

**MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC  
ONTARIO MINISTRY OF TRANSPORTATION  
TRANSPORTS CANADA**

**Étude d'actualisation concernant la faisabilité d'un train à haute  
vitesse dans le corridor Québec – Windsor**

**Livrable No 04-Examen de la technologie de THV disponible**







Ministère des Transports du Québec  
Ontario Ministry of Transportation  
Transports Canada

Étude d'actualisation concernant la faisabilité d'un train haute vitesse dans le corridor Québec - Windsor

Livrable no. 04- Examen de la technologie de THV disponible

Préparé par :

Dipl.-Ing. Ottmar Grein  
Chef de groupe, Technologie

Approuvé par :

Bernard-André Genest, ing., P. Eng., Ph. D.  
Chargé de projet

018 16788  
PEO 15994019

### EcoTrain

1060, rue University, bureau 600  
Montréal (Québec) Canada H3B 4V3  
Téléphone : 514.281.1010  
Télécopieur : 514.281.1060  
Courriel : [info@dessau.com](mailto:info@dessau.com)  
Site Web : [www.dessau.com](http://www.dessau.com)



EcoTrain



## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	1
<b>1. LE THV AUJOURD'HUI.....</b>	<b>3</b>
1.1 Des lignes de THV spécialement construites.....	4
1.2 Les principales technologies de THV .....	6
1.2.1 Japon : le Shinkansen (1964).....	6
1.2.2 France: le TGV (1981).....	8
1.2.3 Allemagne : l'ICE (1991).....	9
1.3 D'autres systèmes de THV.....	10
1.3.1 Italie (1981) .....	10
1.3.2 Espagne (1992).....	11
1.3.3 Belgique (1997).....	11
1.3.4 États-Unis (2000).....	12
1.3.5 Royaume-Uni (2003).....	13
1.3.6 Corée du Sud (2004).....	14
1.3.7 Taïwan (2007) .....	14
1.3.8 Chine (2008).....	14
1.3.9 Turquie (2009).....	15
1.3.10 Russie (2010).....	15
1.4 Interopérabilité et Adaptabilité.....	16
1.4.1 Interopérabilité.....	16
1.4.2 Adaptabilité.....	18
1.4.2.1 Belgique : Rame à tensions multiples .....	18
1.4.2.2 États-Unis : Véhicules compatibles FRA.....	19
1.4.2.3 Russie : Écartement des voies et largeur des véhicules changés .....	19
1.5 Le Maglev.....	19
<b>2. LE THV: EXIGENCES TECHNIQUES ET OPTIONS .....</b>	<b>21</b>
2.1 Le véhicule .....	21
2.1.1 Configuration typique .....	21
2.1.1.1 Compartiment voyageurs .....	22
2.1.1.2 Articulation .....	23
2.1.2 Équipement électrique embarqué.....	24
2.1.2.1 Puissance installée.....	24
2.1.2.2 Source d'énergie .....	24



2.1.2.3	Motorisation concentrée .....	27
2.1.2.4	Motorisation distribuée .....	28
2.1.3	<i>Trains pendulaires</i> .....	29
2.2	La voie .....	32
2.2.1	<i>L'utilisation et le partage des voies</i> .....	32
2.2.2	<i>Voie nouvelle pour la haute vitesse</i> .....	33
2.2.2.1	Voie conventionnelle sur ballast .....	34
2.2.2.2	Voie sur dalle .....	37
2.2.2.3	Comparaison entre les technologies de voies .....	38
2.3	L'énergie .....	40
2.3.1	<i>Sources d'énergie possibles</i> .....	40
2.3.2	<i>Alimentation et distribution d'énergie</i> .....	40
2.3.2.1	Pour les trains diesel .....	41
2.3.2.2	Pour les trains électriques .....	41
2.3.3	<i>Alimentation et distribution électriques</i> .....	42
2.4	La signalisation .....	45
2.4.1	<i>Fonctions du système</i> .....	45
2.4.2	<i>Systèmes disponibles</i> .....	46
2.4.3	<i>Système de signalisation représentatif</i> .....	48
2.4.4	<i>Composantes du système</i> .....	49
2.4.4.1	Le centre de contrôle radio (CCR) .....	51
2.4.4.2	Système radio GSM-R .....	51
2.4.5	<i>Intégration à des systèmes existants</i> .....	52
2.4.5.1	Tous les trains fonctionnent avec le système de signalisation existant non modifié .....	52
2.4.5.2	Tous les trains fonctionnent exclusivement avec le nouveau ERTMS niveau 2 .....	52
2.4.5.3	Tous les trains fonctionnent avec le système ERTMS-1 superposé au système existant .....	52
2.4.5.4	Les THV sont les seuls à fonctionner avec l'ERTMS-1 superposé au système existant .....	53
2.5	La protection du système .....	54
2.5.1	<i>Partage de voies</i> .....	54
2.5.1.1	Partage avec le trafic de marchandises .....	54
2.5.1.2	Partage avec les trains de banlieue et autre trafic voyageurs .....	57
2.5.2	<i>Partage d'emprise</i> .....	57
2.5.3	<i>Passages à niveau routiers</i> .....	57
2.5.4	<i>Clôturer les voies de THV</i> .....	59
2.5.5	<i>Sécurité</i> .....	60
2.6	Les exigences géométriques .....	60



