.2.4 La famille des technologies à 300 km/h et plus

Trois technologies sont à l'étude dans cette famille :

- le TGV de GEC-Alsthom, exploité par la SNCF;
- l'ICE, exploité par la Deutsche Bundesbahn, en Allemagne, et construit par un consortium dirigé par Siemens;
- le série 300 de Shinkansen, conçu et exploité par la Société centrale des chemins de fer japonais.

Un résumé des principales caractéristiques de ces technologies figure au tableau 2.1.

Pour ce qui est du premier critère, le TGV-Atlantique est la seule des trois technologies qui circule effectivement à 300 km/h en service payant, bien que toutes trois aient excédé cette norme lors d'essais. Le TGV-A a également les plus longs antécédents d'exploitation, puisqu'il est entré en service en septembre 1989.

L'ICE est entré en service commercial à la Deutsche Bundesbahn en juin 1991, près de deux ans après la mise en service commercial du TGV-A. Le parc d'ICE est limité à 250 km/h par des compromis de géométrie du tracé et de dévers qui ont été nécessaires pour permettre l'utilisation partagée des voies avec le service marchandises à grande vitesse. Toutefois, la vitesse maximale sur certains tronçons des nouvelles lignes rapides doit être portée à 280 km/h d'ici peu.

Le matériel série 300 EMU de Shinkansen est entré en service commercial à la Société centrale des chemins de fer japonais au milieu de 1992 et n'a donc des antécédents de service que de quelques mois. À l'instar de l'ICE, le matériel de la série 300 a dépassé les 300 km/h au cours des essais, mais est limité à une vitesse maximale de 270 km/h à cause de la géométrie du tracé de la ligne de Tokaïdo qu'il dessert. Au moment d'écrire ces lignes, il n'y a qu'un faible nombre de rames de la série 300 en service, bien que la taille du parc augmente à mesure des livraisons.

Il est clair que c'est le TGV de GEC-Alsthom qui répond le mieux au premier critère, et qui, pour ce qui est du service commercial effectif à 300 km/h et plus, sera vraisemblablement la seule technologie à le faire d'ici quelques années.

TABLEAU 2.1 : CARACTÉRISTIQUES DES TECHNOLOGIES CANDIDATES À 300 KM/H ET PLUS			
CARACTÉRISTIQUE	TGV-A	ICE-A	SÉRIE 300
Mise en service commercial	septembre 1989	juin 1991	mai 1992
Vitesse maximale	515,3 km/h (1-3-1)	410 km/h	325,7 km/h
Vitesse de service	300 km/h	250 km/h; 280 km/h sur certains tronçons	270 km/h
Type de véhicule	rame articulée	traction par locomotive	EMU
Composition	1-10-1	1-13-1 ou 1-14-1	16 : 5(M-T-M) et cabine de conduite
Nombre de places assises	369 en 2 ^e classe; 116 en 1 ^{re} classe	681 (1-14-1)	1 323
Propulsion	synchrone courant alternatif 1100 kW, 8 essieux moteurs	asynchrone triphasé à courant alternatif, 1200 kW, 8 essieux moteurs	asynchrone courant alternatif, 300 kW, 40 essieux moteurs
Freinage	mixte rhéostatique, à disques et à sabots	mixte par récupération et à disques	mixte par récupération, à disques et à courant de Foucault
Alimentation	cat.* 2 x 25 Kv, 50 Hz	cat.* 15 kV, 16 2/3 Hz	cat.* 2 x 25 kV, 60 Hz
Charge par essieu	17 tonnes	20 tonnes	11,3 tonnes
Masse non suspendue/essieu	2,2 tonnes	1,87 tonne/essieu	1,86 tonne/essieu
Taille du parc	105 rames en service	90 rames en service ou commandées	4 rames en service; en production

* Cat. : Caténaire

Pour ce qui est du deuxième critère, il est prévu que les principaux sous-ensembles des trois technologies resteront essentiellement stables. Bien que les trois technologies continueront de connaître une évolution progressive et bien que la SNCF et GEC-Alsthom (le super TGV) et la Société centrale des chemins de fer japonais (STAR 21) aient tous deux des projets de R-D à long terme visant à déboucher sur des technologies avancées comportant des changements majeurs, les renseignements actuellement disponibles indiquent aucun écart important entre les trois candidates selon le critère de la stabilité des sous-ensembles.

2.2.5 La famille des technologies pendulaires à 200-250 km/h

Deux technologies de cette famille sont prises en compte :

- l'ETR-450, conçu et construit par Fiat et exploité par les Ferrovie dello Stato (chemins de fer italiens);
- le X-2000, conçu et construit par ABB et exploité par la Statens Jernvagnar (chemins de fer suédois).

Le tableau 2.2 résume les principales caractéristiques de ces deux technologies.

TABLEAU 2.2 : CARACTÉRISTIQUES DES TECHNOLOGIES PENDULAIRES CANDIDATES À 200-250 KM/H		
CARACTÉRISTIQUE	ABB X-2000	FIAT ETR-450
Mise en service commercial	septembre 1990	1988
Vitesse maximale	250 km/h	250 km/h
Vitesse de service	200 km/h	250 km/h;
Taille du parc	20 rames 1-4-RC* en service ou commandées plus 14 rames 1-2-RC commandées	15 rames 3(M-T-M) en service; 10 rames ETR-460 [aussi 3(M-T-M) commandées]
Type de véhicule	tiré par une locomotive avec remorque à cabine	EMU
Composition	1-4-RC (en service) ou 1-2-RC*	M-T-M-M-T-M-M-T-M (9 véhicules)
Nombre de places assises	200 (entièrement en 1 ^{re} classe); 281 mixtes	402 (9 véhicules)
Propulsion	courant alternatif triphasé asynchrone; 815 kW; 4 essieux moteurs	courant continu; 312 kW, monté sur la caisse; 16 essieux moteurs par rame
Freinage	mixte par récupération, à disques et magnétique	mixte rhéostatique et à disques
Alimentation	cat. 15 kV, 16 2/3 Hz monophasé	cat. 3 kV courant direct
Charge par essieu	18,25 tonnes (maximum)	12,5 tonnes
Masse non suspendue	1,8 tonne/essieu	1,6 tonne
Inclinaison maximale	8°	10°
Autres caractéristiques	bogies moteurs orientables	suspension latérale partiellement active

*RC : Remorque à cabine

Pour ce qui est du premier critère, l'ETR-450 est exploité depuis plus longtemps, puisqu'il est entré en service payant au début de 1988. Les Ferrovie dello Stato exploitent aujourd'hui 15 rames ETR-450 de neuf voitures. L'ETR-450 circule à une vitesse maximale de 250 km/h.

Le X-2000 a été mis en service en septembre 1990 par la Statens Jarnvagar (SJ), en Suède, et les liaisons ont pris de l'ampleur à mesure que des rames étaient livrées à la SJ et que le parc augmentait de taille. Le X-2000 circule à une vitesse maximale de 200 km/h sur les lignes de la SJ. Une rame de série non modifiée a été testée à 250 km/h sur une ligne à grande vitesse de la Deutsche Bundesbahn, en Allemagne, alors qu'une rame légèrement modifiée louée à bail à la société AMTRAK a atteint la vitesse de 248 km/h dans le couloir du nord-est des États-Unis entre New York et Washington.

Si seulement le premier critère entrait en ligne de compte, l'ETR-450 serait préférable, toutes choses étant égales par ailleurs. Ce n'est toutefois pas le cas.

Pour ce qui est du deuxième critère - la stabilité des sous-ensembles - l'ETR-450 ne semble pas répondre aux exigences. La version actuellement en service est équipée de moteurs de traction à courant continu et de matériel de conditionnement d'alimentation désuet. Les 10 rames ETR-450 de troisième génération à 9 voitures (3 x M-T-M) commandées récemment par les FS, qui sont à traction à courant continu, ont des convertisseurs GTO et un mécanisme d'actionnement de l'inclinaison redessiné, ainsi qu'une coque plus large et plus aérodynamique. Comme le passage de la traction à courant continu à la traction à courant alternatif constitue un changement d'état d'un sous-ensemble majeur, et comme plusieurs des autres changements auront aussi, ou du moins pourraient avoir, des répercussions majeures (bien que positives) sur la fiabilité et la structure de coût de la technologie, il est recommandé que l'ETR-450 ne soit pas utilisé comme technologie représentative de cette catégorie.

Le X-2000, par ailleurs, a déjà la traction à courant alternatif et un matériel de conditionnement d'alimentation de pointe, et il est peu probable que ses sous-ensembles subissent des modifications majeures pendant la durée du projet envisagé. Pour cette raison, le CIGGT estime que le X-2000 constitue la technologie la plus représentative dans l'optique du projet.

2.2.6 Recommandations

Par suite de l'évaluation des technologies candidates à la lumière des renseignements à jour fournis par les fournisseurs et les exploitants des technologies respectives, le CIGGT a fait les recommandations suivantes, qui ont été acceptées par le Comité directeur :

- que le TGV-Atlantique et le TGV-Réseau de GEC-Alsthom soient adoptés comme technologie représentative de la famille des technologies non pendulaires très rapides (300 km/h et plus);
- que le X-2000 d'ABB soit adopté comme technologie représentative de la famille des technologies pendulaires modérément rapides (200-250 km/h);
- que l'on cherche à obtenir les données d'exploitation des sous-ensembles de l'ETR-450 et de son infrastructure qui ne seront pas touchées par la conception de la nouvelle génération, à titre de complément des données concernant le X-2000.

2.3 Consultation avec les fournisseurs et les exploitants des technologies représentatives

Conformément à la démarche décrite ci-dessus, il a été demandé à GEC-Alsthom, à Bombardier (à titre de fournisseurs du TGV) et à ABB (à titre de fournisseur du X-2000) ainsi qu'à la SNCF (à titre d'exploitant du TGV) et à la SJ (à titre d'exploitant du X-2000) de fournir des renseignements détaillés additionnels au sujet de ces technologies, au sujet de l'infrastructure sur laquelle les trains circulent et au sujet des procédures d'exploitation et d'entretien et des antécédents d'exploitation de chaque technologie. En outre, la Fiat et les FS ont été priées de fournir certaines données additionnelles sur des aspects particuliers de l'ETR-450, de l'infrastructure des FS et des services ainsi que des antécédents d'exploitation et d'entretien de l'ETR-450. Des listes détaillées des données demandées et de la documentation fournie en réponse à cette demande par des fournisseurs et des exploitants se trouvent à l'annexe TA-1.

Dans l'ensemble, les documents demandés ont été fournis, mais le degré de détail des renseignements a varié assez fortement selon l'organisme donnant la réponse et l'objet de la demande. Il n'a pas été possible d'obtenir certains documents quant à plusieurs objets de préoccupation comme le climat, les champs électromagnétiques et le bruit.

Dans certains cas, comme les champs électromagnétiques, ni les fournisseurs ni les exploitants n'ont fourni directement des données. Il a été possible, toutefois, d'obtenir des données suffisantes d'autres sources pour permettre de traiter la plupart des objets de préoccupation touchés par cette limitation.

Outre ces demandes écrites, certains membres du personnel de premier plan auprès des consultants ont fait des visites en France, en Suède et en Italie, après autorisation du Comité directeur. Ces visites ont permis d'obtenir d'importantes quantités de renseignements précieux et d'établir des contacts. Les rapports sur les déplacements et les documents connexes ont déjà été publiés et constitueront un document autonome complémentaire au présent rapport.

Les renseignements obtenus en réponse aux demandes de données et dans le cadre des visites sur place ont été intégrés aux résumés présentés dans le présent rapport et à la documentation de soutien dans les annexes de la série TA.

2.4 Évaluation du potentiel des voitures à deux niveaux et de leurs contraintes d'utilisation

À l'heure actuelle, la Société des chemins de fer japonais de l'Est et la Société centrale des chemins de fer japonais exploitent des voitures rapides à deux niveaux dans le cadre des rames standard Shinkansen, tandis qu'en France, le programme d'essai de voitures TGV à deux niveaux dans le cadre d'une rame modifiée du TGV-A a pris fin en 1992. La SNCF a passé une commande ferme de 45 rames 1-8-1 du TGV-Deux niveaux, que GEC-Alsthom doit livrer à partir de 1994, et a une option sur 55 rames de plus. L'actuelle définition du concept de la prochaine génération de matériel roulant du TGV, appelée TGV-NG pour la

«nouvelle génération», prévoit aussi des voitures à deux niveaux. Dans tous les cas, le matériel est ou sera entièrement compatible avec les gabarits et les limites géométriques existants, etc.

Tant au Japon qu'en France, la mise au point et l'utilisation du matériel à deux niveaux découlent des besoins d'accroître le nombre de places disponibles sans accroître le nombre de rames ni la longueur des rames. Les voitures à deux niveaux permettent d'accroître le nombre de places assises par rame et donc la capacité du système, sans départs additionnels et sans modifier la longueur totale de la rame, pour ainsi utiliser efficacement les gares et les quais existants.

L'importance du trafic et des problèmes de capacité de la ligne Tokaido et de la nouvelle ligne Sanyo du Shinkansen sont légendaires, tandis que la croissance soutenue des pointes de trafic du TGV Paris-Sud-Est et le niveau prévu de la demande du TGV-Nord ont poussé les responsables de la SNCF à examiner d'autres moyens d'ajouter à la capacité. Après étude d'options de rames classiques et articulées, la SNCF a conclu qu'une rame articulée à deux niveaux offrirait la solution la plus efficiente et entraînerait le moins de modifications à l'infrastructure existante.

Toutefois, bien que les rames à deux niveaux offrent un coût moindre par place assise (selon la SNCF et GEC-Alsthom et selon les coûts indiqués de Shinkansen), il faut, pour exploiter cet avantage, une forte demande dans un Corridor où la congestion de l'infrastructure menace de poser un problème. Une condition préalable à l'utilisation du matériel à deux niveaux pour remplacer les rames classiques à un seul niveau est que le nombre de départs ne soit pas inférieur au seuil du service en question. En général, pour les trains rapides, ce seuil se trouve dans une fourchette de 8 à 10 trains par jour par direction. Comme le volume du trafic dans le corridor Québec-Ontario a été relativement faible dans le passé par rapport à ce seuil avec des rames courtes à un niveau et des facteurs d'occupation médiocres, rien dans les considérations économiques de l'exploitation ne milite en faveur d'un matériel à deux niveaux.

Le matériel à deux niveaux pourrait être justifié pour les marchandises sensibles au temps et à faible densité, comme les paquets, les lettres et tout produit de grandes dimensions et de faible masse, tout comme les remorques de capacité supérieure à poids brut égal ont rendu les camionneurs plus concurrentiels sur certains marchés. Toutefois, d'ici l'achèvement de l'analyse sur le potentiel du marché du transport des marchandises à grande vitesse, il est difficile de déterminer s'il convient de donner suite à cette idée.

2.5 Évaluation de la possibilité technique de transporter des marchandises légères par train rapide

Le transport de marchandises à faible densité et urgentes par train rapide semble offrir de réelles chances d'augmenter les recettes des trains rapides sans hausse sensible des charges d'exploitation. Ce service est offert par l'ajout de wagons distincts aux trains de voyageurs, comme par exemple par AMTRAK dans le corridor Nord-Est, ou dans des trains réservés à cette fin, par exemple les TGV postaux appartenant aux Postes françaises et exploités par le SNCF pendant la période d'entretien la nuit, ou encore le train express de

nuit des chemins de fer allemands qui comporte des wagons de marchandises construits à cet effet.

Techniquement, aucun problème ne se pose dans l'optique de l'exploitation, à la condition que les contraintes exercées sur la voie ne dépassent pas la limite fixée pour le trafic voyageurs et que le matériel roulant pour marchandises légères et le stockage de la cargaison soient entretenus et exploités conformément aux normes techniques et de sécurité du train rapide. Après tout, du point de vue du matériel roulant et de l'infrastructure, peu importe que le produit transporté soit des voyageurs ou des sacs postaux.

Si l'on prend la rame du TGV-A, avec 485 voyageurs, leur franchise de bagages et les accessoires fixes enlevables, la charge utile totale pour le transport des marchandises légères serait de l'ordre de 7 à 8 tonnes par voiture. Ces chiffres sont conformes aux 60 tonnes métriques indiquées pour les TGV postaux, bien que ceux-ci aient des accessoires internes spécialisés qui accroissent la tare de la rame et que les charges aient tendance à atteindre leur volume maximal avant d'atteindre leur masse maximale. Pour le concept du TGV-Fret actuellement en voie d'élaboration, l'objectif est une charge utile de 10 tonnes par wagon pour une rame 1-8-1, soit un total de 80 tonnes. Des trains à plus faible vitesse avec de meilleurs ratios poids-puissance pourraient aussi être intéressants dans ce rôle, bien qu'il faudrait pour cela un système de signalisation souple tel que l'ATCS, afin de réduire le plus possible les conflits.

La principale question à laquelle il faudra répondre avant l'évaluation de la faisabilité globale du transport des marchandises légères n'est que partiellement technique :

Faudrait-il offrir le service au moyen d'un ou de plusieurs wagons réservés dans des rames ordinaires de voyageurs (ce qui constitue une possibilité réelle si la demande n'exige que cinq ou six voitures pour les voyageurs) ou par des rames spécialisées complètes comme le TGV-Fret?

La réponse à cette question sera déterminée en grande partie par les exigences des expéditeurs éventuels et par la compétition entre les modes. À l'heure actuelle, il semble que la plupart des biens de la catégorie des «marchandises légères» soient transportés par camion directement entre les centres de manutention et, de là, par livraison particulière jusqu'à leur destination finale.

L'exploitation postale actuelle en France se fait au moyen de deux rames exclusives qui circulent entre des terminaux postaux spécialisés. Les plans du TGV-Fret sont semblables : des rames exclusives desservant des centres de manutention des marchandises existants ou nouveaux. Toutefois, les Français ont le grand avantage de disposer d'un vaste réseau électrifié qui leur donne un accès direct à de nombreuses installations de manutention des marchandises. À moins de choisir pour l'exploitation dans le Corridor un mode de propulsion mixte ou non électrique, le Canada ne dispose pas de cette souplesse, même avec des rames spécialisées.

Si des voitures spécialisées étaient utilisées dans des rames de voyageurs, il faudrait déterminer les procédures de manutention appropriées et acceptables qui soient compatibles avec les installations existantes et nouvelles des gares. La rapidité de la manutention et la sécurité de l'expédition constitueront des objets de préoccupation particuliers. Il faudra aussi s'interroger sur l'effet de la manutention dans la gare sur la tarification du service par rapport aux activités actuelles.

L'attitude des expéditeurs et leurs exigences par rapport à ces questions détermineront en grande partie la méthode la plus pratique et le volume potentiel de transport des marchandises légères.

2.6 Compatibilité des générations futures de technologie avec l'infrastructure conçue et construite pour la génération actuelle

La mise au point d'un système de train rapide dans le corridor Québec-Ontario exigera de sept à dix ans depuis le début de la conception jusqu'au début de l'exploitation; après la construction, une bonne partie de l'infrastructure aura une durée essentiellement infinie, si elle est bien entretenue. Par conséquent, il convient de réfléchir à la possibilité d'exploiter des générations futures de l'une ou l'autre technologie représentative sur l'infrastructure construite initialement sans que d'importants nouveaux investissements soient nécessaires. En effet, compte tenu du délai important d'ici à la première date possible du lancement de l'exploitation, il est vraisemblable que chacune des technologies représentatives comportera une génération plus avancée.

Au départ, selon les discussions qui ont été menées avec les fournisseurs et les exploitants, il n'y a pas de doute que les générations futures du TGV et du X-2000 seront entièrement compatibles avec l'infrastructure existante de la SNCF d'une part et de la Statens Jarnvagar-Deutsche Bundesbahn (SJ-BV) d'autre part. Des contraintes seront imposées aux paramètres de conception régissant des éléments critiques comme les interfaces roue-rail et caténaire-pantographe, le gabarit et autres éléments semblables pour faire en sorte que ces exploitants de train rapide puissent conserver une certaine marge de manoeuvre dans les opérations sur leur réseau électrifié existant et, de plus en plus, sur ceux des pays voisins. La caractéristique limitative dans tous les cas sera la géométrie et la qualité des voies des réseaux existants : la pleine exploitation des capacités des nouvelles générations de technologies représentatives exigera des voies construites selon les limites géométriques correspondantes et entretenues selon les tolérances exigées pour le confort et la sécurité des voyageurs.

Les objectifs explicites des rames TGV et X-2000 de la prochaine génération comprennent deux éléments d'un intérêt particulier dans le contexte de la compatibilité : les vitesses maximales (350 km/h et 300 km/h respectivement) et les réductions visées de la résistance au vent (de 25 p. 100 par rapport au TGV-A et de 25 p. 100 à 30 p. 100 par rapport au X-2000 actuel).

Tandis que les tracés représentatifs de la famille des technologies à 300 km/h et plus ont été conçus avec des courbes permettant des vitesses d'au moins 350 km/h, les tracés de la famille de technologies à 200-250 km/h comprennent des courbes permettant une vitesse

d'au moins 250 km/h. Compte tenu des objectifs de grande vitesse pour la prochaine génération de matériel roulant X-2000, il conviendrait d'examiner de près l'écart des coûts entre les tracés représentatifs «emprise existante à 250 km/h» et «emprise existante à 350 km/h». Il se peut bien que le fait d'opter pour une solution commune (c'est-à-dire 300 km/h et plus) pour ce qui est des tracés à «emprise existante» éliminera les limites futures pesant sur l'exploitation efficace de la technologie X-2000 à vitesse accrue.

L'amélioration de la résistance au vent aura deux effets majeurs : la réduction du bruit aérodynamique et la réduction de la consommation d'énergie à une vitesse donnée. Le premier est particulièrement important, vu les limites imposées au bruit et donc à la vitesse d'exploitation des trains dans les zones urbaines. À mesure que le bruit aérodynamique diminuera grâce aux améliorations envisagées, il sera possible de porter la vitesse de 160 à 200 km/h dans certaines zones. La réduction du bruit à grande vitesse sera certainement très importante, car de nombreux éléments du bruit augmentent en proportion de la 6^e puissance de la vitesse.

Dans le contexte du corridor Québec-Ontario, où il faudra largement reconstruire les tracés existants ou construire de nouvelles voies rapides exclusives dans des tracés optimisés, ce seront les normes de conception géométriques de la reconstruction ou de la nouvelle construction qui détermineront fondamentalement la compatibilité. La question qui se pose ici, ce n'est pas la compatibilité matérielle, mais plutôt dans quelle mesure il sera possible d'exploiter les capacités supérieures des nouvelles générations afin d'améliorer les services de transport. Par conséquent, toute initiative qui contribuera à éliminer les «goulets d'étranglement» de vitesse sur les tracés représentatifs sera avantageuse.

2.7 Accessibilité des technologies aux personnes âgées et aux personnes handicapées

Les deux technologies ont été conçues avec au moins un dispositif d'immobilisation de fauteuil roulant et une toilette accessible aux personnes handicapées. La remorque à cabine du X-2000 est équipée d'une plateforme élévatrice de fauteuils roulants pour permettre l'accès même à partir de quais peu élevés. Le TGV ne comprend pas de plateforme élévatrice mais utilise des plates-formes élévatrices sur les quais semblables à celles qu'utilise VIA Rail lorsqu'elle ne dispose pas de quais surélevés.