3. CONTRAINTES ET EXIGENCES DU CORRIDOR .....	62
3.1 Distances .....	61
3.2 Exploitation hivernale .....	61
3.2.1 Situation climatique du corridor .....	62
3.2.2 Problèmes causés au véhicule et leurs solutions possibles .....	64
3.2.3 Problèmes causés aux voies et leurs solutions possibles .....	66
3.2.3.1 Déneigement .....	66
3.2.3.2 Gel dans la couche supérieure de plateforme .....	67
3.2.3.3 Aiguillages .....	69
3.2.3.4 Voies aux quais d'embarquement .....	72
3.2.4 Problèmes causés aux systèmes de traction et leurs solutions possibles .....	74
3.2.5 Problèmes causés au système de signalisation et leurs solutions .....	76
3.3 Infrastructure ferroviaire existante : potentiel et problèmes .....	77
3.3.1 Le réseau .....	78
3.3.2 La propriété .....	78
3.3.3 Les tracés et la géométrie .....	78
3.3.4 Les passages à niveau et de ferme .....	79
3.3.5 Électrification .....	79
3.3.6 Signalisation .....	80
3.4 Interopérabilité .....	80
4. TECHNOLOGIES REPRÉSENTATIVES .....	83
4.1 La nécessité de technologies représentatives .....	81
4.1.1 Les technologies représentatives dans l'ÉPTRQO .....	82
4.1.2 Les technologies représentatives pour l'étude actuelle .....	82
4.1.2.1 Pourquoi le F200+? .....	82
4.1.2.2 Pourquoi le E300+? .....	83
4.1.2.3 Qu'en est-il des technologies intermédiaires? .....	83
4.1.2.4 Technologies représentatives, non définitives .....	84
4.1.2.5 Exclusion du Maglev .....	84
4.2 Critères de sélection .....	85
5. LA TECHNOLOGIE REPRÉSENTATIVE F200+ .....	91
5.1 Véhicule .....	89
5.1.1 Les véhicules F200+ existants .....	89
5.1.2 Technologies candidates pour le F200+ .....	90
5.1.3 Le véhicule représentatif choisi pour le F200+ .....	92



5.2	Autres sous-systèmes .....	95
5.2.1	Voie .....	94
5.2.2	Source d'énergie .....	94
5.2.3	Signalisation .....	94
5.2.4	Protection du système .....	94
5.2.5	Exigences géométriques .....	94
5.3	Adaptabilité aux contraintes du Corridor .....	94
<b>6.</b>	<b>LA TECHNOLOGIE REPRÉSENTATIVE E300+ .....</b>	<b>97</b>
6.1	Véhicule .....	95
6.1.1	Les véhicules E300+ existants .....	95
6.1.2	Technologies candidates du E300+ .....	96
6.1.3	Le véhicule représentatif choisi pour le E300+ .....	97
6.2	Autres sous-systèmes .....	99
6.2.1	Voie .....	99
6.2.2	Source d'énergie .....	99
6.2.3	Signalisation .....	99
6.2.4	Protection du système .....	99
6.2.5	Exigences géométriques .....	99
6.3	Adaptabilité aux contraintes du Corridor .....	99
<b>7.</b>	<b>LA ROUTE À VENIR: ANALYSES SUBSÉQUENTES .....</b>	<b>102</b>
7.1	Tracé et alignement .....	101
7.2	Les coûts de construction .....	101
7.3	Coûts d'exploitation .....	101
7.4	Prévisions d'achalandage .....	102
7.5	Analyse des impacts sur l'environnement .....	102
7.6	Recommandation sur la technologie .....	102
7.7	Conception d'un système de THV canadien .....	102
7.7.1	Évolution du THV de 2009-20?? .....	102
7.7.2	Spécifications canadiennes .....	103
7.7.3	Fabrication canadienne .....	103

ANNEXE A : LIGNES DE THV DANS LE MONDE AUJOURD'HUI ..... 105

ANNEXE B : INVENTAIRE MONDIAL DES VÉHICULES DE THV ..... 107

ANNEXE C : COMPARAISON TECHNIQUE DES VOIES FERRÉES SUR BALLAST ET SUR DALLE 112

ANNEXE D : SYSTÈMES EXISTANTS DE SIGNALISATION POUR LES THV ..... 116

ANNEXE E : CRITÈRES SECONDAIRES POUR L'ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES F200+ ..... 127

ANNEXE F : CRITÈRES SECONDAIRES POUR L'ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES E300+ ..... 129

ANNEXE G : TECHNOLOGIES CANDIDATES POUR LE F200+ ..... 131

ANNEXE H : RÉSULTATS D'ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES CANDIDATES F200+ ..... 132

ANNEXE I : TECHNOLOGIES CANDIDATES POUR LE E300+ ..... 143

ANNEXE J : RÉSULTATS D'ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES CANDIDATES E300+ ..... 145

ANNEXE K : GLOSSAIRE DES TERMES FERROVIAIRES..... 155

ANNEXE L : PRINCIPALES NORMES INTERNATIONALES DE CEM ..... 157

ANNEXE M : PRINCIPES FONDAMENTAUX POUR LES RAILS SOUDÉS EN CONTINU ..... 159

ANNEXE N : COMPARAISON DES VOIES SUR BALLAST ET SUR DALLE ..... 166

ANNEXE O : RISQUES D'ADAPTATION DE LA TECHNOLOGIE AUX RISQUES DU CORRIDOR 168

ANNEXE P : INSTALLATIONS D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE ..... 171