Selon des observations personnelles, il est plus aisé de se déplacer à l'intérieur du X-2000 dans sa configuration actuelle que dans le TGV : les couloirs sont plus larges et le compartiment à bagages est plus facile d'accès. Le fait que le X-2000 soit plus large de 0,176 mètres que le TGV contribue à l'aménagement intérieur plus spacieux. Toutefois, cet aménagement actuel est essentiellement esthétique, et les deux rames se prêtent également à être aménagées pour permettre l'accès aux personnes handicapées et aux personnes âgées. Dans le cas du TGV, la principale contrainte est l'étroitesse des portes entre les voitures, qui est fonction de l'articulaire annulaire entre les voitures et des exigences de la suspension secondaire du bogie. Ces contraintes pourraient disparaître si des voitures plus larges étaient fabriquées pour les applications nord-américaines.

Il faudra ajouter des dispositifs d'immobilisation des fauteuils roulants et des installations accessibles dans chaque rame, et prévoir des quais surélevés dans les gares. Grâce à ces mesures, il sera possible de réduire la nécessité de matériel spécialisé dans les gares, raccourcir la durée d'embarquement et de débarquement (pour *tous* les voyageurs!) et accorder plus d'indépendance aux voyageurs ayant un handicap physique.

2.8 Fiabilité des technologies représentatives

Selon les renseignements fournis par la SNCF et la SJ et selon des discussions menées avec les experts en exploitation et en entretien des deux compagnies ferroviaires, les deux technologies affichent un très haut niveau de fiabilité d'exploitation. Aucune des technologies ne connaît un mode de défaillance dominant qui pourrait indiquer un défaut de conception. Selon ABB, la fiabilité du X-2000 jusqu'ici a dépassé les normes contractuelles imposées par la SJ jusqu'à un point tel qu'ABB envisage maintenant d'éliminer certaines des caractéristiques de conception superflues afin de réduire les coûts et la complexité. (Comme les données qui soutiennent ces inférences sont à diffusion restreinte, *elles ne sont pas* incluses dans l'annexe TA-1).

Cela dit, les deux technologies exigent un entretien préventif systématique qui est considéré comme «intensif» selon les normes nord-américaines¹, bien qu'il soit courant ailleurs. Il est intéressant de noter que de nombreuses pratiques d'entretien de VIA Rail Canada commencent à être semblables à celles du modèle européen.

La question de la fiabilité globale du *système*, y compris tous les sous-ensembles de l'infrastructure, est beaucoup plus difficile à évaluer, car il faut alors tenir compte de la configuration des voies, des niveaux d'utilisation, de la circulation sur des voies partagées, des conditions climatiques, des restrictions de vitesse liées aux travaux, etc. Les effets de ces éléments sur la fiabilité globale de l'exploitation dans le corridor Québec-Ontario sont examinés de façon assez approfondie dans le cadre de travaux portant sur la mise au point des plans d'exploitation et font l'objet de rapports détaillés dans les plans d'exploitation provisoire et final. Toutefois, à titre d'indicateur de la fiabilité du système, la SNCF donne des statistiques selon lesquelles 97 p. 100 des TGV qui circulent sur des voies réservées arrivent à l'heure, contre plus de 95 p. 100 pour le X-2000 sur les voies de la SJ, en 1991.

¹ Commentaire de M. Ed Lombardi d'AMTRAK, le 4 mars 1993, au cours d'une discussion avec la délégation du Projet à Washington (D.C.).

3. NORMES DE CONCEPTION DES TECHNOLOGIES REPRÉSENTATIVES

Ce chapitre résume les conclusions de la présente étude à l'égard des normes de conception de chaque technologie représentative dans le contexte canadien. Il comporte trois sous-sections traitant de divers aspects des normes de conception.

La sous-section 3.1 résume les normes de géométrie du tracé pour les courbes horizontales et verticales, avec ou sans inclinaison de la caisse et pour divers degrés de dévers et d'accélération résiduelle. La sous-section 3.2 traite des exigences de dégagement pour le train rapide en général et pour le TGV et le X-2000 en particulier, tandis que la sous-section 3.3 fait état des normes de conception des sous-ensembles d'infrastructure. Notons que dans la plupart des cas, les spécifications de nouvelle construction et de reconstruction sont communes aux deux familles de technologies. Lorsque les spécifications de la conception diffèrent entre les deux familles, les différences concernent davantage la vitesse, comme par exemple la tension mécanique du fil de contact de la caténaire, plutôt que la technologie elle-même, et ont été classées par fourchette de vitesse.

Des renseignements supplémentaires plus détaillés se trouvent à l'annexe TA-2.

3.1 Normes de géométrie du tracé

3.1.1 Critères de sélection du tracé

Le choix d'un tracé approprié est une étape essentielle dans l'élaboration de tout système de transport terrestre rapide. La construction et, par la suite, l'entretien selon des normes rigoureuses sont essentiels à un fonctionnement sécuritaire et confortable.

Les aspects de la géométrie tridimensionnelle qui définissent les limites du tracé dans son ensemble sont la courbure et la déclivité verticales et horizontales, tels qu'illustrées aux figures 3.1 et 3.2, ainsi que les éléments locaux qui définissent l'orientation de la voie à un endroit donné ou sur un court tronçon du tracé, par rapport à une série d'axes orthogonaux (ligne, profil ou niveau, écartement, dévers, torsion), tel qu'illustré à la figure 3.3.

Les limites de confort en accélération déterminent la plupart des normes géométriques. Ces limites reflètent les niveaux d'accélération latérale et verticale que la majorité des voyageurs considèrent acceptable, soit 0,08 g à 0,10 g pour les accélérations longitudinales, latérales et vers le bas, et 0,05 g pour les accélérations vers le haut. La plupart des voyageurs ne peuvent pas déceler des accélérations de moins de 0,04 g². Comme les voyageurs sont généralement plus sensibles à l'allègement en crête, ce qui est l'effet ressenti au sommet d'une colline sur la route, l'accélération acceptable, et donc le rayon de courbure minimal, est plus important pour les crêtes que pour les creux³.

² Voir, par exemple, Prud'homme, André, «Building the World's Fastest Railway» dans *Railway Gazette International*, janvier 1979; Koyanagi, S., «The Development of a Truck for Narrow Gauge Line Limited Express Vehicles of Next Generation» dans *RTRI Quarterly Reports*, vol. 26, n° 2, 1985; Peersson, R., «Tilt System for High Speed Trains in Sweden», IMechE (Railway Division) Seminar on Tilting Body Trains, déc. 1989.

³ Prud'homme, *Ibid.*

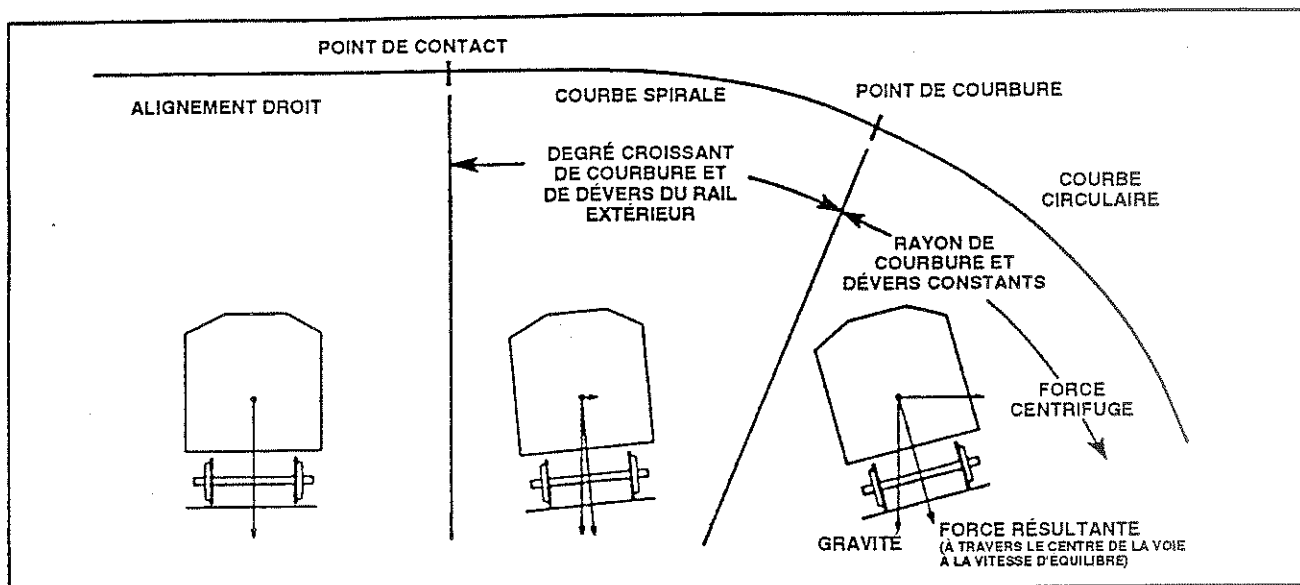


Figure 3.1 : Éléments de géométrie horizontale du tracé

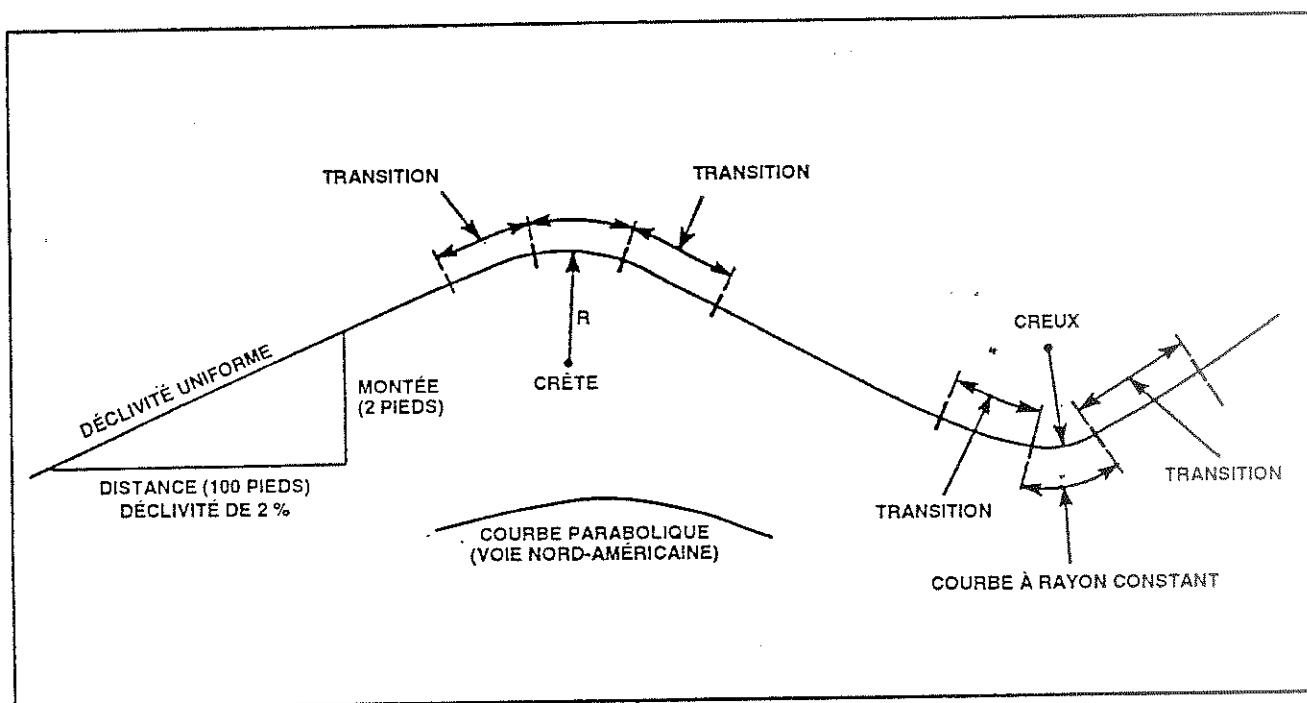


Figure 3.2 : Éléments de géométrie verticale du tracé

Par contre, pratiquement toutes les voies au Canada et aux États-Unis ont été conçues selon les normes des voies de l'AREA. Ces normes exigent des courbes à plus grand rayon dans les creux que sur les crêtes, le contraire de la situation des voies construites pour les services voyageurs rapides. Il en est ainsi parce que la conception des voies pour le trafic marchandises vise le contrôle du comportement des wagons et des locomotives ainsi que des forces entre véhicules, particulièrement dans les trains longs. Lors du passage dans un creux ou un affaissement, les wagons arrière ont tendance à se rapprocher de ceux de l'avant, ce qui entraîne une inversion soudaine des tensions sur l'appareil de choc et de traction. Afin d'atténuer ce phénomène, il est important que les creux soient plus graduels que les crêtes.

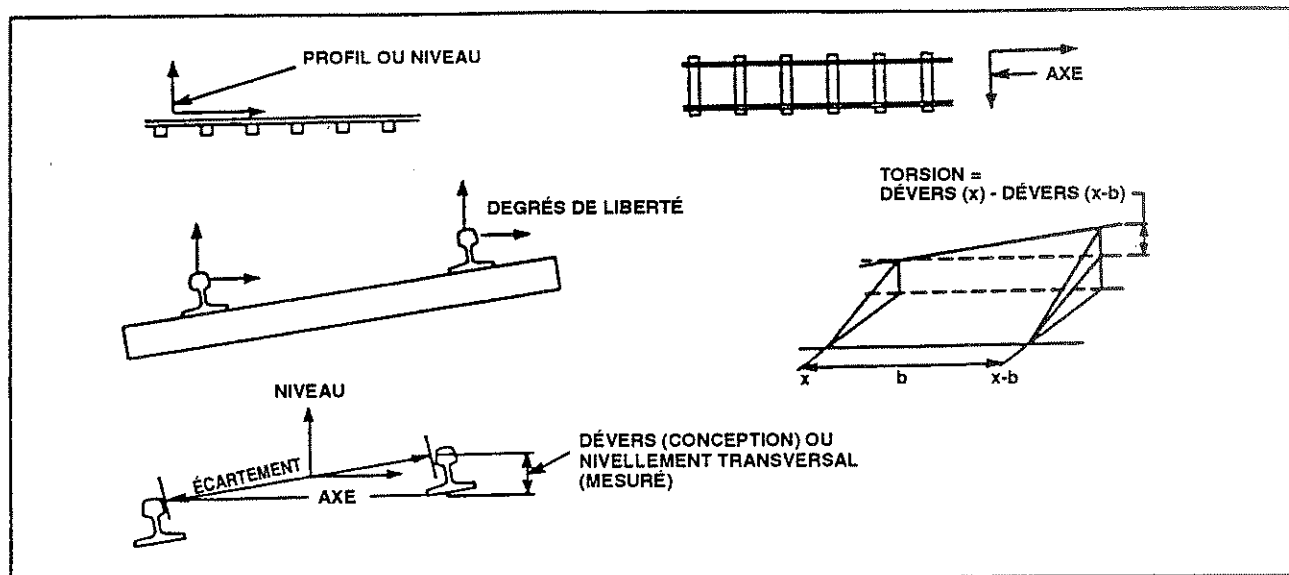


Figure 3.3 : Éléments de géométrie à petite échelle (voie)

La compatibilité entre les caractéristiques des emprises ferroviaires (et autres) existantes avec les exigences géométriques d'un tracé de train rapide optimisé constitue une question importante. La plupart des emprises ferroviaires des grandes lignes existantes au Canada ont été choisies initialement en fonction de services voyageurs et marchandises à vitesses faibles à moyennes. Toutefois, la domination croissante des services marchandises après la Seconde Guerre mondiale a entraîné la modification de la géométrie des courbes et de la configuration des voies afin d'optimiser le trafic ferroviaire de marchandises.

Dans l'ensemble, un tracé pour le trafic marchandises doit être le plus court possible tout en permettant l'exploitation à une vitesse relativement lente mais régulière, tandis que la déclivité maximale est limitée par la capacité du matériel de mettre en branle un convoi lourd à partir d'un départ arrêté. Afin de limiter les coûts de la géométrie de la voie et de l'entretien des rails dans les courbes, les tracés pour le trafic marchandises visent de longs alignements droits raccordés par les courbes aussi courtes que possible, idéalement sans restreindre la vitesse (relativement faible) d'exploitation prévue. Lorsque le relief topographique constitue un facteur, le tracé pour le trafic marchandises sacrifie une bonne géométrie horizontale afin de maintenir une déclivité acceptable avec un minimum de tunnels. Cela signifie que la plupart des tracés ferroviaires actuels au Canada ont des caractéristiques géométriques qui constituent des restrictions inhérentes à la vitesse du train rapide.

Contrairement aux exigences du trafic marchandises, un tracé optimal pour trains rapides de voyageurs réduit le plus possible la durée du déplacement grâce à une combinaison de réduction de la longueur du tronçon et de l'élimination des restrictions géométriques de la vitesse. Dans certaines circonstances, cela signifie qu'un tronçon quelque peu plus long avec une meilleure géométrie peut être préférable à un tracé plus court mais plus lent. Il faut faire des arbitrages entre les coûts du cycle de vie et les recettes marginales découlant de l'amélioration de la performance. Il convient de garder à l'esprit deux points importants.

Premièrement, un tracé de train rapide peut comprendre des déclivités beaucoup plus fortes (jusqu'à 3,5 p. 100 pour les technologies roue-sur-rail en service et éventuellement

jusqu'à 5 p. 100) sur des distances proportionnellement plus longues que ce qui serait possible pour un tracé de trafic marchandises (où des déclivités inférieures à 1 p. 100 sont préconisées et où une pente de 2 p. 100 est exceptionnelle). La puissance massique, les possibilités de contrôle de l'adhérence et la quantité de mouvement des rames des technologies de train rapide contribuent à cette capacité. Deuxièmement, un tracé de train rapide devrait être choisi de façon à ce que sa géométrie impose le moins possible de restrictions futures à la vitesse plutôt que de simplement permettre les vitesses déjà possibles. Pour ce qui est de la courbure, cela signifie que le tracé doit réduire le plus possible l'angle total et ne pas être simplement basé sur une courbure minimale permise (qui deviendra simplement une restriction future de la vitesse). Pour la famille des technologies à 300 km/h et plus, la conception exige des rayons de courbure de 6000 m ou plus, tout en ne permettant qu'exceptionnellement des courbes plus restrictives ou lorsque d'autres facteurs comme la déclivité ou le degré d'urbanisation ambiant exige déjà une certaine réduction des vitesses.

La figure 3.4 résume le rapport entre la vitesse prévue et le rayon de courbure pour différents niveaux de dévers et d'accélération résiduelle sans inclinaison de la caisse, tandis que la figure 3.5 donne les mêmes renseignements avec inclinaison de la caisse. La figure 3.6 représente les rayons de courbure verticale requis pour diverses vitesses et divers niveaux d'accélération résiduelle.

3.4 3.5 2

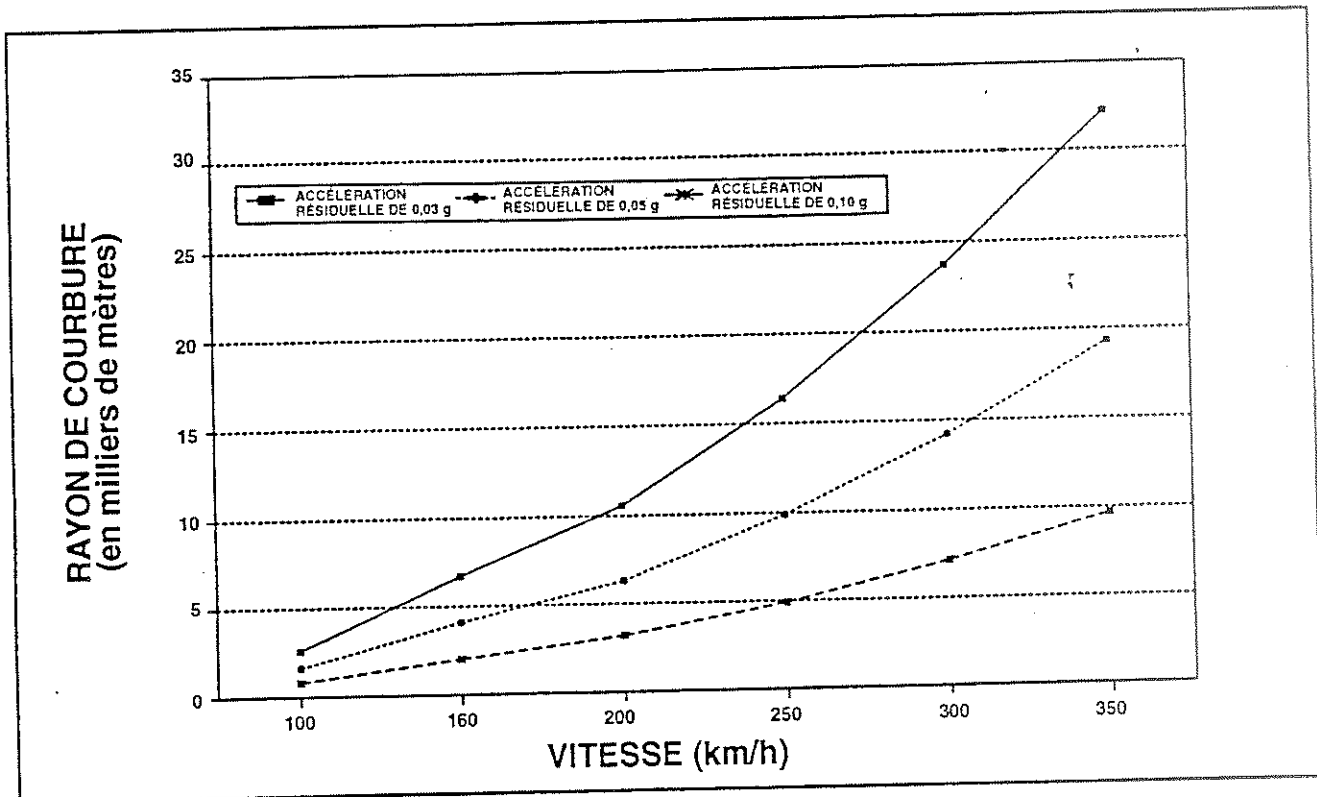


Figure 3.6 : Rayon de courbure verticale en fonction de la vitesse et de l'accélération résiduelle

Courbes de transition

La géométrie de la courbe de transition, c'est-à-dire le segment de voie qui lie un alignement droit à une section en courbe à rayon constant, influe directement sur le taux de changement du dévers et donc sur le taux de changement de l'accélération latérale (taux d'à coup). Elle détermine aussi la longueur de la spirale de transition nécessaire pour atteindre tout le dévers requis pour un segment de courbe à rayon constant. Dans le cas des technologies non pendulaires, le taux d'augmentation du dévers peut correspondre exactement au taux de diminution du rayon effectif dans la spirale, sinon l'accélération latérale perçue augmentera.