ANNEXE Q : ATELIER SUR LES TECHNOLOGIES PENDULAIRES..... 179

ANNEXE R : ATELIER SUR L'EXPLOITATION HIVERNALE ..... 188

ANNEXE S : ATELIER SUR LA SIGNALISATION ..... 196



## Tableaux et figures

Tableau 1 : Lignes à haute vitesse (en km) dans le monde – Septembre 2008 (inc. Mini Shinkansen) (UIC, [4]).....	4
Tableau 2 : L'Étendue de la vitesse du réseau ICE en 2007 .....	10
Tableau 3 : Réduction du temps de trajet accomplie par les trains pendulaires comparativement aux trains conventionnels (Profilidis [6]) .....	31
Tableau 4 : Systèmes existants de signalisation et de contrôle des trains (UIC, [12]).....	48
Tableau 5 : Villes dotées de train à haute vitesse planifié ou en opération – température quotidienne moyenne en °C <sup>20</sup> (Traduire les villes, pays et les mois, puisque le tableau est copié à titre d'image) ...	63
Tableau 6 : Villes dotées de train à haute vitesse planifié ou en opération – Moyenne de jours sous la barre des 0°C (Internet, [15]) .....	63
Tableau 7 : Villes dotées de train à haute vitesse planifié ou en opération – Moyenne de jours sous la barre des -17 °C (* -15 °C) (Internet, [15]).....	64
Tableau 8 : Villes dotées de train à haute vitesse planifié ou en opération – Moyenne de précipitations (cm) (Internet, [15]) .....	64
Tableau 9 : Évaluation de train - Échelle d'estimation .....	88
Figure 1 : Les lignes de THV en Europe (Wikipedia, [5]) .....	5
Figure 2 : Les lignes DE THV en Asie (Wikipedia, [5]) .....	6
Figure 3 : Systèmes européens de signalisation et d'Électrification.....	17
Figure 4 : Train articulé .....	23
Figure 5 : Train composé de voitures non articulées .....	23
Figure 6 : Équipements embarqués de traction concentrés.....	27
Figure 7 : Équipements embarqués de traction distribués .....	28
Figure 8 : Voie sur Ballast et sur Dalle (Mißler, [8]).....	34
Figure 9 : Voie sur Ballast, TGV Est (Rießberger, [9]) .....	35
Figure 10 : Voie sur Ballast, KTX, Corée du Sud (Rießberger, [9]).....	35
Figure 11 : Coupe transversale d'une voie sur Ballast (Mißler, [8]).....	36
Figure 12 : Coupe transversale typique d'une voie sur dalle (System Rheda 2000) (Rail One, [10]).....	37
Figure 13 : Voie sur dalle, Ligne de Beijing à Tianjin (Bögl, [11]).....	38
Figure 14 : Caténaire – Ligne haute vitesse Cologne - Francfort.....	43
Figure 15 : Diagramme schématique de distribution <sup>19</sup> .....	45
Figure 16 : Système conventionnel de signalisation .....	46
Figure 17 : ERTMS Niveau 1 .....	49
Figure 18 : ERTMS Niveau 2 .....	50
Figure 19 : Train de marchandises à 160 km/h sur une section de la ligne haute vitesse Fulda-Würzburg ..	55
Figure 20 : impact de différentes vitesses de train sur la capacité.....	55
Figure 21 : Répartition programmée des trains pendant les jours ouvrables sur la ligne haute vitesse Hanovre Würzburg, section Göttingen-Kassel, 2003 (en rouge : trains à haute vitesse – axe vertical : nombre de trains/heure – axe horizontal : heures de passage).....	56
Figure 22 : Accident à un passage à niveau en Grande-Bretagne .....	58
Figure 23 : Accident à un passage à niveau Acela Cook, [13]).....	59
Figure 24 : Équipement de dégivrage (IRJ, [17]).....	65
Figure 25 : Couche protectrice et système de drainage (DB AG, [18]) .....	68
Figure 26 : Parties mobiles des aiguillages.....	69
Figure 27 : Voie de croisement .....	70



Figure 28 : Croisement haute vitesse, DB AG .....	71
Figure 29 : Voies principales et voies d'embarquement à la gare Limburg sur la voie haute vitesse Francfort-Cologne .....	72
Figure 30 : Le ramassage de ballast (Rießberger, [9]).....	73
Figure 31 : Interpolation des résultats pour d'autres technologies : l'exemple du E200+ .....	84
Figure 32 : Technologies existantes de type F200+ .....	90
Figure 33 : Technologies candidates pour le F200+ .....	91
Figure 34 : Résultats d'évaluation pour le concept de train F200+ .....	92
Figure 35 : Technologies existantes E300+ .....	96
Figure 36 : technologies candidates e300+ .....	97
Figure 37 : Résultats de l'évaluation des concepts de trains E300+ .....	97







## INTRODUCTION

Ce document constitue le rapport final du Livrable 4, *Examen de la technologie de THV disponible* («l'étude actuelle»). Les objectifs du travail réalisé dans le cadre du Livrable 4 sont, selon les termes du mandat :

- ⊕ «Examiner la technologie de THV disponible avec les paramètres d'ingénierie et les livrables, selon la vitesse, la durée de trajet et les paramètres opérationnels ;
- ⊕ Recommander au Comité directeur les technologies de THV à inclure ou exclure, selon le cas.»

Ce faisant, ce livrable mettra à jour les résultats de la composante de l'*Étude sur le projet de train rapide Québec - Ontario* (ÉPTRQO) sur la technologie, en examinant les technologies de THV disponibles à ce jour et en identifiant celles qui doivent être retenues pour étude plus poussée.

Pour débiter, un examen relativement étendu des technologies disponibles a été effectué en considérant leur potentiel d'application pour exploitation dans le corridor Québec-Windsor. Les résultats de cet examen sont présentés dans la Section 1, complétée par l'annexe A.