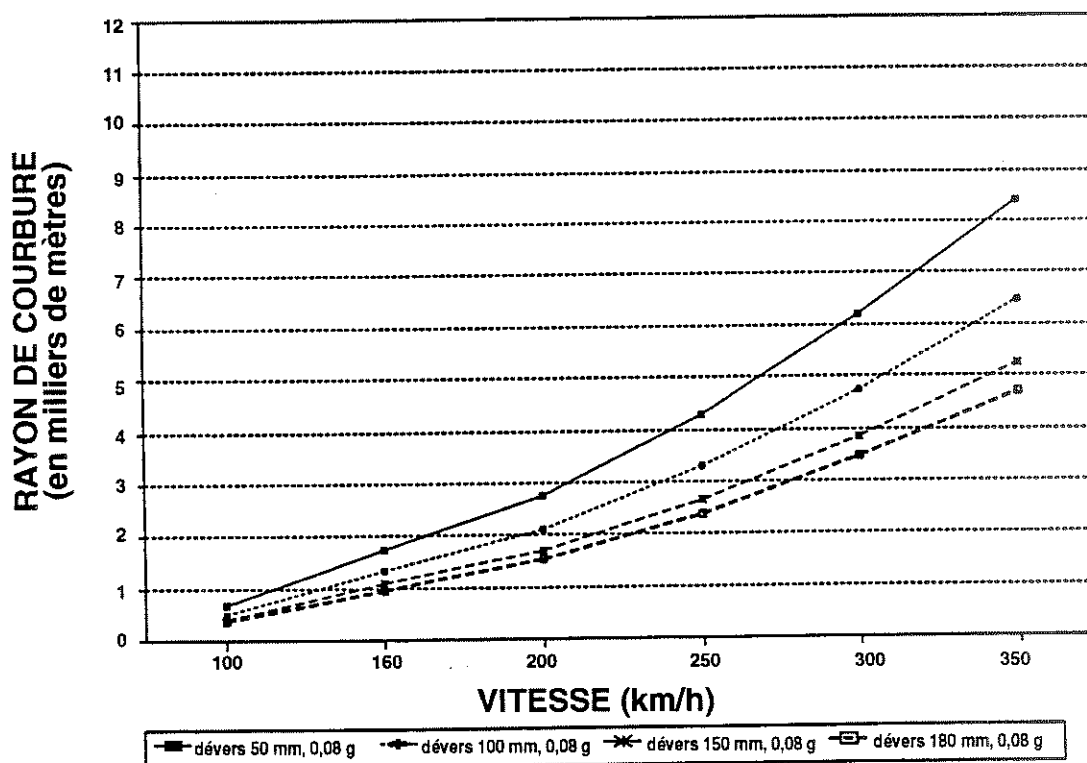
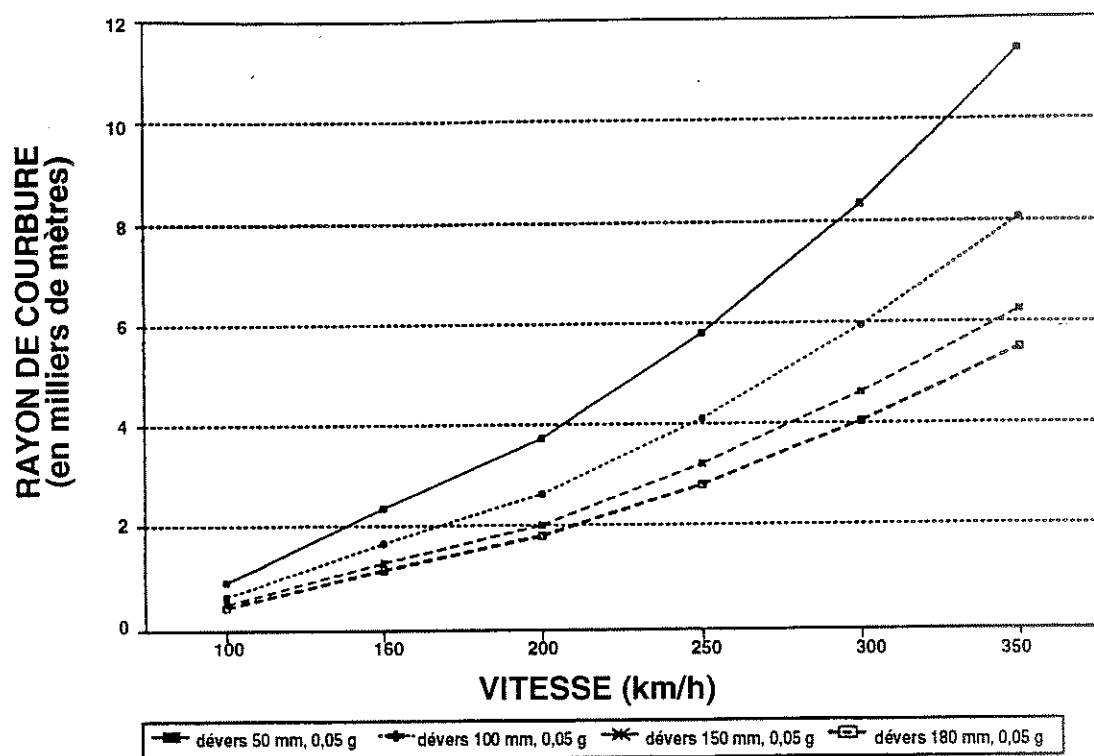


Figure 3.4 : Rayon de courbure horizontale en fonction de la vitesse et du dévers pour une accélération résiduelle de 0,05 g (en haut) et de 0,08 g (en bas)

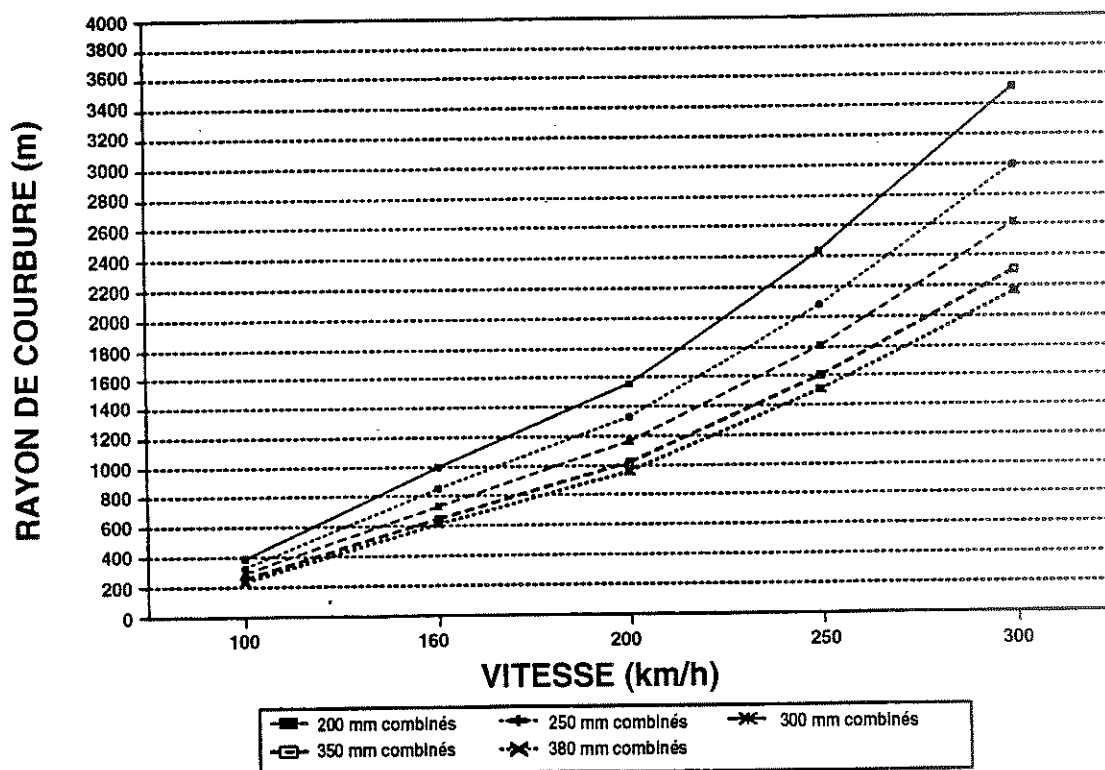
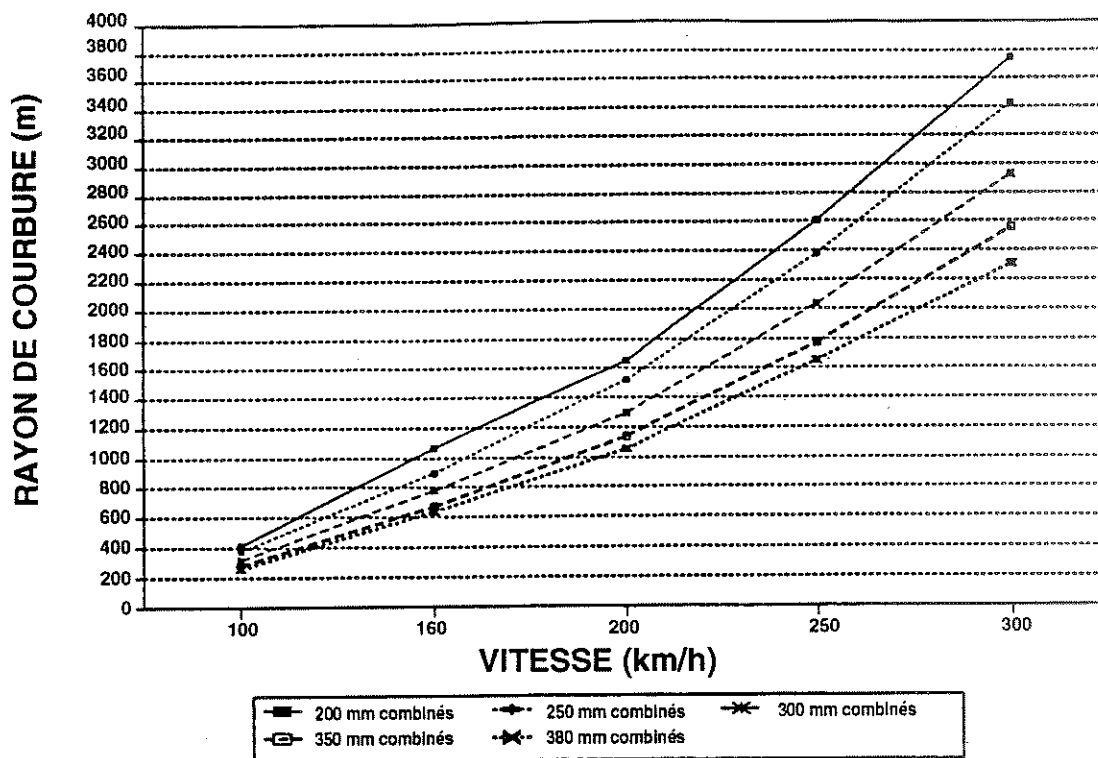


Figure 3.5 : Rayon de courbure horizontale en fonction de la vitesse, du dévers et de l'inclinaison du châssis pour une accélération résiduelle de 0,05 g (en haut) et de 0,08 g (en bas)

Les systèmes à inclinaison active du châssis perçoivent généralement l'accélération latérale au bogie ou le dévers, et les signaux sont transmis au contrôleur du système d'inclinaison. En conséquence, la qualité du roulement du véhicule sera influencée par la géométrie de la courbe de transition dans la mesure où ces signaux influent sur le taux et l'importance de l'inclinaison par l'entremise du contrôleur de système.

Pour contrôler les effets de transition sans imposer d'exigences de calcul irréalistes, la plupart des voies ferrées en Amérique du Nord ont été posées d'après une approximation par «parabole cubique» d'une spirale de Cornu. Cette courbe donne une approximation raisonnable du premier terme de l'expansion d'une spirale de Cornu. Ces voies comprennent généralement un dévers à croissance linéaire pour toutes les courbes à l'exception des plus faibles.

Il existe des tracés de courbe de transition qui éliminent les discontinuités latérales d'à coup à l'entrée et à la sortie de la spirale de Cornu, et ils ont été utilisés pour des voies destinées à des trains rapides de voyageurs au Japon. Les lignes à grande vitesse en France ont des transitions basées sur les approximations par parabole cubique de la spirale de Cornu, tandis que les lignes à grande vitesse des chemins de fer allemands utilisent une approximation parabolique du quatrième ordre (quadratique).

Il est peu étonnant de constater que les techniques d'optimisation du confort des voyageurs ferroviaires dans les courbes de transition au moyen de l'inclinaison active de la caisse tentent de reproduire les variations de l'accélération latérale et de l'à coup latéral de la géométrie de la courbe sinusoïdale ou de la spirale de Cornu entière.

3.1.2 Normes de conception recommandées

Le tableau 3.1 résume les normes recommandées pour les spirales de transition.

TABLEAU 3.1 : NORMES RECOMMANDÉES POUR LES SPIRALES DE TRANSITION	
Paramètre	Valeur suggérée
Dévers maximal	201 à 300 km/h : 180 mm; jusqu'à 200 km/h : 150 mm
Taux de variation du dévers - normal - exceptionnel	0,36 mm/m 0,6 mm/m
Longueur minimale de la spirale	300 km/h : 300 m; 200-250 km/h : 250 m
Écart minimal entre les spirales	150 m
Équation de calcul d'approximation de la parabole cubique	$y = x^3/6RL$, où L est la longueur de la courbe de transition projetée sur l'axe des x et R est le rayon de courbure de la section courbe à rayon constant
Équation de calcul de la longueur de la courbe de transition (pour un à coup maximal de 0,2 m/sec ³)	$L = 0,118 V^3/R$, où V est la vitesse du véhicule en km/h et R correspond à la même chose que précédemment en mètres.

3.2 Exigences en matière de dégagement

Les exigences en matière de dégagement touchent deux aspects distincts : le *gabarit* nécessaire à l'exploitation sécuritaire d'une rame déterminée et les exigences d'*emprise* qui sont moins influencées par la technologie en soi que par les considérations de sécurité, les vitesses d'exploitation, l'accès pour les fins de construction et d'entretien, les lieux de soutien des caténaires et le drainage.

3.2.1 Gabarit

La figure 3.7 illustre le gabarit du X-2000 et la figure 3.8, le gabarit du TGV.

3.2.2 Exigences d'emprise

La largeur requise de l'emprise dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment de la compatibilité structurale des technologies circulant dans le tracé, la conception de la superstructure de la voie et la configuration de la voie (simple, double...) la géométrie de la voie à un point donné (alignement droit, transition, courbe à rayon constant...), l'entraxe requis pour assurer la sécurité de l'exploitation, la présence ou l'absence de structures (viaducs, ponts, ouvrages de franchissement, etc.) et le relief topographique (déblais, remblais).

Il a maintenant été établi que pour une application au Canada, chacune des technologies représentatives serait modifiée afin de la rendre conforme aux normes réglementaires de la FRA et aux pratiques sectorielles de l'AAR afin de permettre l'exploitation partagée avec le matériel classique et de conserver des capacités supérieures de dissipation de l'énergie qui sont nécessaires à la sécurité d'une exploitation à grande vitesse⁴. Ainsi donc, la compatibilité

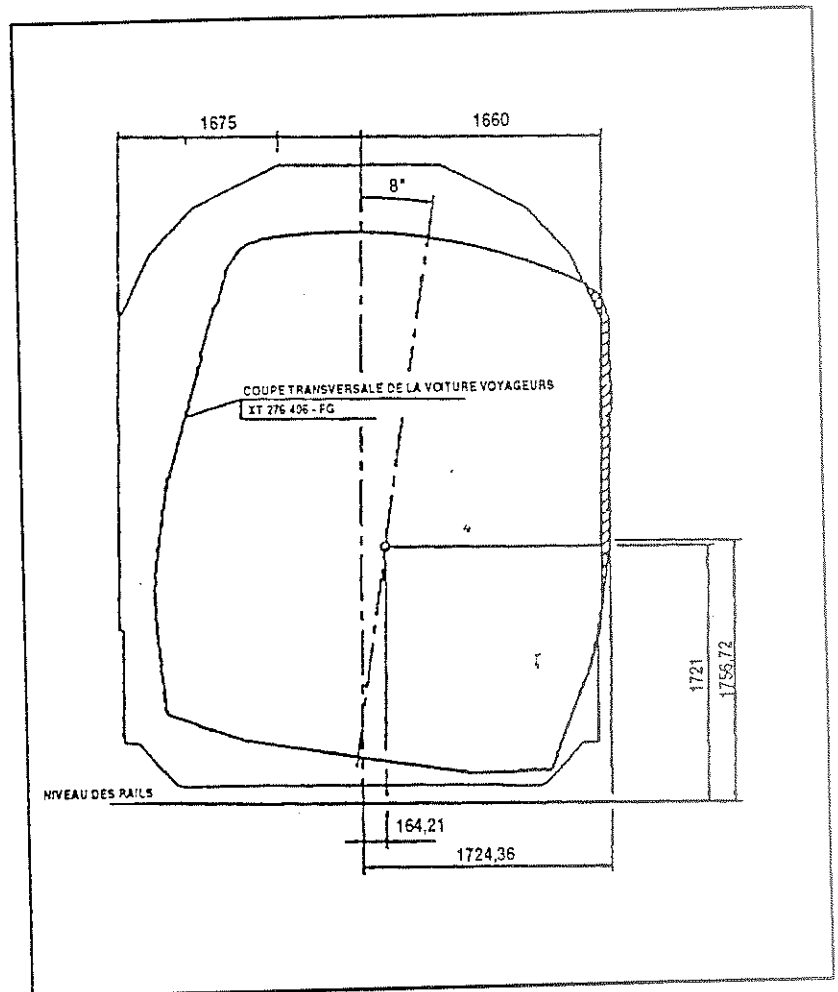
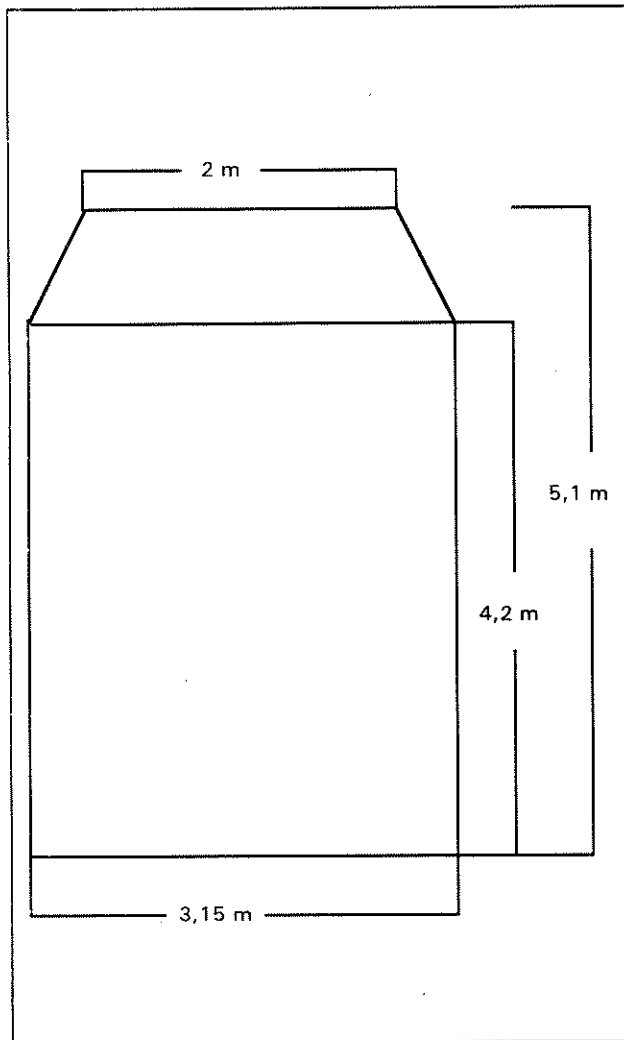


Figure 3.7 : Gabarit du X-2000

⁴ Communications personnelles de C. Boon avec Z. Lendich, ABB, le 21 janvier 1993; avec J. Pleau, Bombardier, le 18 mars 1993.

technologique n'est plus un déterminant majeur des exigences d'emprise, et il sera possible de partager les voies ou le tracé jusqu'à concurrence de 160 km/h avec un entraxe ordinaire sans conditions spéciales⁵. À des vitesses supérieures à 160 km/h mais inférieures à 200 km/h, il est possible de partager les voies, mais Transports Canada a indiqué qu'il faudra vraisemblablement imposer des conditions spéciales en matière de construction et d'entretien de la voie, de signalisation et de contrôle du trafic⁶.



Au-delà de 200 km/h, l'exploitation à voies partagées n'est pas possible, mais le partage du tracé sans barrière matérielle sera permis jusqu'à 250 km/h (toutefois avec un entraxe de 8 m et un système de détection d'intrusion relié au contrôle du trafic). De plus grandes vitesses d'exploitation dans un tracé partagé exigeront soit un entraxe beaucoup plus important ou une forme quelconque de barrière anti-intrusion passive⁷.

Par suite de l'examen des pratiques en matière d'entraxe qui sont employées par les exploitants de train rapide en Europe et au Japon, et en particulier celles de la SJ et de la SNCF à titre d'exploitants des technologies respectives, les valeurs minimales résumées au tableau 3.2 sont recommandées pour le dégagement et les autres écarts liés à l'emprise. SNC+Delcan a appliqué ces recommandations pour créer des courbes transversales typiques qui figurent dans les rapports d'étude sur le tracé et l'infrastructure.

Figure 3.8 : Gabarit du TGV

⁵ Communication personnelle de C. Boon avec C. Churcher, Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada, le 22 mars 1993.

⁶ *Ibid.*

⁷ *Ibid.*

TABLEAU 3.2 : LARGEURS ET ÉCARTS RECOMMANDÉS POUR LES EMPRISES			
PARAMÈTRE	NOUVELLE CONSTRUCTION, NOUVEAU TRACÉ	NOUVELLE CONSTRUCTION, TRACÉ EXISTANT	RECONSTRUCTION, TRACÉ EXISTANT
Largeur de dégagement - minimum absolu - conception	16,0 m ^a 21,0 m	12,25 m ^b 21,0 m	16,0 m 21,0 m
Largeur de l'emprise - minimum absolu - acceptable - conception	16,0 m ^a 30,0 m 50,0 m	24,5 m ^b 30,5 m ^c 50,0 m ^d	Tel que constaté ^e 30,0 m 50,0 m
Entraxe voies de train rapide - voies ordinaires	S.O.	4,5 m (jusqu'à 200 km/h) 8,85 m (jusqu'à 250 km/h) 10 m+ (300 km/h+)	comme à gauche
Entraxe des voies de train rapide	4,5 m	4,5 m	4,5 m
a	Jusqu'au bord de la banquettes de ballast dans une emprise urbaine nouvelle, avec des murs de soutènement lorsqu'il y a un déblai ou un remblai.		
b	De l'axe de la voie à la banquettes de ballast du train rapide, pour les segments où la disponibilité de terrains supplémentaires est fortement limitée, avec une limite de 200 km/h et un système de détection d'intrusion.		
c	Permet un entraxe de 8 m entre les voies intérieures du train rapide et du train classique; acceptable jusqu'à 250 km/h sans barrières passives mais avec un système de détection d'intrusion. Cette hypothèse suppose que l'acquisition de nouveaux terrains est limitée.		
d	Prévoit un entraxe de 31 m entre des voies voisines de train rapide et de train classique ou entre les voies de train rapide et le bord de l'accotement routier afin d'éliminer les restrictions de vitesse. Cette hypothèse suppose la disponibilité de terrains pour élargir l'emprise existante au besoin. La largeur requise est plus grande dans le cas de remblais ou de déblais importants.		
e	Cette hypothèse suppose que le train rapide adopte l'emprise existante, qui est généralement large de ± 30 m. Une telle largeur permettrait la reconstruction pour soutenir une nouvelle voie double de train rapide.		

3.3 Normes de conception de l'infrastructure

Afin de faciliter la présentation des normes de conception et de construction de l'infrastructure du train rapide, ces renseignements ont été classés en fonction de leur spécificité par rapport à une technologie (il s'agit donc de se demander si les différences découlent de solutions techniques particulières à des problèmes particuliers d'une des technologies représentatives ou si elles découlent de coutumes et pratiques différentes des compagnies ferroviaires exploitantes ou de leur environnement d'exploitation).

En fait, la plupart des différences sont fonction des exigences de vitesse et de capacité influencées par les précédents historiques (la meilleure technologie disponible au moment de la construction initiale) ou la réalité géographique (compatibilité avec le réseau d'un

important partenaire commercial voisin (amical)). Lorsqu'une conception donnée est établie sur une partie importante d'un réseau, il faut des améliorations majeures en perspective pour justifier les modifications. Par exemple, tandis que l'électrification par autotransformateur 2 x 25 kV à 50 Hz des lignes du TGV représente la pratique de pointe du milieu des années 1970, la SNCF conserve son alimentation à courant continu de 1,5 kV sur son réseau «classique». L'électrification en Suède suit la pratique allemande (15 kV, 16 2/3 Hz). La modification du conditionnement d'alimentation à bord pour n'importe quelle série des caractéristiques d'alimentation électrique constitue un processus essentiellement courant, et tout le matériel utilisé est bien éprouvé en service commercial.

La véritable question serait s'il ne faudrait pas adopter une tension plus élevée (peut-être même jusqu'à 50 kV, comme sur la ligne de Tumbler Ridge) plutôt que de déterminer des normes, des quantités ou des coûts pour deux concepts d'électrification distincts. Pour le Canada, où aucune grande ligne n'est électrifiée dans le Corridor et où les lignes de banlieue de la région de Montréal, y compris le tunnel du mont Royal, sont en voie de modernisation à 25 kV, 60 Hz, il serait à recommander que la norme d'électrification des deux familles soit de deux fois 25 kV, 60 Hz à autotransformateur, et que l'examen des effets de tensions d'alimentation plus élevée jusqu'à concurrence de 50 kV sur les coûts du cycle de vie constitue le principal objet d'étude du sous-ensemble.

Dans d'autres domaines, comme la superstructure fondamentale de la voie, il n'y a pratiquement aucune différence entre les deux familles en ce qui a trait aux éléments de conception *de la nouvelle construction*, bien que les voies existantes de BV utilisées par le parc de X-2000 de la SJ et par le TGV-A diffèrent de façon spectaculaire. Les différences entre les normes de construction et d'entretien des voies des lignes classiques de la SNCF utilisées par le matériel du TGV-A et celles de la BV sont beaucoup moins prononcées. Il existe des différences plus grandes entre n'importe quelle voie de grande ligne au Canada et les voies de l'un ou l'autre des systèmes européens.

La seule question majeure est la mesure dans laquelle les superstructures existantes des voies canadiennes devront être reconstruites afin d'offrir toute l'année la stabilité requise pour l'exploitation sécuritaire et confortable à 200 km/h et plus. À la suite d'un examen des pratiques et normes de conception, de construction et d'entretien des voies de train rapide dans le monde entier et aux discussions qui ont été menées avec des organismes responsables de la sécurité ferroviaire aux États-Unis et au Canada, le niveau *minimal absolu* de remise en état de la superstructure de la voie qui sera nécessaire pour l'utilisation des voies existantes est le remplacement du ballast, des traverses, des attaches et des rails existants, tel que précisé plus loin. Il est beaucoup plus probable qu'il faudra remettre en état une partie importante de la superstructure existante de la voie en dessous du ballast afin d'éliminer les matériaux de remblais de qualité inférieure datant d'un siècle ou plus, afin de renforcer ou de remplacer la plateforme défaillante ou incompétente et afin d'améliorer le drainage. Il faudra transformer les ponts à tablier ajouré en structures à tablier ballasté ou les remplacer.

À l'heure actuelle, aucune base solide n'est disponible pour estimer la proportion de la superstructure existante de la voie qui exigerait une reconstruction complète. Autant qu'il soit possible d'en juger, au moins 20 p. 100 des voies seront touchées pour l'exploitation à

200 km/h, mais cette proportion pourrait très bien être de 50 p. 100 ou même de 100 p. 100. Il est probable que Transports Canada exigera une preuve technique détaillée de stabilité des voies avant d'accepter des propositions d'exploiter des trains à plus de 200 km/h sur des voies existantes améliorées⁸. Il semble que 250 km/h soit la limite supérieure permettant ce genre de mise en état. Au-delà de cette vitesse, l'hypothèse d'une reconstruction complète de toutes les voies existantes a été retenue et il en a été tenu compte dans l'établissement des coûts.

Le tableau 3.3 résume ces normes assorties de recommandations à l'échelle des grands sous-ensembles. Des renseignements additionnels plus détaillés se trouvent à l'annexe TA-2 et dans les rapports des experts-conseils en matière de tracé.

⁸

Ibid.

TABLEAU 3.3 : NORMES DE SOUS-SYSTÈMES D'INFRASTRUCTURE POUR LES DEUX FAMILLES DE TECHNOLOGIE

SOUS-ENSEMBLE	Nouvelle construction	Reconstruction	< 200 km/h	Remise en état 200 à 250 km/h	> 250 km/h
VOIE					
Plateforme	Enlèvement, remplacement ou renforcement des matériaux de faible portance	Enlèvement, remplacement ou renforcement des matériaux de faible portance	Remplacement ou renforcement sélectif (20 % et plus) des matériaux de faible portance	Remplacement ou renforcement sélectif (50 % et plus) des matériaux de faible portance	Comme pour la reconstruction
Terrassement	Matériaux granulaires lavés choisis, déposés en couches de moins de 1,5 m, avec compactage dynamique à ≤ 95 % de la masse volumétrique sèche (proctor modifié); renforcement par des géotextiles, ou des treillis selon le cas	Comme pour la nouvelle construction	Comme pour la nouvelle construction là où il y a remise en état de la plateforme	Comme pour la nouvelle construction là où il y a remise en état de la plateforme	Comme pour la nouvelle construction
Couche sous-jacente	0,70 m de pierre concassée de 25 mm; compactage dynamique	Comme pour la nouvelle construction	S.O.	S.O.	Comme pour la nouvelle construction
Sous-ballast	0,20 m de pierre concassée dure aplanie 31-0; compactage dynamique	Comme pour la nouvelle construction	Comme pour la nouvelle construction là où il y a remise en état de la plateforme ou du terrassement	Comme pour la nouvelle construction	Comme pour la nouvelle construction
Ballast	0,35 m de pierre concassée dure, résistante et à grain fin.				
Traverses	Monobloc en béton avec écartement de 60 cm (250 km/h et plus) ou de 65 cm (moins de 250 km/h).				
Attaches	Élastiques comme Nabla ou Pandrol avec coussin de caoutchouc de 9 mm ou l'équivalent ayant une rigidité de 70 kN/mm; force de retenue de 11 kN ou plus avec une déflexion de 8 mm.				
Rail	60 kg/m (équivalent de UIC 60) pour les voies de train rapide exclusives; lorsque la voie doit être partagée avec le service banlieue ou marchandises, rail 70 kg/m (140 RE), tel qu'utilisé dans le corridor Nord-Est.				
AUTRES					

TABLEAU 3.4 : NORMES DE SOUS-SYSTÈMES D'INFRASTRUCTURE POUR LES DEUX FAMILLES DE TECHNOLOGIE				
SOUS-ENSEMBLE	Nouvelle construction	Reconstruction	Remise en état	
			< 200 km/h	200 à 250 km/h > 250 km/h
Électrification	Autotransformateur 2 x 25 kV 60 Hz avec caténaire aérienne en opposition de phases; fil de contact de 150 mm ² en cuprocadmium renforcé à une hauteur de 5,1 m. Les lignes caténaires doubles devront être tendues à une tension de 7,5 ou 10 kN pour 200 km/h, à 15 kN pour 250 km/h, à 20 kN pour 300 km/h à 25 kN pour 350 km/h. Les sections où les rayons de courbure sont inférieurs à 2000 m devront être tendues à 7,5 kN.			
Signalisation et contrôle du trafic	TVM-430 avec affichage en cabine et régulation automatique de la vitesse; circuits de détection de véhicules routiers aux passages à niveau (là où il y en a - voir plus loin) et circuits de détection d'intrusion de véhicules aux ouvrages de franchissement et entre les voies contiguës de train rapide et de train classique qui seront reliés au sous-ensemble de contrôle du trafic.			
Protection aux passages à niveau	Aucun passage à niveau où la vitesse dépasse les 200 km/h; de 160 à 200 km/h, des passages à niveau publics peuvent être permis à certains endroits à la condition qu'on y installe des barrières complètes avec des circuits anti-intrusions, des circuits de détection des véhicules routiers liés au contrôle automatique du trafic et une visibilité améliorée aux passages; à moins de 160 km/h, des barrières pleine largeur avec des circuits anti-intrusion et une visibilité améliorée aux passages. Aucun passage à niveau privé ne sera permis si la vitesse d'exploitation dépasse les 200 km/h; à moins de 200 km/h, l'accès à l'emprise du train rapide à partir d'un passage à niveau privé doit être contrôlé électroniquement ou manuellement avec enclenchement avec le contrôle automatique du trafic.			
Voies et quais dans les gares	Toutes les voies dans les gares construites dans le cadre du projet de train rapide seront configurées de manière à permettre l'accès des deux côtés d'un train arrêté à partir de quais surélevés. La dimension des installations des gares sera déterminée par une estimation de la demande.			
Ponts	Tous les ponts ont un tablier ballasté pour les deux familles. Les ponts doivent respecter la limite de déflexion L/4000 afin d'être compatibles avec les générations futures des deux familles de technologies.			
Tunnels	Coupes transversales des tunnels (pour des rames étanches) : 41 m ² , voie double, 200 km/h; 71 m ² , voie double, 270 km/h; 90 m ² , voie double, 300 km/h; 150 m ² , voie double, 350 km/h; 46 m ² , voie simple, 270 km/h.			

3.3.1 Signalisation et contrôle du trafic

Pratiques classiques

Les systèmes classiques de signalisation ferroviaire des services marchandises et voyageurs sont basés sur des circuits de voie pour détecter la présence de trains et sur les feux de signalisation de la voie pour afficher l'état des blocs de voie à l'avant. Des restrictions de vitesse permanentes et temporaires sont indiquées par écrit au mécanicien de locomotive. Il n'existe aucun système d'application automatique des signaux affichés ni des restrictions de vitesse par écrit.

Les systèmes de signalisation et de contrôle du trafic des trains à grande vitesse sont conçus pour appliquer automatiquement les indications lumineuses et la limite de vitesse. Le train est protégé de l'erreur humaine et évite donc les collisions possibles ainsi que les

déraillements attribuables à une vitesse trop grande dans les courbes. Les aspects du signal sont affichés à l'intérieur de la cabine de la locomotive afin d'éviter la perte de visibilité attribuable au brouillard ou à la neige.

Les divers systèmes de signalisation et de contrôle du trafic pour les trains rapides

Il existe un certain nombre de systèmes de signalisation et de contrôle du trafic qui sont soit en service, soit à une étape plus avancée de la mise au point, et qui conviennent aux systèmes de train rapide. Le type de système de signalisation utilisé en France, en Suède et dans d'autres pays pour les services de voyageurs à grande vitesse ont été façonnés par l'évolution des services de train rapide respectifs. Dans le corridor Nord-Est des États-Unis, en Suède et en Allemagne, on a mis au point le train rapide pour utiliser l'infrastructure existante, et il continue de partager l'emprise et, dans certains cas, la voie avec les trains classiques. Les systèmes de signalisation et de contrôle du trafic de ces lignes de train rapide utilisent encore les circuits de voie et les autres éléments de la technologie de signalisation antérieure au train rapide, auxquels s'ajoutent des éléments additionnels qui comportent les caractéristiques générales de contrôle automatique du trafic qu'exige le train rapide.

Dans le corridor Nord-Est, avant que la vitesse soit portée à 200 km/h, c'est la signalisation en cabine avec des circuits de voies codés qui était utilisée. L'application des restrictions de vitesse n'a été adoptée que récemment. En Suède, le système de signalisation de base est constitué de circuits de voie à courant continu avec signalisation sur la voie. Dans le cadre de l'amélioration des systèmes pour le lancement du X-2000, SJ-BV a ajouté un contrôle automatique du trafic à base de répondeur. Ce système d'application des signaux a été ajouté en plaçant des transmetteurs sur la voie à toutes les limites de signalisation ou de contrôle. La locomotive X-2000 est équipée d'une antenne lui permettant de lire l'aspect du signal et d'un ordinateur à bord pour afficher et indiquer les limites de vitesse. Les restrictions de vitesse dans les courbes peuvent être protégées en plaçant les transmetteurs à l'approche de ces dernières. Les circuits de détection d'occupation du passage et de fermeture des barrières sont reliés au contrôle automatique du trafic.

En Allemagne, à des signaux classiques basés sur des circuits de voie s'est ajoutée une paire de câbles de transmission continus posés entre les rails sur toute la longueur de la voie. Le câble se croise à des intervalles fréquents pour permettre au train de déterminer sa position. Le câble transmet aussi des aspects du signal au train. La protection automatique du train et l'affichage en cabine sont réalisés grâce à une antenne ou à un récepteur à bord et à un ordinateur. Dans les cas où les voies ne sont pas partagées et là où une nouvelle emprise a été construite, il est possible d'utiliser le système de signalisation par câbles de façon autonome.

Systèmes français de signalisation et de contrôle

En France (et au Japon), on a construit des nouvelles lignes exclusives pour le train rapide. Les systèmes de signalisation de ces lignes ont été conçus expressément pour un seul type de train et ont utilisé les technologies éprouvées de l'époque. Tous deux utilisent des circuits de voie à modulation de fréquence sur courant alternatif avec affichage en cabine

et application automatique des restrictions vitesses. Le TVM-300 (qui est basé sur des relais classiques) et le TVM-430 (qui utilise des enclenchements à semi-conducteurs) sont tous deux de ce type, bien que ce dernier, qui est plus avancé, soit capable d'espacements plus courts et de vitesses plus grandes.

Un certain nombre de limites sont associées aux systèmes de signalisation et de contrôle du trafic basés sur les circuits de voie, dont la principale est le manque de souplesse. Les blocs des circuits de voie sont de longueur fixe (une fois que le système est installé), et le nombre de messages qui peut être transmis au train est limité. Un changement de type de train ou une augmentation de la vitesse peut nécessiter des investissements majeurs dans les systèmes auxiliaires, comme cela s'est produit dans chacun des pays qui a essayé d'utiliser les voies existantes pour le train rapide. En outre, les signaux à base de circuits de voie sont coûteux et entraînent des retards d'exploitation, car chaque défaillance de signalisation entraîne un arrêt «de sécurité absolue» du trafic.

En France, chaque nouvelle ligne de TGV a un système plus efficace de signalisation et de contrôle du trafic, ce qui traduit les améliorations constantes de l'état de la technologie. Sur la ligne Atlantique, des répondeurs ont été ajoutés au système de circuit de voie TVM-300 afin de réduire les retards entraînés par la longueur fixe des blocs à l'approche des aiguilles. La nouvelle ligne Nord est munie du système TVM-430 qui permet la transmission d'un nombre accru de messages par les circuits de voie, tandis que le TGV-R et les générations futures de matériel roulant du TGV ont une plus grande capacité informatique à bord pour calculer une décélération continue basée sur ces données plutôt que d'appliquer des limites de vitesse en paliers. Ainsi il est possible d'utiliser un bloc plus court et fonctionner avec des espacements plus courts.

Les systèmes à base de radio

Le système LZB de Siemens avec une antenne continue posée dans la voie est une forme de système de signalisation à base de radio. Toutefois, le câble représente un système de communication coûteux et pose des problèmes pour l'entretien de la voie. Les systèmes ATCS, nord-américain et ASTREE, français, actuellement en voie d'élaboration, sont des exemples de systèmes à base de radio qui utilisent des mises à jour intermittentes de la position.

Ces systèmes font appel à un bon nombre de principes associés aux technologies auxiliaires qui sont déjà utilisées dans divers services de train rapide. La principale différence est que le circuit de voie n'est pas nécessaire pour situer le train. Il y a plutôt, dans les voies, des répondeurs passifs à intervalles discrets. La locomotive est munie d'un interrogateur qui lit le répondeur pour déterminer sa situation. L'ordinateur à bord du train utilise ces données en combinaison avec des lectures d'un odomètre monté sur l'essieu pour déterminer continuellement sa position. La position absolue est mise à jour à chaque interrogation d'un répondeur.

Le train indique sa position par radio de données. L'ordinateur de contrôle central met continuellement à jour la position des trains sur le moniteur de visualisation du trafic. À l'aide de l'ordinateur central, le contrôleur du trafic transmet toutes les autorisations de

vitesse et de distance à chaque train à l'aide du même système de radio de données. L'ordinateur à bord du train compare sa position et sa vitesse à celles de la dernière autorisation et prend des mesures pour appliquer les limites autorisées lorsque cela est nécessaire.

Ce type de système est d'une souplesse sensiblement plus grande, particulièrement pour ce qui est de la capacité d'optimiser l'exploitation d'un trafic hétérogène. Il n'y a pas de blocs de longueur fixe. Il est possible de changer la vitesse et la configuration des voies grâce à des modifications au logiciel et à la base de données. Avec la réduction du nombre de circuits de voie et d'enclenchements de relais, la fiabilité d'exploitation devrait s'améliorer. Pour ce qui est du coût, une bonne partie du matériel informatique et de communication fait déjà partie du système d'application existant. Les rames du TGV et du X-2000 ont des antennes pour lire les répondeurs ainsi que des ordinateurs à bord pour calculer les courbes de freinage et appliquer les autorisations de vitesse et de distance. Avec l'ATCS, les circuits de voie et les enclenchements ne sont nécessaires qu'aux aiguilles. Toutefois, un circuit de voie très simple (et moins coûteux) restera nécessaire pour détecter les ruptures de rail. Le système de communication sera quelque peu plus coûteux que celui du train rapide existant, étant donné qu'il faut une meilleure couverture et une plus grande capacité. Il faut également un centre de contrôle plus coûteux.

L'ATCS offre des avantages de performance et de fiabilité pour les trains réguliers. La figure 4.1 illustre les conséquences d'une restriction de vitesse temporaire pour trois systèmes : le TVM-300, le TVM-430 et l'ATCS. Selon l'hypothèse qui a été retenue, la restriction de vitesse est fixée à 120 km/h, au kilomètre 10,5 à partir de la position initiale du train.

Avec les paliers de vitesse grossiers du TVM-300, la vitesse la plus proche de la restriction de vitesse qui peut être signalée à la rame est 80 km/h. Cette vitesse doit être appliquée sur le bloc entier de 2000 m et également sur le bloc voisin, comme précaution contre un excès de vitesse à l'entrée du bloc. Les blocs voisins ont des paliers de vitesse progressifs de 160 km/h, 220 km/h, 270 km/h et 300 km/h.

Le système TVM-430 a une plus grande capacité de message, et l'hypothèse a été avancée qu'il permettra d'appliquer une restriction de vitesse plus proche des 120 km/h souhaités. Le système TVM-430 contrôle des courbes de freinage plutôt que des vitesses par bloc, ce qui permet une longueur de bloc de 1500 m plutôt que de 2000 m. Il remplace aussi les limites de vitesse de 160 et 220 km/h par des limites de 170 et 230 km/h. Ces caractéristiques permettent de réduire les retards du train.

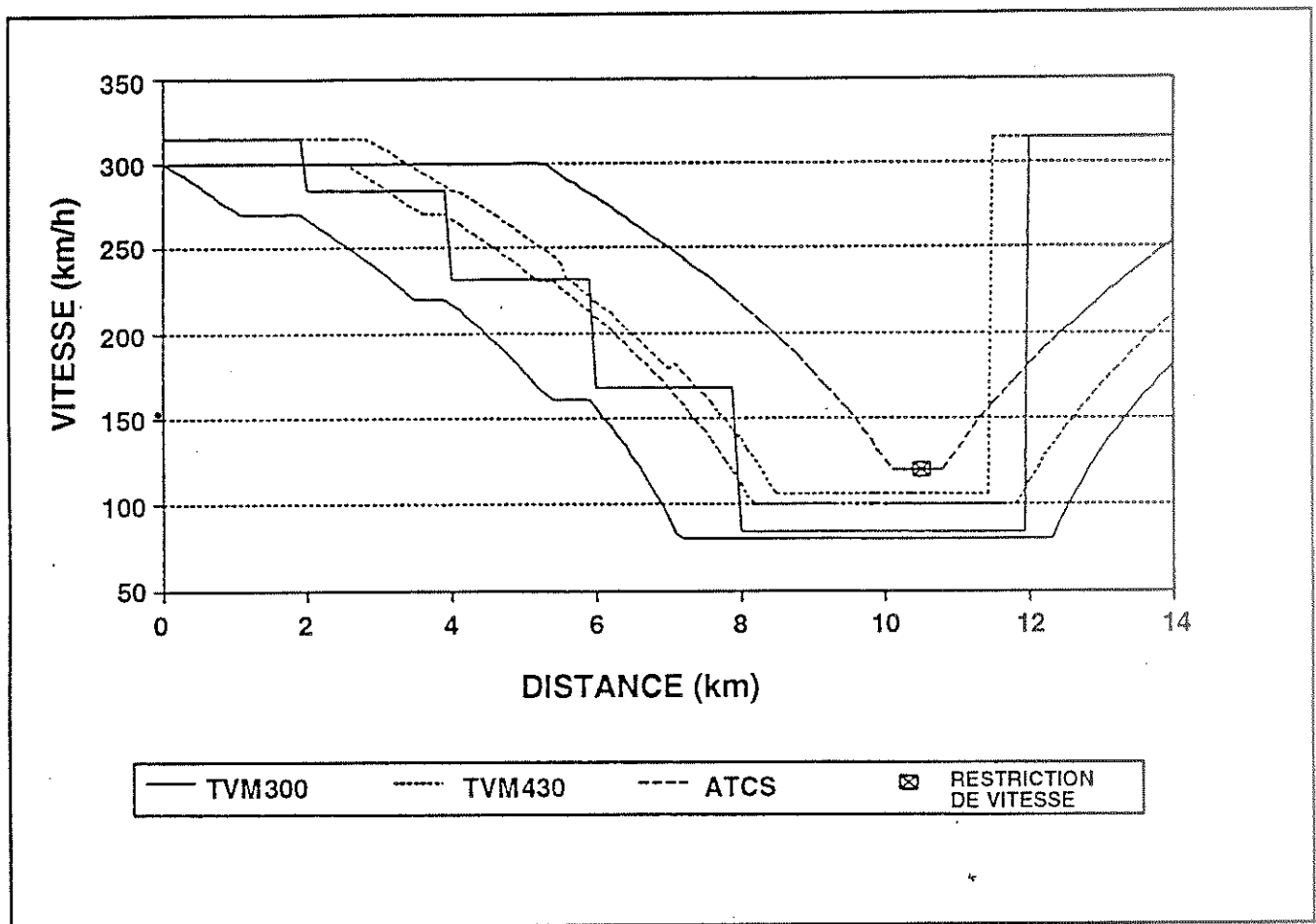


Figure 3.9 : Profils de vitesse et limites de contrôle de divers systèmes de signalisation et de contrôle du trafic

Le système ATCS offre une souplesse totale dans l'indication des restrictions de vitesse, et la position n'est pas contrainte par des blocs de voie fixes. La courbe de décélération est appliquée jusqu'à quelques centaines de mètres avant le point visé. Après avoir dépassé le point de restriction de vitesse, il peut reprendre de la vitesse, tandis que les autres systèmes doivent quitter le bloc de signalisation fixe avant de prendre de la vitesse.