Dans le cadre de cet examen, les composantes et exigences typiques d'un système de THV furent identifiées (tel que requis pour l'estimation des coûts) et font l'objet de la Section 2. Ces composantes incluent :

- ⊕ Le véhicule : compléments d'information à l'annexe B ;
- ⊕ La voie : compléments d'information à l'annexe C ;
- ⊕ L'alimentation et la distribution d'énergie ;
- ⊕ La signalisation : compléments d'information à l'annexe D ;
- ⊕ La protection du système comprenant les mesures et dispositifs de sécurité aux points où le THV interagit avec son environnement immédiat;
- ⊕ Les exigences géométriques.

La Section 3 traite des contraintes et exigences que toute technologie de THV doit respecter pour être exploitée régulièrement, de façons sécuritaire et fiable dans le Corridor Québec-Windsor.

La Section 4 explique le concept de *technologie représentative* et l'usage qu'on en fait pour les analyses subséquentes (tracés, temps de trajet, coûts, etc.) dans l'étude actuelle.

Les Sections 5 et 6, respectivement, décrivent les deux technologies représentatives retenues, nommées F200+ et E300+. Les raisons de leur choix sont expliquées en détail dans les annexes E et F.

La Section 7 discute plus en détail de l'utilisation prévue des technologies représentatives dans les livrables subséquents de l'étude actuelle.



## 1 LE THV AUJOURD'HUI

La plupart des intervenants s'entendent pour définir le Train à Haute vitesse (THV) comme un système de transport voyageurs utilisant la technologie ferroviaire moderne et circulant à une vitesse maximale d'exploitation de 200 km/h ou plus.

Aujourd'hui, le THV est un mode de transport connu et fréquemment utilisé dans un nombre croissant de pays. Des réseaux nationaux se développent et offrent un service de haute qualité reliant les régions, spécialement en Europe.

Il existe plusieurs définitions de THV.

- ⊕ La *Federal Railway Administration*, l'organisme de réglementation ferroviaire aux États-Unis, (<http://www.fra.dot.gov/us/content/31>) définit le train à haute vitesse comme suit :
  - «Le train à haute vitesse (THV) est une famille d'options de transport qui répond aux besoins de voyageurs qui doivent parcourir de plus longues distances dans les couloirs à forte densité de population. L'implantation du THV encouragera le développement économique (notamment de nouveaux emplois manufacturiers), créera de nouveaux choix de transport pour les voyageurs en plus des transports par avion et automobile, réduira la dépendance nationale au pétrole et favorisera des collectivités urbaines et rurales plus agréables à vivre. Avec l'achèvement réussi des phases initiales du projet de transport offrant un service de train Amtrak roulant à 150 km/h, connu sous le nom d'*Acela*, entre Washington, New York et Boston, les efforts ont largement dépassé le cadre du NEC. Un certain nombre de corridors THV sont prévus par les États allant de la modernisation de lignes ferroviaires existantes à de toute nouvelles lignes de chemin de fer consacrées exclusivement aux trains circulant entre 150 et 250 km/h» (traduction libre).
- ⊕ L'U.I.C. (Union internationale des Chemins de fer), dont VIA Rail et Amtrak sont membres, donne la définition suivante (<http://www.uic.org/spip.php?article971>) :
  - «THV : des services qui sont régulièrement exploités à 250 km/h ou plus sur de nouvelles voies ou à 200 km/h sur des voies existantes. Un certain nombre de caractéristiques sont communes à la plupart des systèmes de train à haute vitesse. La plupart sont à traction électrique alimentée par caténaire, bien qu'il ne s'agisse pas nécessairement d'une caractéristique essentielle; d'autres formes de traction, telles les locomotives diesel, peuvent être utilisées, comme dans les services de HST de Grande-Bretagne. L'utilisation du rail soudé continu est une caractéristique définie, qui réduit les vibrations de voie et les écarts entre les segments de voie suffisamment pour permettre aux trains de circuler à des vitesses supérieures à 200 km/h. Les rayons de courbure seront le facteur limitatif ultime de la vitesse du train, l'inconfort des passagers étant souvent plus important que le risque de déraillement : le rayon des courbes excède souvent un rayon de 5 km, selon la vitesse de



conception, l'inclinaison et les forces estimées acceptables pour les passagers. Bien qu'il existe quelques exceptions, la politique d'élimination des passages à niveau est adoptée presque mondialement, de même que des aiguillages de conception avancée utilisant des angles d'entrée faibles, compte tenu du fait qu'on les associe aux véhicules guidés. Les trains à lévitation magnétique sont considérés comme des THV. Toutefois, leur incapacité de circuler sur des voies ferrées conventionnelles leur vaut souvent d'être classés dans une catégorie à part» (traduction libre).

### 1.1 Des lignes de THV spécialement construites

Ces dernières années, le train à haute vitesse a subi une croissance spectaculaire à l'échelle mondiale.

Le réseau mondial de lignes spécialement construites permettant des vitesses d'au moins 200 km/h a atteint 9 700 km (Annexe A) et environ 1 750 rames de trains à haute vitesse (Barrón, [3]) sont actuellement en service.

Selon les prévisions actuelles, on s'attend à ce que ce réseau à haute vitesse spécialement construit atteigne un total de 37 000 km dans les 15 années à venir, et le nombre de rames en service pourrait grimper à 5 000. La production excédera ce nombre puisque qu'une partie du parc mondial actuellement en exploitation devra être remplacée au cours des prochaines années.