Dans le cas de la restriction de vitesse donné ici en exemple, le temps perdu est estimé à quatre minutes pour le TVM-300, à 2,5 minutes pour le TVM-430 et à 1,5 minute pour l'ATCS. Bien que l'ATCS ne soit pas actuellement une technologie éprouvée, divers niveaux de performance ont été démontrés dans des prototypes d'installation, et il est raisonnable de s'attendre à ce que l'ATCS du niveau requis soit en service au moment où il faudra procéder aux achats pour un train rapide canadien. Ce type de système de signalisation permet aussi une bien plus grande participation des fournisseurs canadiens, ce qui améliorerait les perspectives quant aux retombées pour le secteur.

Toutefois, afin de rester cohérent avec le critère global selon lequel les technologies doivent être éprouvées dans le cadre de l'exploitation commerciale, c'est le TVM-430 qui a été choisi pour réaliser les estimations des coûts d'immobilisation ainsi que les calculs des temps de déplacement et de la fiabilité.

4. ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ DES TECHNOLOGIES REPRÉSENTATIVES AUX NORMES ET RÈGLEMENTS DE SÉCURITÉ, ET QUESTIONS CONNEXES

La présente section résume les conclusions concernant les sujets suivants :

- l'évaluation préliminaire de la conformité des technologies représentatives choisies aux normes et règlements canadiens de sécurité, y compris l'examen des règlements et normes fédéraux au Canada et aux États-Unis ainsi que des normes provinciales, le cas échéant;
- la détermination des domaines de non-conformité et les questions connexes concernant les exigences et pratiques hors réglementation du secteur (VIA, CN, CP et AAR);
- l'évaluation de la possibilité d'adapter les technologies représentatives pour les rendre conformes aux exigences réglementaires existantes;
- la définition des exigences quant aux passages à niveau pour les vitesses inférieures à 200 km/h;
- l'évaluation de la possibilité de modifier la réglementation existante en matière de sécurité et des conséquences d'une telle mesure.

4.1 Conformité aux normes applicables

La conformité de chaque technologie représentative aux normes et règlements de sécurité applicables au Canada et aux États-Unis a été examinée au moyen d'une série de rencontres et de discussions avec la Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada, la Federal Railroad Administration des États-Unis, ABB et Bombardier.

Les technologies représentatives ont été conçues et construites en fonction de principes de sécurité qui sont assez différents de ceux qui ont cours aux États-Unis et, jusqu'à récemment, au Canada. Bien qu'elles diffèrent dans les détails, les lignes de conduite en matière de sécurité adoptées par les concepteurs et les exploitants des technologies représentatives ont en commun de chercher à éviter les incidents par l'application rigoureuse de principes techniques de sécurité des systèmes à toutes les étapes, à l'aide de structures de véhicules absorbant l'énergie et visant à dissiper les forces d'impact par la déformation contrôlée d'espaces inoccupés. Par contre, les véhicules ferroviaires conçus et construits en Amérique du Nord conformément aux normes de l'AAR (qui sont des normes sectorielles et n'ont pas la valeur d'un règlement contraignant) doivent avoir une grande rigidité et une grande résistance structurale globale, caractéristiques qui fonctionnent dans une certaine mesure à de faibles vitesses, mais qui sont d'une valeur douteuse dans les incidents à haute vitesse.

Les normes de qualité de la construction de l'infrastructure et les procédures et pratiques d'exploitation et d'entretien à l'échelle du système qui s'appliquent aux technologies

représentatives sont tout aussi importantes et font partie intégrante des méthodes visant à assurer la sécurité des systèmes. Elles diffèrent sensiblement de celles qui sont couramment appliquées par les chemins de fer canadiens et américains (comme il est indiqué plus loin, au chapitre 5). VIA Rail a commencé à envisager l'entretien préventif systématique de son matériel roulant.

Tel qu'elles sont actuellement exploitées, les technologies représentatives ne se conforment pas entièrement à la réglementation de la FRA et aux normes de l'AAR qui s'appliquent aux États-Unis. Les études réalisées aux États-Unis ont permis d'énumérer cinq problèmes de sécurité qui sont propres aux technologies pendulaires - notamment les effets de la vitesse accrue dans les courbes sur la sécurité d'exploitation, la compatibilité des gabarits et les conséquences des diverses pratiques de présentation géométrique et de construction et d'entretien de voies - et douze catégories de problèmes de sécurité majeurs qui touchent tous les matériels et infrastructures de train rapide conçus à l'étranger. Ces dernières catégories englobent autant la résistance structurale essentielle aux chocs que les qualifications et la formation des employés. De plus amples renseignements sur ces types d'incompatibilité se trouvent à l'annexe TA-3.

4.2 Possibilité d'adaptation des technologies représentatives

Toutefois, toute cette catégorie de préoccupations pourrait bien être mise en question. Comme déjà indiqué, ABB et, plus récemment, Bombardier ont affirmé catégoriquement que pour le contexte nord-américain, ils modifieraient leurs technologies respectives afin d'offrir une équivalence de sécurité complète tant pour l'exploitation à voie partagée avec le matériel classique roulant jusqu'à 200 km/h que pour l'exploitation sur voies exclusives à de plus grandes vitesses.

En cas de collision, le TGV et le X-2000 ont été tous deux conçus pour dissiper le plus possible l'énergie avant que les forces soient transmises aux compartiments des voyageurs. Ce résultat est obtenu d'abord par la déformation contrôlée de la structure de la locomotive (à l'exception d'une cage protectrice pour le mécanicien) et ensuite par la déformation des parties inoccupées de chaque voiture.

Dans le cas du TGV, la structure de la caisse autour du compartiment des voyageurs est construite pour résister à une force de compression de plus de 450 tonnes, soit *beaucoup plus* que la norme de 364 tonnes de l'AAR. Toutefois, les unités motrices n'atteignent pas les limites requises de résistance, et la FRA a indiqué qu'il faudrait apporter certaines modifications pour améliorer la sécurité du mécanicien. Tout de même, les hauts fonctionnaires de la FRA se sont dit d'avis que les adaptations devraient être possibles avec peu d'effet sur la performance et le coût. Il est donc probable que cette adaptation soit tout à fait possible pour l'exploitation à 300 km/h.

L'unité motrice, les voitures et la remorque à cabine du X-2000 sont construites pour résister à des forces moins grandes, soit 200 tonnes. Selon les renseignements fournis au CIGGT par ABB au cours d'une visite des auteurs de la présente étude à l'usine Vasteras en Suède, il y a de bonnes raisons de croire que les modifications requises peuvent se faire sans ajouter plus d'une tonne à la charge statique maximale par essieu. Toutefois, pour réaliser un niveau suffisant de dissipation de l'énergie, il pourrait falloir repenser

l'utilisation de la remorque à cabine, qui transporte des voyageurs. De toute façon, ABB est nettement incitée à apporter ces changements, car AMTRAK a clairement laissé entendre que si elle décide d'acquérir la technologie X-2000, la conformité intégrale constituera une condition d'achat. La puissance supplémentaire prévue pour la prochaine version du X-2000 fera plus que compenser la masse additionnelle de la rame.

4.3 La possibilité de modifier les règlements en vigueur et les conséquences d'une telle mesure

La décision des fournisseurs de respecter intégralement les normes de sécurité est particulièrement encourageante dans le contexte canadien, dans la mesure où le Canada a déjà dépassé le processus d'élaboration de règlements complexe, structuré et très long que suivent les organismes américains de réglementation. La Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada fonctionne dans un cadre réglementaire très souple qui pourrait être avantageux dans le cas du train rapide, car elle préconise des normes de performance et la résolution pragmatique des problèmes de sécurité. Pour l'essentiel, un exploitant de train rapide peut proposer les normes et procédures d'exploitation qui conviennent le mieux au système et au plan de service. Il peut même, s'il le souhaite, proposer en exemple les normes et procédures utilisées par un exploitant étranger. Si Transports Canada juge que les procédures et normes proposées sont sécuritaires, l'approbation suivra rapidement.

Dans la mesure où les fournisseurs peuvent se conformer intégralement aux règles de sécurité, la position de la Direction générale de la sécurité ferroviaire à l'égard de l'exploitation de voies partagées et de tracés partagés est très pratique et fondée sur la vitesse d'exploitation et non sur le type de technologie. Jusqu'à 160 km/h (la limite de vitesse actuelle dans le Corridor), le matériel de train rapide peut circuler sur des voies partagées avec des trains de marchandises et (ou) des trains de banlieue classiques sans restriction ni condition spéciale. De 160 à 200 km/h, l'exploitation sur voie partagée ou sur tracé partagé sera permise, mais probablement avec des conditions spéciales quant à la construction, l'entretien et l'inspection de la voie, à la signalisation et au contrôle du trafic, à la formation du personnel et aux procédures d'exploitation. Au-delà de 200 km/h, l'exploitation sur voie partagée ne sera pas admise, mais l'exploitation sur tracé partagé sans barrière matérielle sera permise jusqu'à 250 km/h (*à la condition qu'il y ait un entraxe de 8 m et un mécanisme actif de détection de l'intrusion relié au contrôle du trafic*). Pour faire circuler des trains à plus grande vitesse sur un tracé partagé, il faudra soit des entraxes plus grands, soit une certaine forme de barrières anti-intrusion passives ainsi que des dispositifs actifs de détection d'intrusion.

4.4 Exigences liées aux passages à niveau

Une série semblable de contraintes liées à la vitesse a été proposée pour ce qui est des passages à niveau, le deuxième grand objet de préoccupation de la Direction générale de la sécurité ferroviaire dès le début des discussions. Pour les vitesses supérieures à 200 km/h, aucun passage à niveau (public ou privé) ne sera permis. À des vitesses de 160 à 200 km/h, des passages à niveau seront permis après un examen de chaque emplacement, et à la condition que les passages soient équipés de circuits de détection de

l'occupation du passage reliés au système de contrôle du trafic, de barrières à pleine largeur équipées de mécanismes de détection d'intrusion et d'une signalisation améliorée. Une préoccupation majeure seront les conditions routières qui pourraient être dangereuses à proximité des passages à niveau, par exemple, une longue pente descendante qui pourrait entraîner la perte de maîtrise d'un véhicule routier sur chaussée humide ou glacée et les champs de vision restreints ne permettent pas d'apercevoir le passage à temps pour faire un arrêt sécuritaire.

4.5 Règles et pratiques hors réglementation

4.5.1 Introduction

Outre la conformité à un vaste éventail de règles diverses imposées par la réglementation, il y a une deuxième grande catégorie de conformité qui pourrait influencer sur la mise en oeuvre et la performance d'un système de train rapide dans le Corridor canadien : la différence entre les règles et pratiques d'exploitation énoncées dans les conventions collectives actuelles qui régissent les salariés de VIA Rail, du CN et du CP, et les règles et pratiques équivalentes qui régissent l'exploitation et l'entretien des applications actuelles des technologies représentatives.

Bien qu'il soit hors du mandat de la présente étude d'examiner de façon approfondie et détaillée les règles et pratiques de travail actuelles et celles qui régiraient le train rapide, ces questions ont été examinées avec le CN et le CP; les pratiques chez VIA Rail qui touchent le personnel roulant (mécaniciens de locomotive, chefs de train, serre-frein), les travailleurs d'atelier et les préposés au service à la clientèle sédentaires et roulants ont également été étudiées de façon assez détaillée.

Tout d'abord, nombre des différences dans les règles et pratiques d'exploitation et d'entretien entre la SJ-BV et la SNCF d'une part, et le CN, le CP et, dans une moindre mesure, VIA Rail d'autre part, traduisent les différences entre les priorités des services (voyageurs et marchandises), les conditions géographiques (distances interurbaines plus courtes qu'au Canada) et les initiatives du passé en matière d'investissements (électrification des grandes lignes, particulièrement en France au cours de la reconstruction de l'après-guerre). L'effet de ces facteurs ne devrait étonner personne. Toutefois, dans le contexte de leurs régimes respectifs de relations de travail et de gestion, la SJ et la SNCF ont toutes deux pu établir des règles et pratiques directement liées aux exigences fonctionnelles de leurs technologies respectives de train rapide. Cela a une importance cruciale dans l'exploitation sécuritaire et productive d'un train rapide : la sécurité des systèmes dépend d'une maîtrise suffisante d'interactions complexes entre de nombreux éléments. Les lignes de démarcation historiques et arbitraires entre la responsabilité des gestionnaires et le champ de compétence des syndicats ne doivent pas obscurcir les relations fonctionnelles essentielles.

4.5.2 Principes d'entretien des systèmes de train rapide

Les règles et pratiques d'exploitation et d'entretien du X-2000 et du TGV sont établies selon une conception de la sécurité qui est basée sur l'ingénierie du système et qui

cherche essentiellement à éviter des incidents aux conséquences indésirables en insistant sur un entretien préventif rigoureux et en utilisant des sous-ensembles perfectionnés de contrôle du trafic, de signalisation et de communication. La formation initiale et le perfectionnement du personnel du train rapide est un élément important de cette conception globale visant à assurer la sécurité et la rentabilité de l'exploitation. Par exemple, les préposés à l'entretien des trains classiques de la SNCF qui sont mutés à l'une des équipes d'entretien du système TGV reçoivent une formation de cinq mois, tandis que les préposés à l'entretien de la voie reçoivent une formation spécialisée additionnelle sur les aiguilles et les liaisons. Ces travailleurs ont déjà terminé le programme de formation générale de la SNCF et ont généralement au moins six mois d'expérience.

Bien que les principales compagnies ferroviaires nord-américaines, dont le CN, le CP et VIA, se dirigent vers l'entretien programmé des voies et du matériel roulant, la plus grande partie de l'entretien est encore réactionnelle, tandis que pour l'exploitation d'un train rapide, les activités d'entretien programmé déterminées par une surveillance constante de paramètres de qualité de la voie représentent de 85 p. 100 à 95 p. 100 des efforts d'entretien.

La planification des activités d'entretien et le diagnostic en atelier de l'infrastructure et du matériel roulant du train rapide reposent de plus en plus sur le contrôle quantitatif automatisé des fonctions et paramètres importants des sous-ensembles et des composantes. Par exemple, la programmation des activités de bourrage, de soulèvement et de meulage des rails est basée sur des paramètres de qualité de la voie mesurés chaque semaine par des rames commerciales dont les essieux sont munis d'instruments et chaque trimestre par des voitures de contrôle de l'état géométrique de la voie Mauzin. En suivant l'apparition et la progression des défauts de géométrie par rapport aux données antérieures, les activités d'entretien sont programmées de manière à garder tous les défauts dans les limites paramétriques optimales à un coût d'entretien minimal.

De même, l'entretien du matériel roulant est basé sur des normes de temps écoulé et (ou) d'utilisation, auxquelles s'ajoute de plus en plus la surveillance continue des sous-ensembles et des composants importants par le système informatique à bord. Lorsqu'une rame du TGV-A est amenée dans une installation d'entretien de la SNCF, une des premières activités consiste à lire les fichiers diagnostiques des ordinateurs TORNAD de bord. Ces données indiquent au personnel d'entretien l'état du sous-ensemble et soulignent les procédures requises pendant cette activité d'entretien. Le X-2000 a des capacités semblables de diagnostic à bord. L'entretien se fait dans des installations construites à cet effet et équipées pour permettre de réaliser en parallèle de multiples tâches spécialisées sur une rame entière. Cet entretien d'une rame entière est utilisé tant sur les rames articulées du TGV que sur les rames non articulées du X-2000.

4.5.3 Pratiques nord-américaines

Heureusement, l'examen des règles et pratiques de VIA donne des raisons d'être optimistes. Bien qu'il faudrait une formation «de conversion» poussée pour donner au personnel les qualifications et les connaissances nécessaires à l'exploitation de l'une ou l'autre des familles représentatives, les règles et pratiques définies dans la convention collective actuelle ne semblent poser aucune entrave fondamentale à l'exploitation et à

l'entretien sécuritaire et économique du train rapide. Cela ne signifie pas que la mise en place et l'exploitation du train rapide sera simple et sans détour à l'égard des règles et pratiques hors réglementation, car l'attitude «culturelle» nécessaire à l'exploitation efficace d'un train rapide a plus en commun avec l'aviation commerciale qu'avec les chemins de fer classiques. Toutefois, rien ne dit qu'il soit impossible d'apporter les modifications nécessaires à condition d'éviter des confrontations improductives.

Quant aux règles et pratiques à VIA Rail, elles ont été examinées par rapport à la taille de l'équipe de train, les trajets sans changement d'équipe et les règles de rémunération du personnel roulant. Les conclusions de cet examen se sont révélées favorables. Par exemple la taille de l'équipe de conduite pour l'une ou l'autre des deux technologies représentatives, soit une rame 1-4-RC du X-2000 ou une rame 1-8-1 du TGV, chacune avec des places en première et en deuxième classe, comprendrait un mécanicien de locomotive, un chef de train et un chef de train adjoint *selon la convention collective actuelle*. C'est là le même personnel que celui qui a été observé sur les rames du TGV-A et du TGV-Paris-Sud-Est, bien que la SNCF ait indiqué qu'un chef de train adjoint supplémentaire est affecté au TGV-A, qui est plus long, pendant les périodes de pointe, lorsque les facteurs d'occupation sont très élevés. Le personnel du X-2000 exploité par SJ n'est pas directement comparable, car il s'agit de rames exclusivement de première classe qui comportent un préposé par voiture ainsi qu'un chef de train et un mécanicien de locomotive.

Pour ce qui est du trajet sans changement d'équipe, les conventions collectives actuelles permettent à une équipe de couvrir deux districts d'ancienneté contigus (de Québec à Montréal ou de Montréal à Toronto) mais pas trois. Les trains Toronto-Windsor semblent se trouver dans le même district. Cela signifie qu'à l'intérieur de chacun des trois grands tronçons du Corridor, toutes les équipes peuvent travailler d'un terminus à l'autre, ce qu'exige le train rapide de l'une ou l'autre famille. Toutefois, à des vitesses d'exploitation plus élevées, il peut être intéressant de faire circuler des trains au-delà de Montréal ou de Toronto, par exemple de Québec à Ottawa ou de Windsor à Montréal. Compte tenu du fait que le CN, le CP et VIA ont tous réussi à négocier d'autres accords sur les trajets sans changement d'équipe (le CN, par exemple, conserve la même équipe du GO-Train de Hamilton à Whitby), il semble qu'il n'y aurait pas de difficulté à obtenir de telles conditions avec l'une ou l'autre technologie de train rapide. Grâce au matériel doté de signalisation en cabine et au contrôle automatique du trafic, il n'est plus tellement nécessaire pour l'exploitation courante que les équipes connaissent les voies sur lesquelles elles doivent circuler. Ce serait indiqué qu'un exploitant de train rapide puisse prendre des décisions au sujet des trajets sans changement d'équipe en fonction des facteurs d'exploitation et de marché.

Les règles de rémunération constituent une question un peu plus floue, entre autres parce que VIA n'a pas mis l'accent sur cette question dans ses négociations jusqu'ici. Au Canada, la rémunération du personnel itinérant est encore fondée sur la distance parcourue⁹. La base contractuelle de la rémunération selon la distance est maintenant de 150 milles par jour, où l'expression «jour» désigne une rémunération minimale. La distance garantie pour

⁹

Aux États-Unis, AMTRAK a négocié la rémunération à l'heure ou sur une autre unité de temps avec la plupart des membres de son personnel roulant.

une période de rémunération de 28 jours est 4200 milles, ce qui représente 150 milles par jour, **sans compter les congés!** La rémunération minimale serait de 47 700 \$, ce qui équivaut à 210 milles par jour, cinq jours par semaine. Comme point de comparaison, la rémunération de base des contremaîtres de triage est d'environ 40 000 \$ pour 260 quarts de huit heures.

Ces dernières années, VIA a négocié un système sans fiche de présence pour les équipes de train. Selon ce système, un voyage «normal» Toronto-Montréal correspond à 360 milles, y compris une allocation pour le temps passé au terminus. Ce système réduit le travail d'administration et de bureau et incite l'équipe à travailler rapidement, car elle n'a aucune rémunération à tirer de retards mineurs au terminus.

4.5.4 Hypothèses concernant les équipes du train rapide

Quelles sont les hypothèses à poser pour un système de train rapide? L'idée d'appliquer les taux actuels fondés sur la distance paraît irréaliste, car avec le trajet Toronto-Montréal en trois heures, il suffirait, pour gagner annuellement 60 000 \$, de travailler quatre heures par jour, quatre jours par semaine. C'est pourquoi deux autres formules méritent d'être examinées :

- Maintenir le niveau de rémunération annuel et ajuster les heures de travail pour obtenir une semaine de travail de 40 heures en moyenne sur une période de plusieurs semaines, comme VIA le fait avec son personnel de service à bord.
- Faire l'hypothèse que le barème de manoeuvre s'applique à huit heures de travail, avec peut-être un certain supplément pour le travail loin de chez soi et ainsi de suite, afin de conserver une certaine distinction entre le travail sur place et le travail à l'extérieur.

Avec des règles d'exploitation modifiées, qui pourraient très bien s'appliquer à un nouvel exploitant ferroviaire, il serait raisonnable de rechercher une solution basée sur l'une de ces deux formules. Il existe toutefois certains obstacles pratiques à la modification des règles de rémunération. Si le train rapide partage des tracés ou, en particulier, des voies avec un train classique (une situation analogue à celle qui a cours en France et en Suède), il est déraisonnable de proposer que les équipes du train rapide soient rémunérées selon des règles sensiblement différentes de celles qui s'appliquent aux équipes du train classique, particulièrement si la même personne peut travailler à la fois dans un train classique et dans un train rapide, comme c'est le cas en France.

Afin de permettre l'évaluation des répercussions de ces formules, il s'agit de calculer les frais de rémunération de l'équipe du train selon les règles actuelles avec des modifications mineures, ainsi que selon les formules définies plus haut. Ces formules peuvent exiger des paiements forfaitaires aux membres actuels des équipes de train de VIA, selon le scénario institutionnel choisi. Ces paiements ne sont pas compris dans les estimations des frais de rémunération de l'équipe.

4.5.5 Qualifications et formation

Équipes des trains

La conversion du matériel classique au matériel de train rapide exigera un investissement considérable de temps et d'effort en matière de perfectionnement et de familiarisation. Les lignes qui suivent concernent la famille du TGV. Les principes de conception de ces trains sont évolutifs : la Société nationale des chemins de fer français cherchait à «moderniser les pratiques de conduite par rapport à celles des autres trains», tout en assurant une «continuité d'exploitation» entre le TGV et les autres trains¹⁰. Cette «continuité d'exploitation» est importante, car la SNCF cherche à éviter la création de postes de conducteurs spécialistes du TGV. Les conducteurs du TGV doivent pouvoir faire circuler le matériel TGV sur les lignes classiques, et conduire des trains classiques lorsque cela est efficace. Les Français ont donc jusqu'ici résisté à l'idée de la conduite automatique avec un mécanicien pour assumer la relève manuelle; ce dernier continue à conduire le train avec l'aide et la surveillance de l'ordinateur.

Houillon résume ainsi les principales différences entre le travail d'un conducteur de TGV et celui d'un conducteur de train classique :

- La signalisation en cabine plutôt que la signalisation classique sur la voie.
- De plus grandes vitesses d'exploitation, ce qui «oblige les conducteurs à adopter une nouvelle méthode de conduite avec des temps de réaction plus courts. Pour conduire selon les ordres reçus, il faut freiner pour respecter la vitesse indiquée dès que l'indication de restriction de vitesse est donnée, ce qui remplace la méthode consistant à freiner pour respecter la vitesse indiquée à l'entrée du bloc suivant».
- Un nouvel «art de conduire» à cause de plus fortes pentes et la possibilité sensiblement accrue d'exploiter l'énergie cinétique du train que sur les lignes classiques.
- L'isolement et la monotonie à cause du nombre réduit d'arrêts¹¹.

Pour conclure, le conducteur d'un train classique peut, au moyen d'une formation appropriée, acquérir les qualifications requises pour conduire un TGV. La SNCF prévoit généralement une période de formation de deux mois pour permettre au personnel ayant dix ans d'expérience sur les trains classiques de travailler sur le TGV. Il se peut qu'il faille une période de formation plus longue au Canada étant donné que la différence entre le service actuel dans le Corridor et le service rapide proposé peut être plus grande que celle entre le meilleur service «classique» de la SNCF et celui du TGV. La SNCF a commencé à

¹⁰ Houillon, J.-P., «Le TGV ou l'occasion d'une nouvelle approche des métiers du chemin de fer» dans le Colloque *Canada-France : Les développements du système TGV*, 25 et 26 mars 1992.

¹¹ L'argument du nombre réduit d'arrêts ne s'appliquerait pas à la plupart des projets pour le Corridor.

faire un usage fréquent des simulateurs de conduite (afin d'éviter de retirer des rames du service commercial pour des fins de formation), pratique inaugurée par les chemins de fer canadiens et qui est donc connue à tous les mécaniciens de locomotive de VIA, du CN et du CP. Un exploitant canadien ne devrait pas avoir de grande difficulté à faire acquérir à son personnel les qualifications voulues pour conduire un train à technologie semblable à celle du TGV – ou à celle du X-2000 dont le contrôle du trafic et l'exploitation diffèrent en détail mais pas en principe.

Métiers d'atelier

Pour ce qui est des métiers d'atelier et de l'entretien du matériel, les questions les plus importantes pour un exploitant de train rapide sont les répercussions de l'organisation classique des corps de métier sur la productivité de l'entretien et la prédominance des méthodes de diagnostic et de prévention dans l'entretien du matériel de train rapide. Il peut aussi avoir des possibilités de sous-traiter en entier ou en partie les activités d'entretien.

Les employés des installations canadiennes d'entretien du matériel ferroviaire, tant voyageurs que marchandises, sont traditionnellement répartis en corps de métier. Par exemple, ces dernières années, les 1652 employés d'entretien du matériel de VIA ont été représentés par cinq syndicats. La direction de VIA a soutenu avec succès que l'existence d'unités de négociation multiples a réduit la productivité du travail parce qu'elle a entravé la souplesse dans l'attribution des tâches. Cet argument a été accepté récemment par le Conseil canadien des relations du travail, qui a ordonné la création d'une seule unité de négociation pour les employés d'entretien du matériel. Le CCRT a donné raison aux arguments de la direction de VIA qui soutenait qu'elle avait besoin de la possibilité d'attribuer des tâches afin de fonctionner efficacement et que l'existence d'unités de négociation multiples entravait cette possibilité. Il faut noter que même en vertu des conventions collectives actuelles, VIA a une certaine discrétion dans l'attribution des tâches.

Les conclusions quant à la compatibilité des pratiques actuelles d'entretien de VIA avec les exigences du travail sont favorables dans les grandes lignes :

- L'entretien de l'équipement chez VIA comprend certaines des caractéristiques de l'entretien d'un système de train rapide, notamment l'utilisation croissante des diagnostics de l'entretien par rame entière.
- D'ici l'an 2005, si la stratégie de la direction de VIA est couronnée de succès, les plus importants obstacles institutionnels à l'efficacité des pratiques d'entretien du matériel auront disparu.

Les principales questions à régler à l'égard de l'entretien du matériel du train rapide sont de faire acquérir aux salariés et aux cadres les nouvelles qualifications et les attitudes requises pour entretenir le nouveau matériel, et de déterminer dans quelle mesure la direction du train rapide souhaite opter pour la sous-traitance des activités d'entretien.

Autres salariés

Le service à la clientèle emploie les préposés à la vente des billets, les agents des gares et le personnel de service à bord des trains. Le service à la clientèle semble poser peu de problèmes de relations de travail au niveau de la mise en oeuvre d'un système de train rapide car elles sont plutôt fonction des décisions quant au niveau des services à offrir.

L'exploitation d'un train rapide n'exige aucune qualification spécialisée ni connaissance des pratiques d'exploitation autres que celles que possède déjà le service à la clientèle de VIA. Compte tenu des qualifications actuelles du personnel, il suffirait de former ces derniers aux caractéristiques particulières du matériel roulant et des autres formes de matériel qui sont utilisées. Cette formation ne devrait pas être différente de celle qui est actuellement nécessaire lorsque l'on met en service chez VIA du matériel nouveau ou reconstruit.

Les modalités actuelles de dotation des services à la clientèle ont une grande souplesse. Il reste peu de contraintes professionnelles. Le personnel des trains est rémunéré pour une semaine de 40 heures calculées sur une période de plusieurs semaines, avec une variation considérable du nombre moyen d'heures de travail par jour. Le travail à temps partiel est permis à la condition qu'il ne représente pas plus du cinquième de l'emploi dans une installation déterminée. Le travail en poste fractionné est permis chez le personnel sédentaire. Aucun niveau de dotation n'est prévu dans la convention collective pour une autre catégorie de personnel.

Les problèmes à résoudre dans le domaine des services à la clientèle concernent la possibilité de la sous-traitance ainsi que la taille et la composition des équipes de chacune des gares et de chacun des trains. La première question est abordée à l'annexe TA-3 et la dernière dans le Plan d'exploitation.

5. EXPLOITATION DU TRAIN RAPIDE DANS LES CONDITIONS CLIMATIQUES CANADIENNES

Les conditions climatiques canadiennes auront des répercussions à la fois sur la conception et la construction de l'infrastructure du train rapide et sur sa performance réalisable. Les effets de l'intensité et de l'accumulation de la pluie et de la neige et de la formation de glace sur les limites d'exploitation sans danger et sur le comportement des voies, des véhicules, des caténaires et des sous-ensembles de signalisation et de contrôle ont été évalués, ainsi que les techniques possibles d'atténuation comme les gicleurs à eau chaude utilisés au Japon pour réduire l'accumulation de neige et l'effet de l'ajout de réchauffeurs d'aiguilles sur la fiabilité des aiguilles à grande vitesse. La principale difficulté demeure la conception et la construction de superstructures stables dans les conditions géotechniques et de gel-dégel astreignantes qui prédominent dans le corridor Québec-Windsor.

D'autres préoccupations liées au climat qui ont été examinées sont les contraintes longitudinales des rails entraînées par la température et la qualité de la protection contre la foudre des sous-stations, des caténaires et des systèmes de signalisation, de contrôle du trafic et de communication. Certaines comparaisons quantitatives ont été effectuées entre les conditions climatiques du corridor Québec-Windsor et celles qui prédominent en France et en Suède, mais les données disponibles sur ces pays sont très limitées.

Au tableau 5.1 figurent les conditions climatiques défavorables qui ont été évaluées ainsi que leurs codes respectifs qui sont utilisés dans le tableau synoptique des effets. La liste énumère les conditions climatiques du corridor Québec-Windsor qui présentent de plus grands dangers que les conditions connues en Suède et en France. Il en sera question plus loin, ainsi que des techniques d'atténuation recommandées.

TABLEAU 5.1 CONDITIONS CLIMATIQUES DÉFAVORABLES	
POSTE	CODE
CYCLES GEL-DÉGEL	CGD
TEMPÉRATURES EXTRÊMEMENT BASSES (-50 °C)	TEB
GRANDS ÉCARTS DE TEMPÉRATURE QUOTIDIENS ET SAISONNIERS	GET
TEMPÉRATURES PROCHES DU POINT DE CONGÉLATION	TPC
PLUIE VERGLAÇANTE	PV
NEIGE FONDANTE	NF
ACCUMULATION DE NEIGE	AN
ORAGES	O
FORTES PLUIES	FP
HUMIDITÉ SALINE	HS
VENTS FORTS	VF
ACCUMULATION DE GLACE	AG

Cycles gel-dégel

L'eau emprisonnée dans le ballast, le sous-ballast, le terrassement et la plateforme à cause d'un drainage insuffisant gèle durant l'hiver et se dilate. Cela entraîne, dans une certaine

mesure, un soulèvement de la structure de soutien et, en fin de compte, un désalignement des rails dans une ou plusieurs dimensions. Ce processus est exacerbé pendant le dégel du printemps, lorsque les températures diurnes et les précipitations fréquentes entraînent la pénétration de la structure de soutien et l'accumulation possible d'eau dans des zones déterminées de saturation. Il en résulte une distorsion importante de la géométrie de la voie, avec au moins pour résultat de rendre le déplacement inconfortable, et souvent un important délestage des roues avec risque de déraillement, ce qui nécessite une restriction de vitesse.

Selon les discussions menées avec un expert en superstructures de voies, il faut, pour éviter cette situation, effectuer des études géotechniques minutieuses pour déterminer les types de plateformes particulièrement vulnérables aux cycles gel-dégel et appliquer d'autres techniques de consolidation comme l'injection d'un coulis de ciment ou l'addition de chaux afin d'améliorer la capacité portante de la plateforme. Il faut retirer les matériaux pollués ou mal drainés des emprises existantes et utiliser des géotextiles cellulaires ou un autre renforcement pour établir des cellules de confinement dans les strates de l'infrastructure. En outre, il convient d'utiliser une géogrille ou une géomembrane et des couches bien aplanies de matériaux grenus afin d'encourager le drainage latéral et de renforcer encore la plateforme. Il faut veiller à ce que la superstructure de la voie et le terrassement restent bien drainés, en tenant compte particulièrement des caractéristiques des matériaux et des spécifications de nivellement, des normes et techniques de compactage et de la disposition d'une pente suffisante et d'un dégagement pour le drainage.

Enfin, l'expert s'est dit d'avis qu'il serait beaucoup plus facile de mettre au point une traverse monobloc avec le même niveau de résistance latérale que la traverse mixte utilisée par la SNCF que de combattre la tendance des traverses mixtes à pomper le ballast s'il y a de l'humidité dans la section. Il a été tenu compte de cette remarque dans la spécification des traverses.

Températures extrêmement basses

Des températures inférieures à -50 °C ne sont pas inconnues dans le corridor Québec-Windsor, bien que cela soit rare et un effet du refroidissement éolien. Le matériel roulant doit être capable de fonctionner et d'être entreposé à de telles températures.

Les températures extrêmement basses entraînent des changements dans les propriétés de matériaux de sorte que certains plastiques deviennent extrêmement fragiles et risquent de se briser. Les huiles et les graisses deviennent tellement visqueuses qu'elles ne peuvent plus remplir leur fonction. Par ailleurs, les composantes qui ont des contraintes résiduelles, comme les longs rails soudés, ou qui sont déjà sous tension, comme les câbles porteurs de caténaires, sont soumis à de plus grandes tensions par températures extrêmement basses.

Sur un registre plus pratique, les trains ont besoin d'une meilleure isolation thermique ou de chauffettes à capacité thermique accrue pour maintenir le confort des voyageurs. Ce problème est exacerbé à grande vitesse lorsque le coefficient d'échange thermique effectif est beaucoup plus grand qu'à des vitesses classiques. Il faut assurer le maintien de

températures acceptables à bord en cas de panne d'alimentation électrique dans les pires conditions envisageables (hiver et été), de concert avec des mesures d'urgence appropriées par les organismes de secours en cas de panne d'électricité.

Grands écarts de température quotidiens

Les composants électroniques à l'intérieur de boîtiers sont soumis à de grands écarts de température quotidiens. Lorsque ces composants fonctionnent, la température peut dépasser 50 °C. Alors, l'air se dilate et met le boîtier sous pression. Si ce boîtier est ventilé ou s'il n'est pas bien scellé, une partie de l'air est expulsée. Si la rame est ensuite entreposée dans des conditions hivernales nocturnes typiques (de -20 °C à -30 °C), l'air se refroidit et se contracte et l'air extérieur, qui contient des sels, des acides et d'autres produits chimiques conducteurs ou corrosifs en suspension, est aspiré à l'intérieur. L'accumulation de ces contaminants peut entraîner des défauts à la terre et des courts-circuits qui peuvent à leur tour entraîner des défaillances inhabituelles et imprévisibles. Comme les rames seront étanches pour empêcher l'inconfort chez les voyageurs lors du passage dans les tunnels, il est possible d'atténuer ce problème sans apporter de modifications majeures à la conception à condition de faire attention à l'emplacement du matériel.

Températures ambiantes proches du point de congélation

La glace et la neige fondent lorsqu'elles sont exposées au soleil à des températures ambiantes proches du point de congélation. L'eau de fonte gèle à nouveau lorsqu'elle vient en contact avec du métal froid, particulièrement les surfaces exposées à la circulation d'air à grand débit. Les composants du bogie ou du système de suspension qui ne sont pas exposés à de grandes forces ou à de grands mouvements peuvent accumuler de la glace sur leurs surfaces exposées. L'accumulation de glace peut rendre le composant inexploitable ou peut modifier sensiblement la dynamique du bogie et du système de suspension. Les roues peuvent faire gicler l'eau sous le châssis de la voiture, et l'accumulation de glace qui en résulte peut alors entraver le fonctionnement du matériel qui se trouve à cet endroit. Les morceaux de glace qui se détachent à grande vitesse sont eux-mêmes dangereux et font ricocher des morceaux de ballast, ce qui peut entraîner des dommages aux véhicules ou des blessures aux passants. C'est là un problème courant que connaît la SJ avec le X-2000 et avec le matériel classique. Jusqu'ici, la société a réagi en abaissant la surface du ballast à 5 cm sous le sommet des traverses. Il pourrait être utile d'étudier des peintures ou d'autres revêtements à coefficient de frottement réduit qui entraveraient l'adhérence de la glace.

Neige fondante

De nombreux systèmes de refroidissement des composants électriques et les prises d'air de systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation emploient des filtres de fibre ou de papier pour enlever les débris et la poussière de l'air. La neige fondante a tendance à s'accumuler sur de tels composants et à les écraser ou à les obstruer, ce qui entraîne une surchauffe à cause de la réduction du débit d'air, ou des courts-circuits ou de la corrosion à cause de l'humidité absorbée par le matériel électronique ou mécanique.

Accumulation de neige

Presque tout le corridor Québec-Windsor connaît à l'occasion des chutes importantes de neige¹², et certains tronçons passent par des zones de fortes chutes fréquentes ou à proximité (par exemple, la ceinture de neige causée par le lac le long de la frontière nord du comté Prince Edward). Sur les lignes existantes où circulent des trains de marchandises relativement fréquents et longs ainsi que des trains de voyageurs classiques, ce ne sont que les très fortes chutes de neige qui ne sont pas dispersées rapidement. Les chasse-neige ne sont donc nécessaires qu'à l'occasion et, en général, seulement dans des zones à problèmes comme les tranchées creusées dans le roc.

Dans le cas du train rapide, les trains seront plus courts et plus légers, pourront être plus espacés et ne circuleront vraisemblablement pas, par exemple, de minuit à 6 h. Par conséquent, il est plus probable que la circulation des trains ne suffira pas à garder la voie dégagée et qu'il faudra avoir recours à des chasse-neige. Contrairement à la situation actuelle où l'emprise est essentiellement dégagée, la voie du train rapide comporte une caténaire aérienne et des colonnes de soutien ainsi que, éventuellement, un ou plusieurs ouvrages antibruit qui risquent d'entraver le déneigement. Donc, sur les lignes à grande vitesse, il ne suffira pas simplement de prévoir le matériel de déneigement. Il est possible qu'il faille prévoir certains retraits supplémentaires pour les mâts de caténaires et les ouvrages antibruit.

Les restrictions de vitesse liées à la neige sur les lignes Tohoku et Joetsu du Shinkansen, où il tombe généralement plus de 600 cm de neige par année et les accumulations quotidiennes peuvent atteindre 100 cm, constituent un exemple intéressant de l'adaptation de la vitesse aux conditions de neige : à 17 cm ou moins, la vitesse est limitée à 240 km/h (ou à 275 km/h à certains endroits); de 17 à 19 cm, la limite est 210 km/h; de 19 à 22 cm, 160 km/h; de 22 à 30 cm, 110 km/h. Si les accumulations dépassent 30 cm, les trains ne circulent pas.

Un autre problème majeur que présentent les chasse-neige à ailes latérales et les chasse-neige rotatifs est le fait que la neige sous le sommet des rails est progressivement tassée en masses solides qui sont ensuite poussées en largeur et en longueur par les déneigements ultérieurs. Ce tassement fait pénétrer la neige dans les aiguilles et peut exercer des efforts de cisaillement, tant sur la longueur que sur la largeur, sur n'importe quel type de matériel, comme les répondeurs, qui peut être fixé aux traverses. Cette situation peut avoir des répercussions sur la conception des circuits de voie comme ceux que la SNCF utilise avec les condensateurs entre les rails qui sont situés à tous les 100 m, le système LZB allemand avec des câbles continus entre les rails et, dans une moindre mesure, le contrôle automatique de la marche des trains suédois et même le système d'automatisation doté de répondeurs discrets.

¹²

De 1974 à 1991, chaque poste météorologique important du Corridor a connu au moins une chute de neige de 10 cm ou plus chaque année; Québec et Kingston sont les plus touchées avec une chute moyenne de 23,4 cm, tandis que Windsor n'a en moyenne qu'une chute maximale de 16,9 cm.

Enfin, les très longs joints des branchements à grande vitesse à 160 et 220 km/h sont sujets à des problèmes d'accumulation et de tassement de neige lorsqu'ils sont activés. Les chaufferettes à résistance électrique utilisées en France ne suffiront pas dans les conditions canadiennes. Il faudra au moins des réchauffeurs d'aiguilles classiques et (ou) des souffleuses à intervalles relativement rapprochés afin d'éviter les problèmes d'aiguillage. Ces composants même ne sont pas particulièrement fiables et exigent un entretien constant important.

Orages

Il a été impossible d'obtenir des données quantitatives concernant la France et la Suède pour pouvoir faire des comparaisons, mais c'est un fait connu que les orages sont plus fréquents et plus violents en Amérique du Nord¹³ qu'en Suède ou en France. Les pratiques des entreprises du service public au Canada, qui ont fait leurs preuves dans toutes les conditions, serviront dans la conception du système de protection contre la foudre de l'alimentation, des sous-stations et des systèmes de communication.

Fortes pluies

De fortes pluies (et des vents forts) accompagnent souvent les orages, ce qui présente des difficultés particulières pour l'exploitation d'un train rapide à cause des effets des fortes pluies sur l'adhérence roue-rail et aussi de la possibilité d'emportement par les eaux et de crues éclairs si le système de drainage est insuffisant. La fiabilité du service risque d'en souffrir, car de tels incidents peuvent causer des retards et entraver le fonctionnement du matériel. Comme la fréquence des fortes pluies est probablement en corrélation étroite avec celle des orages, de telles situations peuvent se présenter plus fréquemment dans le Corridor qu'en France ou en Suède. Par exemple, depuis 1955, Windsor a connu plus de 34 jours par année avec des orages, tandis que Kingston en a eu un peu moins de 30 en moyenne, Ottawa 23 et Trois-Rivières moins de 14.

Humidité saline

Dans les villes et sur les grandes routes, un important volume de sel est répandu pour déglacer les routes pendant l'hiver. Par conséquent, les voies et les rames du train rapide seront exposées à l'humidité saline dans les zones urbaines, à l'intersection des routes (aux passages à niveau ou étagés) et lorsqu'elles sont parallèles à de grandes routes. Comme il est un conducteur, l'humidité saline peut causer des claquages d'isolateurs de câbles à haute tension, des décharges et la détérioration du revêtement conforme des plaquettes de circuits imprimés. Là encore, une telle situation peut être prévenue à condition d'apporter toute l'attention voulue à l'étape de la conception détaillée.

Vents forts

Les vents forts ont plusieurs effets néfastes sur l'exploitation d'un train rapide. Les vents latéraux, particulièrement en rafale, peuvent nuire à la sécurité dans les courbes et

¹³

Communication personnelle avec M. J. Lever, CRREL, le 17 décembre 1992.

entraîner l'instabilité de la caténaire aérienne. La SNCF limite la vitesse d'exploitation de la ligne Paris Sud-Est à 220 km/h lorsque la vitesse des vents dépasse 70 km/h, suite à un incident au cours des premiers mois d'exploitation qui a fait tomber plusieurs kilomètres de caténaire et a entraîné la reprise de la conception du pantographe. Les vents de face influent sur la résistance au déplacement et la consommation de l'énergie. La force et la direction du vent sont tous deux importants, tout comme la direction et la force des rafales. Ces données sont présentées à l'annexe TA-4.

Des modifications apportées au soutien de la caténaire et au pantographe de la ligne Atlantique ont permis l'exploitation sans limites de vitesse en situation de vents forts. Des modifications semblables à la caténaire sont mises en oeuvre sur la ligne Paris Sud-Est et permettront d'abolir les limites de vitesse.