**TABLEAU 1 : LIGNES À HAUTE VITESSE (EN KM) DANS LE MONDE – SEPTEMBRE 2008  
(INC. MINI SHINKANSEN) (UIC, [4])**

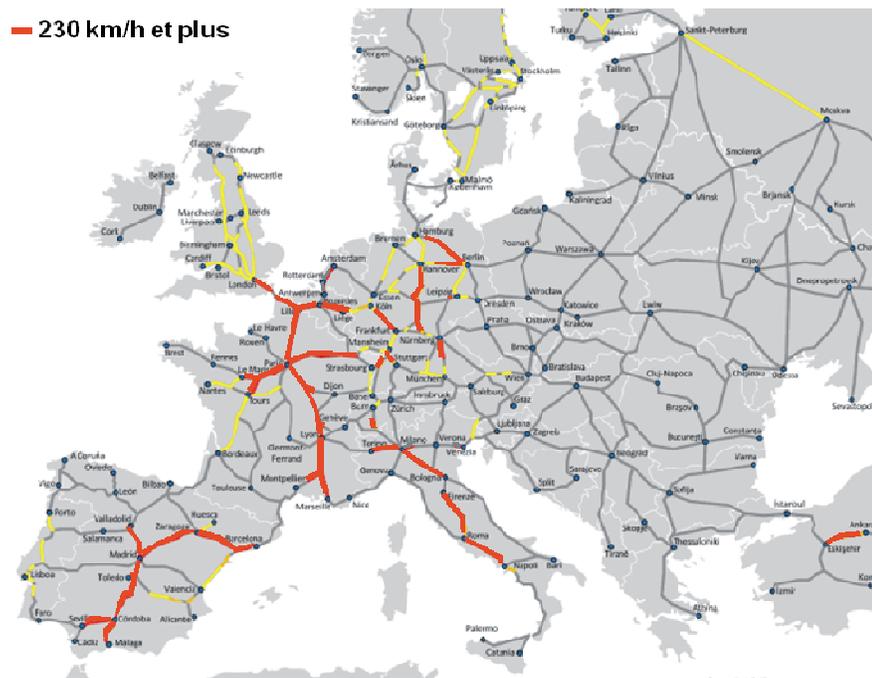
	En exploitation	En construction	Planifiées	Total
Asie	4 074	4 706	7 857	16 637
Afrique	0	0	680	680
Europe	5 598	3 479	8 501	17 578
Amérique du Nord	734	0	900	1 634
Amérique du Sud	0	0	815	815
<b>Total</b>	<b>10 406</b>	<b>8 185</b>	<b>18 753</b>	<b>37 344</b>

Source: *Union internationale des chemins de fer*, certains ajustments

Note: Les données varient selon la date et la source

Le train à haute vitesse gagne du terrain dans le monde entier. Les principaux endroits l'ayant utilisé sont le Japon (le premier pays à l'intégrer en 1964), la France (le pionnier en Europe depuis 1981), l'Allemagne (depuis 1991), l'Italie, l'Espagne, la Belgique et le Royaume-Uni. Plus récemment, les États-Unis, la Corée, la Chine, Taïwan, la Turquie et la Russie se sont joints « au club des trains à haute vitesse ». Le Portugal, la Pologne, la Suède, la Norvège, l'Iran, le Maroc, l'Arabie Saoudite, l'Argentine, le Brésil et l'Inde viennent tout juste de commencer à planifier l'intégration d'un système de trains à haute vitesse, ou sont en cours de planification. Les figures 1 et 2 illustrent les réseaux à haute vitesse actuels en Europe et en Asie.

Bien que les systèmes de trains à haute vitesse dans le monde, en exploitation ou en développement, partagent certaines caractéristiques, chacun de ces systèmes est tout de même unique. Ces systèmes varient en fonction des paramètres de la ligne (pentes, courbes, limites de vitesse), de la possibilité d'exploiter un ou plusieurs types de trains à des vitesses différentes sur la même ligne, de la densité du trafic, des objectifs commerciaux, des objectifs sociaux, des services offerts, etc.



**FIGURE 1 : Les lignes de THV en Europe (Wikipedia, [5])**

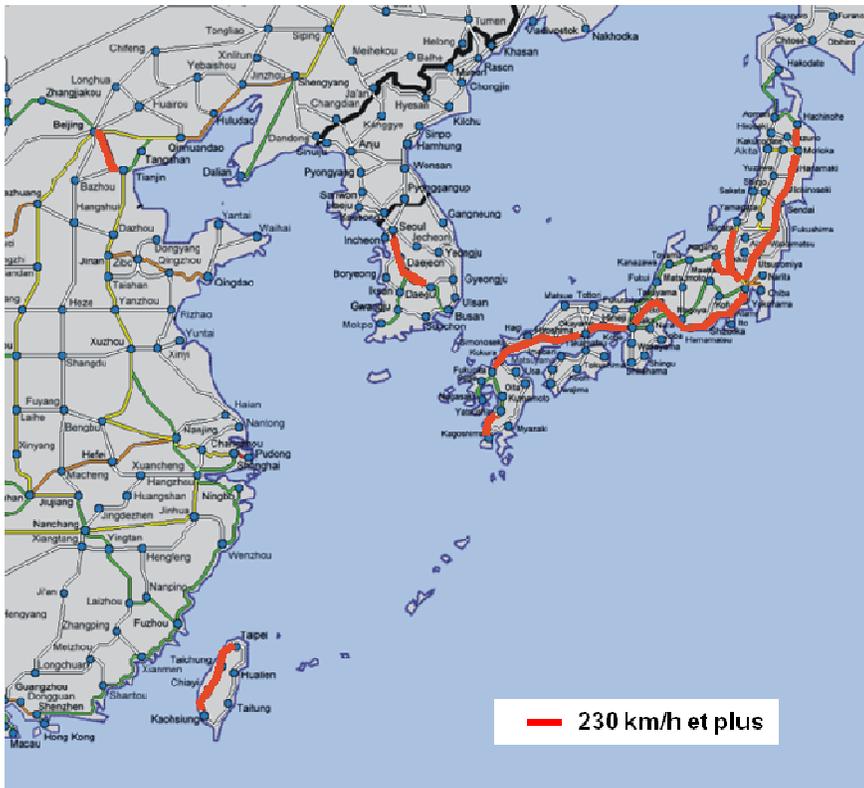


FIGURE 2 : Les lignes DE THV en Asie (Wikipedia, [5])

## 1.2 Les principales technologies de THV

Trois pays ont ouvert la voie au train à haute vitesse. Ils ont développé leur propre technologie de THV de façon indépendante et suivi des voies technologiques différentes. Ces trois pays pionniers sont le Japon, la France et l'Allemagne.

### 1.2.1 Japon : le Shinkansen (1964)

Le Japon a été le premier pays à construire des lignes de chemin de fer vouées exclusivement au train à haute vitesse. Comme le réseau existant était constitué de lignes à voie étroite, ne pouvant être adaptées à de plus hautes vitesses, le Japon avait un plus grand besoin de nouvelles lignes à haute vitesse que les pays où le réseau ferroviaire possédait un plus grand potentiel de mise à niveau. En revanche, en France et en Allemagne, les trains ont été et sont encore exploités à une vitesse pouvant atteindre 230 km/h sur des lignes conventionnelles améliorées.



En commençant par le Tokaido Shinkansen et sa vitesse maximale d'exploitation<sup>1</sup> de 210 km/h en 1964, le réseau a été développé, atteignant ainsi 2 145 km, et relie la plupart des grandes villes à des vitesses d'exploitation allant jusqu'à 300 km/h.

En comparaison de l'écartement de voie de 1067 mm des lignes existantes du réseau ferroviaire japonais, les lignes Shinkansen sont à l'écartement normal (1435 mm) et ont principalement été construites sur viaduc et en tunnel, sans aucun passage à niveau. Parce que l'écartement est différent, les lignes japonaises de THV sont complètement séparées des voies conventionnelles, et le transfert de trains entre les réseaux est impossible.

La première ligne a été construite avec voie sur ballast conventionnelle<sup>2</sup>, mais, dès 1972, de courtes



sections furent construites avec voie sur dalle. Dans les années suivantes, la part des voies sur dalle a augmenté et, depuis 1982, presque 100 % de la structure de voie des lignes exploitées est construite sur dalle.

Les lignes de Shinkansen sont électrifiées à 25kV CA 60 Hz. Initialement, un système de contrôle automatique des trains basé sur des circuits de voie a été installé. Pendant quelques années, le système de commande de train DS-ATC numérique rehaussé, également basé sur des circuits de voie, a été utilisé pour de nouvelles lignes.

Le réseau haute vitesse Shinkansen, de 2 145 km de longueur, est constitué des 6 lignes suivantes:

- Hokuriku Shinkansen (Takasaki – Nagano) 117 km ;
- Joetsu Shinkansen (Omiya – Niigata) 270 km ;
- Kyushu Shinkansen (Yatsuhiko - Kagoshima Chuo) 127 km ;
- San-yo Shinkansen (Osaka – Hakata) 554 km ;
- Tohoku Shinkansen (Omiya – Hachinohe) 562 km ;
- Tokaido Shinkansen (Tokyo – Osaka) 515 km.

<sup>1</sup> Dans cette section, la vitesse maximale d'exploitation est utilisée pour caractériser les systèmes de THV. La vitesse moyenne (distance entre deux stations divisée par le temps de trajet) dépend de la vitesse maximale d'exploitation, mais aussi de la distance entre les stations (ceci est dû à l'accélération et au freinage), des temps d'arrêt en station et des limites locales de vitesse le long de la ligne.

<sup>2</sup> Les notions de voie sur ballast et de voie sur dalle sont traitées dans la section 2.2.



Le Tokaido Shinkansen est la ligne de trains à haute vitesse la plus achalandée au monde transportant plus de 400 000 passagers par jour. Selon les dernières données disponibles, toutes les lignes du système Shinkansen ont transporté un total de 79 milliards de passagers-kilomètres en 2007.

### 1.2.2 France: le TGV (1981)

Le train à haute vitesse en France a débuté en 1981 lorsque la ligne Paris-Lyon a été inaugurée et que le train à grande vitesse (TGV) a démarré le service aux passagers à une vitesse maximale d'exploitation de 270 km/h. Depuis lors, la France a développé un vaste réseau, doté d'un rayonnement de lignes allant dans toutes les directions à partir de Paris, et la vitesse maximale d'exploitation atteint 320 km/h sur les lignes les plus récentes.

Les TGV circulent aussi de la France vers des pays voisins comme la Belgique, les Pays-Bas, l'Allemagne, la Suisse et le Royaume-Uni.

À l'instar du réseau ferroviaire français conventionnel existant, les nouvelles lignes TGV spécialement conçues sont à l'écartement normal (1435 mm), mais elles sont entièrement dénivélées. Les lignes de TGV sont intégrées au réseau conventionnel, et les trains TGV circulent aussi sur les lignes conventionnelles mais à des vitesses réduites, particulièrement à l'approche de stations. Toutefois, les trains conventionnels n'empruntent pas les nouvelles lignes TGV, en raison de leurs pentes abruptes pouvant atteindre 3,5 %.

Les nouvelles lignes TGV sont construites avec voie sur ballast conventionnelle et seules deux sections très courtes ont récemment été construites avec voie sur dalle.



Toutes les lignes TGV sont électrifiées à 25kV CA, 50 Hz.