Accumulation de glace et méthodes de déglacage

Les tempêtes de verglas à grande échelle sont relativement peu fréquentes dans le Corridor, mais les pluies verglaçantes localisées se produisent plus fréquemment à l'automne et au printemps. Des conditions de gel peuvent aussi entraîner l'apparition de givre sur les rails. Si la glace s'accumule sur les câbles de la caténaire aérienne ou sur le pantographe, elle influe à la fois sur le captage du courant et sur le comportement dynamique des deux éléments.

Il existe trois méthodes fondamentales d'enlèvement (ou de prévention) de la glace qui ont été employées, soit seules, soit combinées, sur les chemins de fer électrifiés :

- l'application d'agents préventifs;
- le chauffage des câbles;
- les méthodes mécaniques.

Le choix le plus vraisemblable pour le Corridor canadien est le chauffage électrique préventif par l'introduction du déséquilibre de tension entre phases (dans des sous-stations voisines), bien que des méthodes mécaniques puissent être nécessaires dans un triage ou une gare avec des voies multiples. Cette question est traitée plus amplement à l'annexe TA-4.

Autres questions : choix des matériaux

Les conditions climatiques du corridor Québec-Windsor sont difficiles mais ne devraient pas poser de problèmes insurmontables, à la condition que les fournisseurs de systèmes et de sous-ensembles soient conscients des conditions et de leurs conséquences pour l'adaptation de la conception. Un exemple qui peut être cité est le choix des matériaux. La réduction de l'élasticité et l'accroissement de la fragilité de certains matériaux à de basses températures constituent des problèmes évidents de conception. Le durcissement du caoutchouc peut empêcher l'étanchéité des portières aux courants d'air. La fragilité accrue des gaines de câbles pourrait entraîner des fissures. L'augmentation de la viscosité des huiles peut entraîner une perte de lubrification des parties rotatives lors d'un démarrage à froid.

Il faudrait tôt ou tard effectuer un examen complet de la conception en fonction des conditions dans le Corridor avant de mettre en oeuvre un train rapide. Ne pas porter attention à de tels détails dans le choix des matériaux signifie qu'il se produira sans aucun doute des défaillances et des pannes de matériel qui auraient pu être évitées ainsi que des interruptions de service et des désagréments pour les voyageurs.

Comparaison des conditions climatiques

Le tableau 5.2 compare certaines conditions climatiques du corridor Québec-Windsor avec celles des régions desservies par les lignes rapides du TGV en France et du X-2000 en Suède. Les exploitants et les fournisseurs de même que les organismes publics n'ont fourni que très peu des données climatiques qui leur ont été demandées aux fins de la présente étude.

Le tableau 5.3 résume l'impact des diverses conditions climatiques sur les principaux sous-ensembles d'un système de train rapide. En ventilant les problèmes climatiques en diverses conditions défavorables distinctes, il est possible d'examiner systématiquement l'impact de chacune de ces conditions sur un élément quelconque de matériel. En fait, dans le cadre d'un examen de conception bien mené, il faudrait examiner les répercussions de ces conditions sur les composants de façon beaucoup plus détaillée, afin que ceux-ci soient bien conçus pour leur résister.

TABLEAU 5.2
COMPARAISON DES PRINCIPALES CONDITIONS CLIMATIQUES

CANADA	Degrés-jours	Moyenne des jours avec vent > 64 km/h	Moyenne des jours avec rafales > 60 km/h	Plus forte chute de neige (cm)	Chute de neige totale moy. (cm)	Pluie totale moyenne (mm)	Temp. max. moyenne (juil., °C)	Temp. min. moyenne (janv., °C)	Temp. la plus basse (°C)	Temp. la plus élevée (°C)	Jours de pluie verglaçante (moy.)	Jours avec orage (moy.)
Québec	1 130	6,5	29,8	33,0	319	836	25,2	-16,7	-28,7	31,2	148	22,4
Trois-Riv.	1 045	S.O.	S.O.	27,2	224	853	25,4	-16,2	-30,3	31,3	68	13,5
Montréal	826	4,9	32,0	30,7	218	750	26,5	-14,6	-26,7	32,0	119	23,5
Ottawa	941	3,0	20,9	26,7	216	652	26,6	-15,5	-27,7	32,6	166	23,5
Kingston	600	2,7	29,3	30,0	187	750	25,0	-11,7	-24,7	30,7	95	28,5
Toronto	483	8,9	38,6	39,9	140	675	26,7	-10,3	-22,1	33,1	90	31,4
London	466	S.O.	S.O.	40,6	225	808	26,1	-9,6	-21,3	32,2	139	S.O.
Windsor	275	6,1	34,9	36,8	127	803	27,6	-7,5	-17,2	34,0	109	34,4
FRANCE												
Paris	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	Précipitations totales : 564 mm		24,4	+0,6	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Lyon	*	*	*	*	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	*	*	*	*
Tours	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
SUÈDE												
Stockholm	1 000	S.O.	S.O.	S.O.	Précipitations totales : 569 mm		22,0	-6,0	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Göteborg	700	*	*	*	Précipitations totales : 736 mm		20,0	-3,0	*	*	*	*

TABLEAU 5.3
TABLEAU SYNOPTIQUE DES EFFETS CLIMATIQUES

NOM ET DESCRIPTION DU MATÉRIEL	CODE DE CONDITION CLIMATIQUE											
	AG	VF	CGD	TEB	GET	TPC	PV	NF	AN	O	FP	BS
Locomotives		X		X	X	X	X	X				X
Voitures de voyageurs		X		X	X	X	X	X				X
Signalisation et contrôle du trafic	X			X	X				X	X	X	X
Alimentation et distribution	X	X		X			X	X		X		X
Caténaire aérienne	X	X	X	X	X		X			X		X
Voies	X		X	X	X		X		X		X	
Ballast et plateforme			X		X				X		X	
Viaduc	X		X	X	X				X		X	X
Installation d'entretien			X	X	X		X		X	X	X	
Légende : AG = accumulation de glace; VF = vents forts; CGD = cycles gel-dégel; TEB = températures extrêmement basses; GET = grands écarts de température; TPC = températures près du point de congélation; PV = pluie verglaçante; NF = neige fondante; AN = accumulation de neige; O = orages; FP = fortes pluies; HS = humidité saline.												

6. ÉVALUATION DE L'ÉTAT DE LA R-D

Le chapitre 6 résume les résultats des recherches à l'égard de l'évaluation des activités actuelles de R-D reliées aux technologies représentatives et qui sont pertinentes pour instauration et exploitation dans le contexte canadien, ou qui pourraient l'être. Le chapitre résume aussi les thèmes de R-D reliés à la mise en oeuvre du train rapide au Canada et qui font, ou qui pourraient faire l'objet de recherches de la part de Canadiens.

Il faudra régler toute une gamme de questions d'ordre réglementaire et institutionnel liées directement au corridor Québec-Ontario, avant que les technologies candidates puissent être appliquées et exploitées. En conséquence, la R-D devient un instrument de choix pour favoriser le transfert fructueux de ces technologies.

L'état de la R-D actuelle, qui est particulièrement pertinente pour la conception, la mise en oeuvre et l'exploitation dans le Corridor canadien, a été évalué dans le cadre de l'examen des technologies. L'accent a été mis sur la détermination des activités visant à réduire les coûts d'immobilisations et à améliorer la rentabilité et l'efficacité des systèmes représentatifs (ou susceptibles de le faire), ainsi que sur l'estimation des répercussions éventuelles de ces activités sur les investissements requis. Les visites sur place en France, en Italie, en Allemagne et en Suède ont facilité l'exploration approfondie des activités actuelles et prévues de R-D.

Les résultats de ces examens sont relativement positifs en ce qui concerne les trains rapides proprement dits, mais moins en ce qui a trait aux infrastructures. Il est clair que le fait que les deux fournisseurs ont l'intention de produire des versions de leur matériel qui seront entièrement conformes aux règles de sécurité du cadre d'exploitation ferroviaire canadien aura des répercussions majeures sur le coût global du système, dans la mesure où il permettra une exploitation à basse vitesse sur des voies partagées en milieu urbain et l'exploitation sur un tracé partagé à de plus grandes vitesses sans barrières de déflexion. L'exploitation à cette vitesse avec passages à niveau, bien qu'elle ne soit pas souhaitable, sera au moins acceptable dans certaines circonstances.

Cela dit, il faut souligner que la plupart des initiatives *actives* de R-D touchant actuellement les trains rapides, en général, et les deux technologies représentatives, en particulier, ne représentent guère d'intérêt précis pour le Canada. Les initiatives françaises en cours portent presque exclusivement sur l'augmentation de la capacité et des performances; elles pourraient bien aboutir à une amélioration du rendement financier pour les ajouts au réseau existant grâce à des produits de transport mieux positionnés, mais elles ne font à peu près rien pour réduire les coûts initiaux dans un Corridor autonome avec des conditions de terrain et de climat difficiles et des perspectives de commercialisation marginales.

En Suède, une grande variété de projets de R-D viennent tout juste d'être menés à bien où se poursuivent actuellement au nom de la SJ et (ou) de la BV, parfois en collaboration avec d'autres organismes de l'État suédois. Le tableau 6.1 résume ces activités.

Il est tout à fait probable que le Canada devra investir dans la R-D pour résoudre les problèmes propres à son tracé. Le Consortium de la recherche sur le transport rapide de surface a été créé à cette fin, bien qu'il ne travaille jusqu'ici que sur la technologie du TGV et sur aucune technologie de train pendulaire. Les grandes lignes d'une sélection représentative de domaines et sujets de recherche sont présentées plus loin, accompagnées de la justification de leur utilité pour la mise en oeuvre d'un train rapide au Canada. Il est à prévoir qu'au moins une partie des propositions portant sur ces sujets seront financés et donneront lieu à des résultats précieux qui amélioreront la possibilité de mise en oeuvre du train rapide dans le corridor Québec-Windsor.

Les domaines et projets de recherche sont classés en trois grands thèmes. Ce classement souligne le rapport entre ces activités et les deux interfaces critiques des trains rapides, soit :

- entre le véhicule et la voie;
- entre le véhicule et l'alimentation.

6.1 Gestion de l'interface véhicule-voie

Justification : La gestion efficace des interactions entre le véhicule et la voie est fondamentale à la prestation d'un service de transport sécuritaire et confortable à toute vitesse, mais particulièrement dans le cas des technologies de transport terrestre à grande vitesse. Ce thème, de concert avec la géométrie du tracé à grande échelle et la géométrie de la voie à petite échelle, comprend le confort de roulement, la conception de la suspension, la configuration des rames, la conception de la structure des véhicules, la propulsion, le freinage, le contrôle de l'adhérence, la stabilité de la plateforme et de la superstructure de la voie ainsi que la conception des ponts, des tunnels et des autres structures. Ce thème est aussi directement lié à un certain nombre de questions environnementales, et tout particulièrement à la production de bruit à des vitesses faibles ou moyennes.

TABLEAU 6.1
PROJETS DE R-D RÉCENTS ET COURANTS
DE L'ADMINISTRATION FERROVIAIRE NATIONALE
DE SUÈDE

ORGANISME	ÉTAT	OBJET
Institut de recherche suédois sur les routes et le trafic	Terminé	Analyse et évaluation des risques dans le secteur ferroviaire (financé conjointement avec la SJ et l'Inspection des chemins de fer)
	Terminé	Évaluation de l'efficacité de l'isolation en mousse plastique
	Terminé	Mise au point d'un programme informatique pour calculer la géométrie des voies et des branchements
	Actif	Analyse des risques du transport des marchandises dangereuses par route et par rail (financé conjointement par la SJ et l'Office nationale suédois de sauvetage)
Université technique de Luleå	Terminé	Les effets des diverses métallurgies employées pour les rails sur la fragilité et la résistance à la fatigue
	Actif	Étude sur la conception des machines à creuser les tunnels et sur la rentabilité dans les conditions suédoises
Université technique royale	Actif	Étude de la mécanique des sols et du roc dans les remblais et les déblais ferroviaires
	Actif	Études actuelles sur les problèmes d'ingénierie à connotation ferroviaire
	Actif	Mise au point d'un programme de simulation du comportement dynamique des superstructures de voies
Université technique Chalmers	Actif	Étude sur les interactions dynamiques entre la voie et le train
Institut géotechnique national suédois	Actif	Étude sur les normes de la Suède et de la CEE en matière de ponts et d'autres structures
	Actif	Système de détection et d'avertissement des glissements de terrain
	Actif	Étude des techniques de mesure et d'analyse des pressions de l'eau interstitielle

6.1.1 Domaines de recherche

Stabilité de la plateforme et de la superstructure de la voie

Pour obtenir et conserver une surface de roulement uniforme (interface roue-rail), il faut que la plateforme et la superstructure de la voie soient essentiellement stables. Les voies ferroviaires existantes sont sujettes à d'importants désalignements et déformations saisonniers attribuables au cycle gel-dégel, à l'érosion par l'eau courante, à l'effet de pompage attribuable à un drainage insuffisant, aux effets des variations saisonnières de l'humidité sur les argiles à trame expansible et sur les sols organiques comme la tourbe, ainsi que les effets à long terme de l'application de charges instantanées dépassant la capacité portante de la plateforme. Aucun de ces problèmes n'est impossible à résoudre grâce aux moyens actuels de la géotechnique, mais les conséquences à de tels recours sur le coût du cycle de vie risquent de rendre les systèmes de train rapide hors de prix. Cela est particulièrement vrai s'il est envisagé de partager une emprise ferroviaire ou un autre type d'emprise existants, car pratiquement tous les tracés dans le corridor Québec-Windsor sont touchés par au moins une partie des conditions énumérées plus haut.

Projets possibles :

- Techniques non invasives améliorées afin de repérer et de définir l'état de la plateforme, particulièrement pour les tronçons de voie sujets à un ou plusieurs modes de défaillance qui réduisent la stabilité.

Avantages attendus : possibilité de déterminer de façon fiable les tronçons des tracés existants sur lesquels il faudra atténuer des problèmes particuliers qui réduisent la stabilité de la voie. Un tel projet permettrait d'effectuer des arbitrages coûts-avantages explicites entre les nouveaux tracés et les tracés existants, ainsi qu'entre les tracés existants lorsqu'il en existe plusieurs. Si elles sont entièrement fiables, ces techniques pourraient entraîner une réduction importante des coûts du cycle de vie de l'aménagement de la plateforme, de la construction de la voie et de l'entretien. Elles devraient aussi avoir des applications plus larges en géotechnique.

- Des techniques d'atténuation plus rentables pour corriger les défauts de la plateforme et autres qui entraînent une instabilité de la superstructure de la voie.

Avantages attendus : baisse des coûts du système, aisance accrue de sa construction et de son entretien. Des techniques in situ qui n'exigent pas d'excavation, d'enlèvement et de remplacement de matériaux existants ou qui réduisent le plus possible ces exigences, peuvent offrir les plus grands avantages, particulièrement pour la construction dans les tracés existants (actifs). Cette technique pourrait aussi réduire, au moins, les répercussions environnementales pendant la construction.

- Amélioration de la conception de la superstructure de la voie afin de réduire au minimum les effets du gel, de la saturation des sols et des autres sources d'instabilité de la plateforme, tout en maintenant ou en améliorant la rentabilité

Avantages attendus : réduction des coûts du cycle de vie; disponibilité accrue des voies pour l'exploitation; compatibilité accrue avec des trains à plus grande vitesse dans l'avenir.

- Amélioration des techniques pour réaliser et maintenir des modules de voie uniformes aux structures de transition comme les viaducs, les ponts et tunnels, les branchements et les liaisons, etc.

Avantages attendus : amélioration de la qualité de roulement; diminution des contraintes dynamiques sur la voie aux transitions et donc amélioration de la sécurité et réduction des frais d'entretien; compatibilité accrue avec la circulation à plus grande vitesse.

Contrôle de l'adhérence

Justification : ce domaine de recherche influe sur la propulsion et le freinage du véhicule ou de la rame et est donc essentiel pour la sécurité d'exploitation, la performance (pour ce qui est du taux d'accélération et de décélération et de la vitesse maximale), du poids maximal du train, de l'espacement minimal et du contrôle de la déclivité. Bien que des grands progrès aient été faits en ce domaine depuis 20 ans, il faut se pencher sur les effets sur l'adhérence, au Canada, des conditions climatiques (pluie, neige, glace) et autres (par exemple, feuilles humides à l'automne, invasions de chenilles ou d'autres insectes). Avant de lancer un service commercial, il faudra d'abord établir la sécurité de l'exploitation dans les conditions canadiennes.

Projets possibles :

- Amélioration de la métallurgie roue-rail

Avantages attendus : une stratégie pour accroître le degré d'adhérence disponible pour l'accélération et le freinage consiste à améliorer l'ajustement tribologique entre la roue et le rail, en reconnaissant qu'il y aura des arbitrages à réaliser entre la réduction au minimum de la résistance au roulement et la maximisation de l'adhérence. Il pourrait être possible, toutefois, d'améliorer de façon importante le régime à haute vitesse (200 km/h et plus) étant donné la prédominance du vent comme source de résistance au roulement à cette vitesse et au-delà. Les améliorations, particulièrement en ce qui a trait au maintien de l'adhérence utile dans des conditions climatiques et autres conditions environnementales défavorables, pourraient offrir des avantages importants pour la sécurité et la fiabilité du système.

- Techniques de freinage non limitées par l'adhérence

Avantages attendus : les techniques de freinage utilisées pour le freinage de service des technologies de train rapide, y compris le freinage rhéostatique, sont toutes limitées par l'adhérence. Les freins à courants de Foucault, qui emploient la force magnétique agissant sur les rails, ne sont pas limités par l'adhérence mais entraînent un réchauffement des rails et, avec des applications répétées sur un tronçon de voie donné, peuvent entraîner une perte de résistance des rails et donc des risques. Les freins à courants de Foucault ne sont donc utilisés que comme freins d'urgence dans certaines technologies. Toutefois, un

freinage qui n'est pas limité par l'adhérence et qui est efficace à grande vitesse est très attrayant dans l'optique de la sécurité et pourrait permettre de surmonter d'éventuelles limites climatiques et environnementales de l'exploitation du système.

○ Amélioration de la conception des freins

Avantages attendus : c'est là un important sujet de recherche en Europe, notamment les travaux sur les freins effectués pour le compte de GEC-Alsthom dans le cadre de son initiative de super-TGV. Les principaux objectifs sont des taux améliorés de dissipation de l'énergie, une tolérance améliorée pour l'application en courts cycles, la diminution de la masse et des dimensions matérielles et la diminution de la résistance au vent.

Stabilité et efficacité du véhicule à grande vitesse

Projets possibles :

○ Réduction de la masse du véhicule, de la masse du bogie et de la masse non suspendue

Avantages attendus : avec l'augmentation de la vitesse, le contrôle de la masse du véhicule et, en particulier, de la masse partiellement suspendue et non suspendue, devient très important. La famille du TGV fonctionne avec une charge maximale par essieu de 17 tonnes et environ 2,2 tonnes de masse non suspendue par essieu. Le train de série 300 de Shinkansen a une charge par essieu maximale de seulement 11,3 tonnes et une masse non suspendue de 1,86 tonne par essieu, bien qu'avec une structure de véhicule moins rigide. Il est clair qu'il y a matière à réduction de la masse. Il faut toutefois tenir compte du coût de matériaux légers perfectionnés, particulièrement les composites, qui sont généralement plus chers que les composants de métaux, tant au départ que sur la base du cycle de vie. Par ailleurs, la recherche pour réduire la masse des véhicules peut tenir compte de la compatibilité réglementaire et de la sécurité du système.

○ Amélioration de la suspension secondaire

Avantages attendus : pour offrir au voyageur un confort de roulement acceptable à très grande vitesse, il faut entretenir les voies selon des tolérances considérablement plus rigoureuses que celles qui sont dictées par la sécurité d'exploitation. L'amélioration de la suspension secondaire, particulièrement par l'utilisation d'une suspension secondaire active, pourrait permettre l'assouplissement de certaines tolérances de construction et une réduction de l'entretien pour l'exploitation aux vitesses actuelles, ainsi que la possibilité d'atteindre de plus grandes vitesses avec les mêmes tolérances de construction et le même niveau d'entretien.

○ Amélioration de la stabilité des bogies à grande vitesse

Avantages attendus : la clé de la sécurité à grande vitesse est la stabilité du comportement des bogies (l'élimination de l'oscillation et des autres modes instables). La

plupart des bogies actuels à grande vitesse dépendent d'amortisseurs hydrauliques pour limiter les lacets. Il reste à déterminer la performance de ces amortisseurs dans les conditions canadiennes. Par ailleurs, une meilleure stabilité face aux lacets par l'ajout d'amortisseurs (comme cela a été fait pour la rame du TGV-A-325 lorsque celui-ci a établi un record de 515,3 km/h) accroît la complexité et les exigences de l'entretien du bogie et en réduit aussi la performance dans les courbes. L'un des principaux arbitrages à faire sur la stabilité des bogies est entre la rigidité nécessaire pour réduire les lacets à grande vitesse et la souplesse nécessaire pour améliorer le roulement dans les courbes.

○ Contrôle et activation de l'inclinaison de la caisse à très grande vitesse

Avantages attendus : pour permettre l'exploitation du potentiel de vitesse de générations futures de matériel sur l'infrastructure à grande vitesse construite pour les vitesses actuelles ou imminentes sans nécessiter d'importantes modifications de l'infrastructure tout en maintenant le confort des voyageurs, il faudra améliorer la compensation de l'accélération. Deux stratégies possibles viennent spontanément à l'esprit : l'utilisation d'une suspension secondaire active pour compenser l'écart de la compression de la suspension dans les courbes, ce qui permettrait d'augmenter le dévers effectif de 25 à 75 mm par rapport à la situation actuelle, et (ou) l'ajout de l'inclinaison active du châssis, qui pourrait offrir jusqu'à 200 mm de dévers effectif. Les principaux problèmes seraient le contrôle de la masse ajoutée et la complexité du sous-ensemble de contrôle et d'activation de l'inclinaison, la vérification de la stabilité acceptable du véhicule lorsqu'il est incliné et lorsqu'il est dans un mode d'échec possible de l'inclinaison et, enfin, la détermination d'une stratégie acceptable de contrôle de l'inclinaison.

○ Amélioration de l'aérodynamique du véhicule

Avantages attendus : la résistance au vent domine toutes les autres sources de résistance au roulement à des vitesses supérieures à 200 km/h. Elle est aussi la première source de bruit au-delà de cette vitesse, et de nombreux composants du bruit aérodynamique augmentent à la sixième puissance ou plus par rapport à la vitesse. C'est donc là un problème majeur pour les générations futures de technologies. Toute modification visant à réduire la résistance au vent contribuera de façon importante à la rentabilité globale de la technologie pour ce qui est de la consommation d'énergie, du besoin de puissance de propulsion installée, de la taille des sous-ensembles d'alimentation et de conditionnement d'alimentation, et des exigences d'atténuation du bruit. Par ailleurs, s'il est possible de réduire la coupe transversale du véhicule, il est aussi possible de réduire la taille des tunnels.