Ce système d'électrification était déjà utilisé dans le nord de la France pour les voies principales, mais a aussi été utilisé pour des lignes TGV du sud de la France où la voie conventionnelle est électrifiée à 1500 V CC. Le système de circuit de voies TVM (Transmission voie-machine), basé sur les circuits de voie, est utilisé pour le contrôle des trains.

Présentement, la France possède le réseau haute vitesse le plus développé en Europe, constitué de 7 lignes totalisant 1 872 km :

- Sud Est (Paris - Lyon) 419 km ;
- Atlantique (Paris - Le Mans / Tours) 291 km ;
- Contournement Lyon (Contournement de Lyon) 121 km ;



- Nord Europe (Paris - Calais / Frontière belge) 346 km ;
- Interconnexion IDF (Contournement de Paris) 104 km ;
- Méditerranée (Lyon - Marseille) 259 km ;
- Est (Paris – Baudrecourt) 332 km.

En 2008, le réseau français de trains à haute vitesse a transporté près de 53 milliards de passagers-kilomètres.

### 1.2.3 Allemagne : l'ICE (1991)



Le transport ferroviaire haute vitesse allemand a débuté en juin 1991, lorsque les premiers trains *Intercity Express* (ICE) sont entrés en service, circulant à 250 km/h sur deux nouvelles lignes à partir de Hanovre jusqu'à Würzburg et de Mannheim à Stuttgart. Ces premières lignes à haute vitesse allemandes sont empruntées aussi par des trains de passagers rapides et des trains de marchandises. La plupart des lignes

récentes sont réservées à l'exploitation des trains voyageurs.

Sauf quelques exceptions, les lignes à haute vitesse sont intégrées au réseau ferroviaire allemand; tout comme les lignes conventionnelles, elles sont construites à l'écartement normal (1435 mm) et sont entièrement dénivelées. Sauf pour la ligne ICE Cologne-Rhein/Main (en raison de ses pentes allant jusqu'à 4 %), les nouvelles lignes peuvent aussi être utilisées par les trains conventionnels.

Les premières lignes à haute vitesse furent construites avec voie sur ballast, mais, aujourd'hui, les nouvelles lignes sont construites principalement avec voie sur dalle. Comme le réseau conventionnel, les lignes de THV sont électrifiées à 15 kV CA, 16<sup>2/3</sup> Hz. Le contrôle des trains est assuré par le système LZB. Les lignes futures seront munies du système électronique de contrôle des trains (ETCS).

La longueur des nouvelles lignes s'élève à environ 1 330 km. Comme les trains ICE circulent sur des lignes nouvelles, des lignes mises à niveau et des lignes conventionnelles, la longueur totale d'exploitation de l'ICE est supérieure à la longueur des sections de voies nouvelles. Depuis juin 2007, les trains ICE circulent en Allemagne sur un réseau d'une longueur totale de 6 865 km, dont 2 125 km sont des lignes nouvelles ou mises à niveau et dont la vitesse maximale d'exploitation va de 160 km/h à 300 km/h (Tableau 2 : L'étendue de la vitesse du réseau ICE en 2007). En Europe centrale, sur les réseaux des gestionnaires d'infrastructures ferroviaires autres que le gestionnaire allemand (DB Netz AG), les trains ICE desservent un itinéraire d'environ 1 280 km de longueur.

TABLEAU 2 : L'Étendue de la vitesse du réseau ICE en 2007

	≤ 160 km/h	161-200 km/h	230-320 km/h	Total
Longueur (km)	4 740	795	1 330	6 865

En 2006, le trafic ICE – s'élevant à 21,6 milliards de passagers-kilomètres – comptait pour 67 % du trafic quotidien interurbain de la DB. Le nombre de clients ICE a continuellement augmenté à travers les années, ce qui vient appuyer le choix du concept de tracés à haute vitesse qui a évolué au cours des années 1980.

### 1.3 D'autres systèmes de THV

L'exploitation de lignes haute vitesse a été introduite dans de nombreux pays particulièrement durant la dernière décennie. Ces pays ont construit des lignes de THV, mais ont principalement utilisé des technologies développées par les trois pays pionniers ou ont utilisé ces technologies comme modèle pour leurs propres développements. Une autre caractéristique adoptée par ces autres systèmes de THV est qu'ils sont tous dénivelés de la circulation routière.

Dans les paragraphes qui suivent, ces autres lignes ou réseaux THV sont brièvement décrits dans l'ordre où ils ont fait leur entrée dans le cercle des exploitants de la haute vitesse.

#### 1.3.1 Italie (1981)

La première section de la ligne de 250 km/h Rome-Florence a été mise en service en 1981, mais c'est en 1992 que les travaux de cette ligne de 250 km ont été achevés. Depuis 2006, le réseau s'est étendu jusqu'à sa longueur actuelle de 799 km avec la construction des lignes Rome – Naples et Turin - Bologne, toutes deux conçues pour une vitesse maximale d'exploitation de 300 km/h.

Les lignes de trains italiennes à haute vitesse sont à l'écartement normal (1435 mm), le même que dans le reste du réseau. La structure de voie est construite avec le système conventionnel sur ballast.

Initialement, la ligne Rome - Florence a été électrifiée à 3 000 V CC utilisé au niveau national, mais est actuellement convertie au système à 25 kV CA 50 HZ. Les deux lignes les plus récentes ont été électrifiées au départ à 25 kV CA. Le système italien SCMT constitue le nouveau système de contrôle des trains de la ligne Rome - Florence. Les deux plus récentes lignes sont équipées du système ERTMS niveau 2.