Amélioration de la conception des structures

Projets possibles :

○ Amélioration de la rentabilité par l'uniformisation de la conception des ouvrages de franchissement

Avantages attendus : la mise en oeuvre d'un train rapide dans le corridor Québec-Windsor entraînera la fermeture, le contournement ou l'aménagement en ouvrages de franchissement d'au-delà d'un millier de passages à niveau avec des routes publiques et privées. Sur la seule ligne Montréal-Ottawa-Toronto, il y a environ 365 passages à niveau publics. Même si le train rapide peut traiter ces passages de la même façon qu'une route à accès limité, il y aura des centaines de croisements étagés. Le coût de construction de ces croisements doit être réduit au minimum grâce à l'élaboration d'un nombre restreint de conceptions standard, dont les composantes peuvent être produites en série dans des installations spécialisées et montées en chantier. Cette méthode permettra aussi aux équipes de montage d'être plus efficaces.

6.2 Gestion de l'interface véhicule-alimentation

L'alimentation fiable et rentable des rames pose des difficultés majeures à la progression continue des vitesses des technologies roue-sur-rail. L'incapacité apparente d'y arriver est la principale raison pour laquelle les projets de MAGLEV ont adopté une propulsion linéaire à voie active, système où la voie est beaucoup plus coûteuse que lorsqu'elle est passive et combinée à des véhicules actifs. Les principaux problèmes consistent à établir et à maintenir un contact continu entre le pantographe et la caténaire, à réduire au minimum et à atténuer le mouvement de la caténaire causé par le véhicule, à réduire le plus possible les exigences de puissance de pointe par l'amélioration de la conception du véhicule et l'optimisation de l'exploitation, et à réduire les frais d'alimentation, de conditionnement et de consommation sur le cycle de vie par l'amélioration de la conception et de la construction des sous-ensembles.

Projets possibles :

- Étude du comportement des caténaires et des pantographes à haute vitesse dans les conditions climatiques canadiennes

Avantages attendus : une telle étude est fondamentale à la mise en oeuvre d'un train rapide dans le Corridor canadien. Il faut tenir compte de la glace, des fortes chutes de neige et de pluie, des orages et des vents forts. Il sera nécessaire d'effectuer une étude expérimentale et analytique du comportement des caténaires et des pantographes. Cette étude pourrait utiliser les résultats des études actuelles sur les basses vitesses.

- Optimisation de la conception des caténaires et des pantographes en fonction des conditions canadiennes

Avantages attendus : il s'agit ici de réduire le plus possible les coûts du cycle de vie et de rendre plus aisée la construction et l'entretien. L'expérience de l'électrification de Tumbler Ridge sera pertinente.

- Étude des stratégies et des techniques de contrôle actif des pantographes

Avantages attendus : c'est là un autre domaine de recherche majeur chez les fournisseurs et les exploitants de train rapide dans le monde entier. Le contrôle amélioré du contact entre la caténaire et le pantographe assure une alimentation fiable, une réduction de l'usure de la caténaire et du pantographe et la réduction du bruit attribuable à la production d'étincelles. Il s'agit là de l'une des améliorations techniques valorisantes pour l'exploitation à 350 km/h et plus.

6.3 Réduction et atténuation des impacts environnementaux

Pour qu'un projet de train rapide dans le corridor Québec-Windsor puisse être accepté, il faudra réduire le plus possible les répercussions environnementales et atténuer de façon efficace celles qui ne peuvent être évitées par un choix judicieux du tracé, une bonne conception et une bonne construction. Il existe deux principaux groupes de répercussions :

- Les répercussions qui se produisent pendant la construction et qui sont semblables à celles qui accompagnent n'importe quel grand projet de construction de ligne;
- Les répercussions en cours de service, qui sont plus ou moins propres à la technologie et à la stratégie d'exploitation.

Les premières, notamment celles qui influent sur la qualité de l'eau, de l'air et de l'habitat, feront l'objet de litiges et exigeront un grand effort consciencieux de la part des concepteurs et des constructeurs, mais sont peu susceptibles d'exiger d'importantes innovations technologiques.

La deuxième catégorie de répercussions, comme le bruit et les vibrations, les champs électromagnétiques, la dégradation localisée de la qualité de l'air et l'augmentation du bruit et de l'engorgement dans le voisinage des gares, exigera le même soin à l'égard des détails mais est aussi susceptible de nécessiter de nouvelles études techniques.

Les champs électromagnétiques en constituent un bon exemple. Bien qu'il n'existe pas encore de preuves irréfutables (ou même reproductibles) liant l'exposition à des champs de courants alternatifs à quelque conséquence épidémiologique que ce soit, les champs électromagnétiques suscitent beaucoup de désinformation et d'hystérie dans le public. Il y a aussi un manque de données objectives sur la nature et l'importance des champs associés à une caténaire de 25 kV 60 Hz et aux technologies mêmes du train rapide. Il faudra au moins effectuer des mesures rigoureuses des champs électriques et magnétiques sous la caténaire de l'intérieur des divers types de véhicules afin de déterminer l'envergure du problème et de le mettre dans le contexte de l'exposition aux champs électromagnétiques dans la vie courante.

Bien que le bruit et les vibrations soient mieux compris dans un sens théorique, il existe peu de données facilement accessibles et crédibles à leur sujet. Ici encore, il faudra effectuer des mesures quant à chacune des technologies et le tracé pour réunir des renseignements de base et concevoir ensuite des mesures d'atténuation appropriées lorsqu'elles se révèlent nécessaires.

Projets possibles :

- Mesure des champs électromagnétiques sous les caténaires à des tensions et des types de courant différents (monophasé 2x 25 kV, 50 ou 60 Hz, triphasé 25 kV 60 Hz, 15 kV 16 2/3 Hz, 1,5 kV courant continu, etc.)
- Mesure des champs électromagnétiques dans les véhicules du train rapide et sur la voie (TGV, ICE, série 300 de Shinkansen, ETR 450, ETR 500, X-2000, etc.)¹⁴
- Mesure du bruit et des vibrations dans les sols à proximité de lignes où circulent des trains rapides et des trains classiques, de façon indépendante et en mode partagé, à des vitesses de 50 km/h jusqu'à la pleine vitesse d'exploitation.
- Étude de l'effet technique et de la rentabilité de diverses stratégies d'atténuation du bruit des trains classiques et des trains rapides dans les zones urbanisées.

¹⁴

Il existe actuellement un projet pour faire précisément ces mesures qui est financé par plusieurs organismes du gouvernement américain. Les mesures à bord du TGV ont été terminées à l'automne 1992, et le rapport sur cette partie de l'étude doit paraître prochainement.

7. QUESTIONS ENVIRONNEMENTALES

Il était prévu dès l'abord qu'il y aurait trois répercussions environnementales importantes de nature technologique associées à l'exploitation des systèmes de train rapide : le bruit, les vibrations et les champs électromagnétiques. Il existe des données sur ces trois sujets à l'égard des deux technologies représentatives, mais même avec la collaboration des fournisseurs et des exploitants, les renseignements demeurent plutôt minces.

Toutefois, malgré cette limite, il est devenu clair que les vibrations ne constitueront pas un problème général, à condition que les normes soient respectées dans la construction de l'infrastructure et l'entretien des rames, des voies et des caténaires. Il pourrait y avoir des problèmes de vibration très localisés (par exemple, si le tracé du train rapide passe près d'un laboratoire d'analyse qui utilise des instruments très sensibles), mais l'expérience des réseaux de transport et des autres exploitants canadiens indique qu'il est possible d'en atténuer les effets à un coût raisonnable. Il serait indiqué de prévoir un montant forfaitaire pour cet aspect de l'atténuation.

De même, il existe très peu de données sur les champs électromagnétiques associées à l'une ou l'autre des technologies représentatives, mais certaines données sur le TGV sont disponibles maintenant. ERM, un entrepreneur du projet national MAGLEV des États-Unis, a récemment (mi-septembre 1992) terminé des mesures de contrôle des champs électromagnétiques dans l'unité motrice et les voitures de voyageurs du TGV et à divers points de la voie, notamment à une sous-station d'alimentation. Un exemplaire du rapport de voyage du consultant, contenant certains résultats très préliminaires qui ont été élaborés pour être présentés aux Français, ainsi qu'un exemplaire d'un document préparé par la SNCF à ce sujet, sont disponibles. Toutefois, comme tous ces documents font l'objet de l'accord de non-divulgaration conclu entre le CIGGT et NMI, il est impossible de les distribuer avant qu'ils soient officiellement publiés (ce qui devrait se produire bientôt).

Les résultats préliminaires semblent très encourageants, car les intensités des champs électromagnétiques et leurs caractéristiques sont comparables à celles rencontrées dans les activités quotidiennes. L'examen de ces documents n'a révélé aucun indice d'intensité de champ exceptionnellement élevé à quelque endroit que ce soit des voitures de voyageurs ou de l'unité motrice. Un exemplaire du rapport final a été demandé dès sa parution.

Bien qu'il n'existe pas encore de preuves irréfutables (ou même reproductibles) liant l'exposition à des champs de courants alternatifs à quelque conséquence épidémiologique que ce soit, les champs électromagnétiques suscitent beaucoup de désinformation et d'hystérie dans le public. Il y a aussi un manque de données objectives sur la nature et l'importance des champs associés aux caténaires et aux technologies mêmes du train rapide, bien que cette dernière lacune soit en voie d'être comblée.

La situation est assez différente à l'égard du bruit. Il est évident que celui-ci aura les plus grandes répercussions sur l'exploitation et qu'il pourrait avoir une influence majeure sur les vitesses réalisables en zone urbaine. Il est possible d'atténuer le bruit, mais à un coût important. La situation est compliquée par le fait que les niveaux de bruit ambiant dans les emprises ferroviaires existantes (actives) dépassent généralement déjà les limites

imposées par les municipalités, mais il n'y a que très peu de données disponibles sur l'importance et les caractéristiques du milieu ambiant. Il est donc impossible d'évaluer avec précision l'effet marginal de l'exploitation d'un train rapide dans ces tracés.

Normes et règlements actuels en matière de bruit

Les experts-conseils en matière de bruit consultés aux fins de la présente étude, LGL et associés, ont déterminé qu'au moins quatre normes et directives seraient pertinentes en matière de bruit, telles que résumées dans le tableau 7.1. Il est à noter que de nombreuses activités actuelles, comme des services ferroviaires ordinaires, peuvent ne pas respecter ces normes.

TABLEAU 7.1 : NORMES ET DIRECTIVES APPLICABLES EN MATIÈRE DE BRUIT		
Administration	Source	Limites de bruit
Ville de Montréal	Règlement 4996	$L_{Aeq\ 7h}$ de 60 dBA de 7 h à 23 h et 50 dBA de 23 h 01 à 6 h 59 ^a
Province de l'Ontario	Model Municipal Noise Control Bylaw - Final Report (publication NPC-131)	$L_{Aeq\ 16h}$ de 55 dBA de 7 h à 23 h et $L_{Aeq\ 8h}$ de 50 dBA de 23 h 01 à 6 h 59 ^b
Province de Québec	Ministère de l'Environnement	$L_{Aeq\ 24h}$ de 55 dBA pour les nouvelles sources mobiles
SCHL	Le bruit du trafic routier et ferroviaire : ses effets sur l'habitation	$L_{Aeq\ 24h}$ de 55 dBA pour les espaces récréatifs
a) Les valeurs citées concernent le niveau maximum d'intensité d'un bruit normalisé tel que stipulé par le règlement. Le bruit normalisé est déterminé selon le niveau de bruit ambiant, la durée d'émission du bruit intermittent mesuré et le type de bruit. b) La publication citée traite des conditions de bruit sur les lieux d'un projet résidentiel ou d'un autre projet sensible au bruit en milieu urbain; les limites concernent les niveaux sonores extérieurs.		

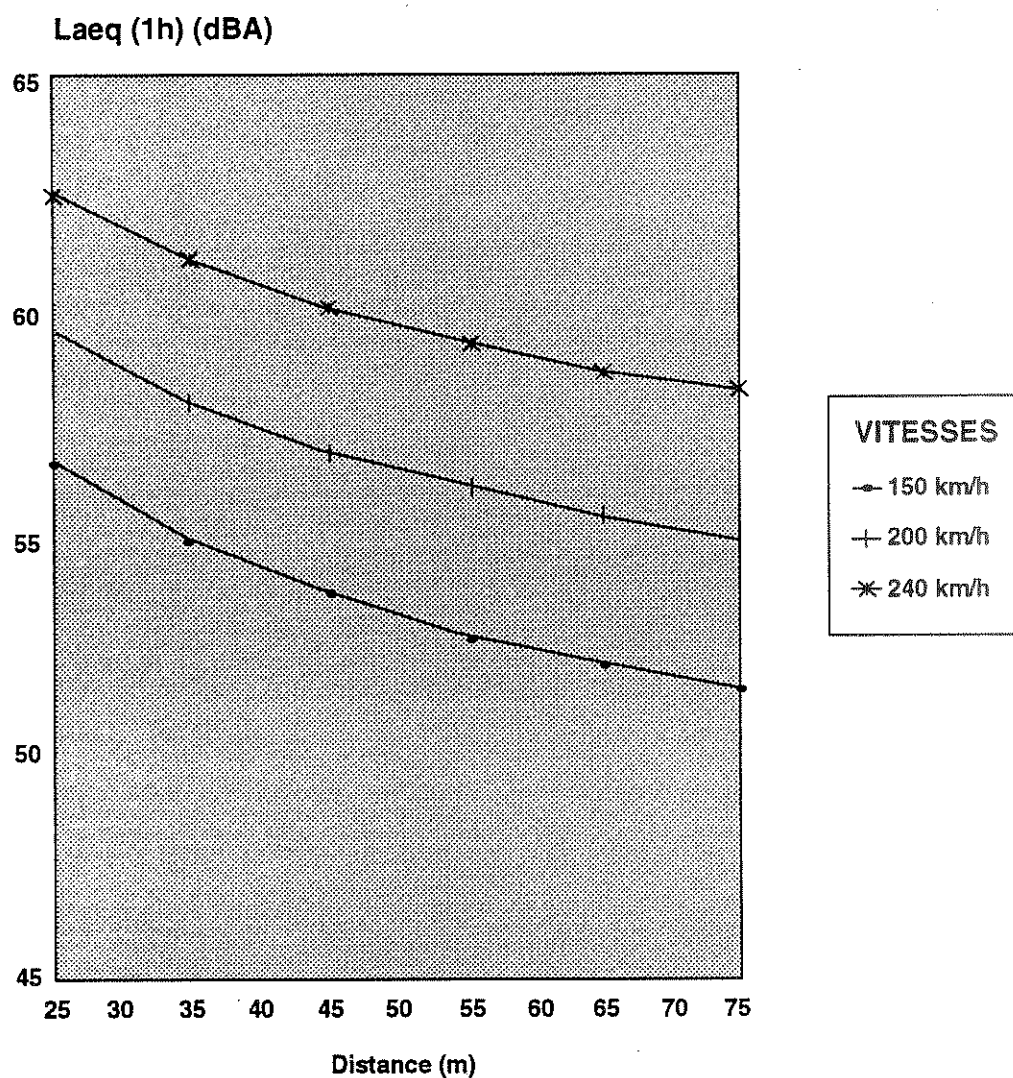
Estimation des niveaux de bruit du train rapide

Par la suite, LGL a pu calculer les niveaux de bruit $L_{Aeq\ 1h}$ du X-2000 et du TGV à partir de données fournies par les fournisseurs respectifs et tirées des écrits sur le sujet. Les figures 7.1 et 7.2 montrent respectivement les résultats de ces analyses. La vitesse maximale du X-2000 est 240 km/h, tandis que celle du TGV est 300 km/h. Ces résultats sont pour un train à l'heure, sans tenir compte de la directivité. Des renseignements supplémentaires sont à l'annexe TA-6.

Il convient d'interpréter ces résultats avec prudence pour les raisons suivantes :

- Le bruit maximum L_{Amax} dépend de la qualité de la roue et de la table de roulement (une mauvaise géométrie de la voie ou des roues défectueuses accroissent le bruit), du type de structure de la voie (voie ballastée ou dalle, traverses en béton et attaches élastiques ou traverses en bois et crampons hors tôle) et de la longueur et de la configuration du train (p. ex., locomotive à l'avant ou à l'arrière).

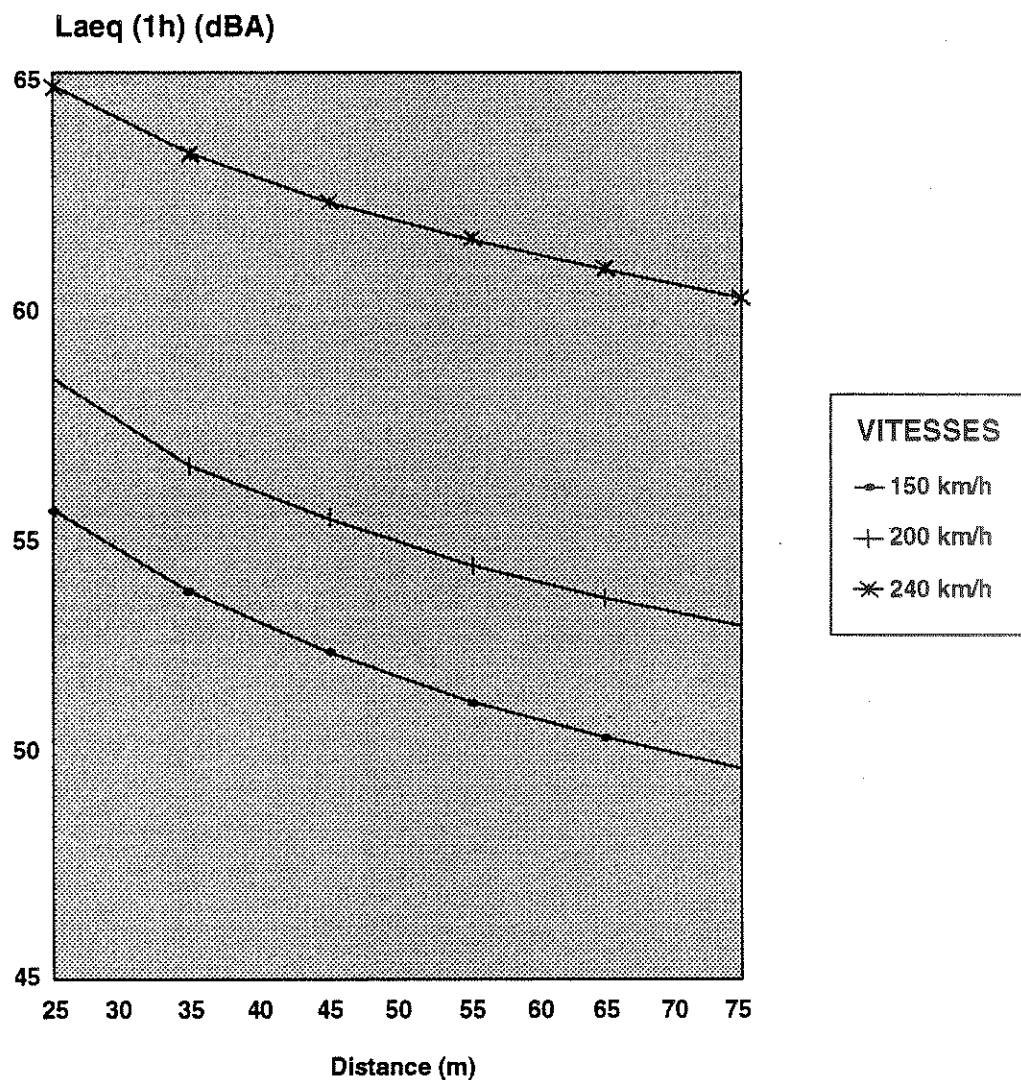
NIVEAUX ACOUSTIQUES ÉQUIVALENTS L_{Aeq} (1h) POUR LE PASSAGE D'UN TRAIN
 Longueur du X2000 : 140 m
 Configuration du train : 1 unité motrice 2003 + 4 voitures de voyageurs;
 voie : indéterminée



1. Le L_{Aeq} (1h) est basé sur la formule de l'article de SOFRERAIL.
2. $L_{A, max}$ de la figure 2 du rapport n° TR P9213 (essai pour le bruit sur la Neubahnstrecke en Allemagne) sauf pour la vitesse de 150 km/h (voir l'article de SOFRERAIL)

FIGURE 7.1 : Niveau de bruit du passage d'un train L_{Aeq1h} pour le X-2000

NIVEAUX ACOUSTIQUES ÉQUIVALENTS L_{Aeq} (1h) POUR LE PASSAGE D'UN TRAIN
Longueur du TGV-A : 240 m
Configuration du train : 2 unités motrices + 2 voitures de transition + 28 voitures de voyageurs;
voie : ballast et traverses au niveau



1. Le L_{Aeq} (1h) est basé sur la formule de l'article de SOFRERAIL.
2. L_a , max de la figure 4 du rapport n° 291550-1 par C. Hanson sauf pour la vitesse de 150 km/h (voir l'article de SOFRERAIL)

FIGURE 7.2 : Niveau de bruit du passage d'un train $L_{Aeq,1h}$ pour le TGV-A

- Le bruit équivalent $L_{Aeq\ 1h}$ du passage d'un train dépend de L_{Amax} , de la longueur du train, de la distance entre la voie et le récepteur du bruit, de la vitesse du train et (pour une valeur autre qu'une heure), la valeur de T dans $L_{Aeq\ T}$.
- Les résultats sont estimés pour un champ sonore libre et sont valables pour des distances de 25 à 75 m sur terrain réfléchissant plat.
- Pour plusieurs trains par heure, $L_{Aeq\ 1h} (x\ trains) = L_{Aeq\ 1h} (1\ train) + 10 \log x$.

Atténuation du bruit

Bien que l'atténuation du bruit à la source soit la technique d'atténuation la plus élégante, des méthodes plus pragmatiques se révèlent souvent nécessaires. Les ouvrages antibruit et les bermes situés à proximité de la voie constituent une technique efficace largement utilisée en France et ailleurs. Dans certaines circonstances particulières, comme le tracé de la voie du TGV-Atlantique à l'approche de Paris-Montparnasse et dans un certain nombre de lieux le long des nouvelles lignes rapides en Allemagne. Il peut être nécessaire de faire passer les voies en tranchée profonde ou même en tranchée couverte.

En général, un ouvrage antibruit ou une berme de 2 m suffit à atténuer le bruit causé par le contact entre les roues et les rails ou par toute autre source de bruit située en dessous du sommet de l'ouvrage. Toutefois, si c'est surtout le bruit aérodynamique qui pose un problème, comme c'est le cas pour le TGV à pleine vitesse, il peut être nécessaire d'ériger des ouvrages plus hauts. Il en va particulièrement ainsi lorsque le bruit causé par un mauvais contact entre le pantographe et la caténaire pose un problème, comme dans le cas du Shinkansen.

Ce sujet est traité de façon plus approfondie dans les rapports de l'expert-conseil sur le choix du trafic et sur l'infrastructure.