Les lignes italiennes à haute vitesse sont pleinement intégrées au réseau ferroviaire conventionnel et sont conçues pour une exploitation mixte. En conséquence, les trains à haute vitesse circulent sur les lignes conventionnelles et les trains conventionnels circulent sur les lignes à haute vitesse.

### 1.3.2 Espagne (1992)

La première ligne à haute vitesse s'étendant sur une distance de 471 km Madrid – Séville a été inaugurée en 1992 à l'occasion de l'Exposition universelle de Séville et les trains y circulent à une vitesse maximale d'exploitation de 270 km/h. À compter de 2003, le réseau a été davantage développé avec l'ajout de certaines lignes à 300 km/h, jusqu'à sa longueur actuelle de 1 515 km qui comprend les lignes suivantes :

- Madrid - Séville avec des embranchements pour Tolède et Malaga
- Madrid - Barcelone
- Madrid - Valladolid.

Le réseau est encore en développement, et dans quelques années, l'Espagne pourrait posséder le plus grand réseau haute vitesse de l'Europe.

En comparaison de l'écartement ibérique de 1 668 mm du réseau conventionnel, toutes les lignes de THV espagnoles sont à l'écartement normal et sont équipées d'une voie sur ballast conventionnelle. Elles sont électrifiées à 25 kV CA contrairement au réseau conventionnel qui est à 3 000 V CC. La première ligne Madrid – Séville et ses embranchements sont équipés du système allemand de contrôle des trains LZB. Les lignes plus récentes ont un système ERTMS niveau 2, et la ligne Madrid – Séville sera convertie à ce système lorsque le système LZB devra être remplacé.



Évidemment, les lignes de THV ne sont pas compatibles avec le réseau conventionnel compte tenu de l'écartement des rails différent et de l'électrification. En conséquence, seules des rames spéciales à double écartement et double électrification (environ 40 % du parc) peuvent passer du réseau de THV au réseau conventionnel, à quelques postes de changement d'écartement. L'exploitation des trains de marchandises sur les lignes haute vitesse est actuellement discutée, mais aucune décision n'a été prise.

### 1.3.3 Belgique (1997)

En Belgique, les THV sont exploités sur des lignes conventionnelles depuis environ 1994, mais la première ligne nouvelle à haute vitesse, de la frontière française à Bruxelles, a été mise en service seulement en 1997. En 2008, une deuxième ligne nouvelle, de Bruxelles, à la frontière allemande, a



complété le réseau à sa longueur actuelle de 173 km. Ces deux lignes sont conçues pour une vitesse maximale d'exploitation de 300 km/h. Le service sera offert sur une troisième ligne nouvelle, d'Anvers à la frontière hollandaise, à la fin de 2009.

Comme le réseau ferroviaire conventionnel, les lignes à haute vitesse belges sont construites à écartement normal. La structure de voie est construite sur ballast. En comparaison avec les 3 000 V CC du réseau conventionnel, les nouvelles lignes THV belges sont électrifiées à 25 kV CA. La ligne de Bruxelles à la frontière française est dotée du système de contrôle des trains français TVM. Une section de la ligne vers l'Allemagne est équipée du système belge TBL 2, l'autre est équipée du ERTMS Niveau 2, système qui sera aussi installé sur toutes les nouvelles lignes de THV.

Les lignes à haute vitesse belges sont entièrement intégrées au réseau ferroviaire conventionnel. Ainsi, les trains à haute vitesse peuvent circuler sur les lignes conventionnelles et les trains conventionnels peuvent circuler sur les lignes à haute vitesse.

#### 1.3.4 États-Unis (2000)

Le seul système à haute vitesse nord-américain, connu sous le nom d'*Acela Express*, a été introduit aux États-Unis en 2000 dans le Corridor Nord-Est (NEC), un trajet de 734 km entre Boston et Washington via New York.

Contrairement aux autres lignes à haute vitesse, qui ont été construites sur de nouvelles emprises, le NEC se sert des voies existantes qui ont été mises à niveau. Ces lignes furent construites il y a 100 à 150 ans, la section la plus récente ayant été ouverte en 1917. Une partie de l'infrastructure des voies existantes a été mise à niveau pour atteindre une vitesse maximale d'exploitation de 240 km/h. Il est possible d'atteindre cette vitesse seulement sur deux sections de la voie, au Rhode Island et au Massachusetts, pour une longueur totale de 29 km. Aussi, plusieurs kilomètres de voies ont été mis à niveau pour permettre de circuler à une vitesse maximale d'exploitation de 180 km/h ou de 200 km/h. Au sud de New York, la vitesse est limitée à 220 km/h ; sur plusieurs tronçons, la limite de vitesse est de 200 km/h. Compte tenu de ces limitations de vitesse, la vitesse moyenne de Boston à Washington est seulement de 138 km/h. Le tracé comporte encore 400 courbes, ce qui a rendu nécessaire l'utilisation de trains pendulaires.



Comme presque toutes les voies en Amérique du Nord, le NEC est à l'écartement normal et il est constitué d'une voie sur ballast conventionnelle. La plupart des passages à niveau ont été éliminés durant la mise à niveau pour la haute vitesse mais il reste quelques passages à niveau dans le sud-est du Connecticut qui sont spécialement protégés.



Le NEC est complètement électrifié en courant alternatif, mais est doté de trois tensions différentes : 11 kV 25 Hz, 12,5 kV 60 Hz et 25 kV 60 Hz. Le contrôle des trains utilise le système ATP (protection automatique des trains) d'Amtrak, qui constitue un développement du système standard nord-américain (US&S). De plus, il y a un système ACSES.

Le NEC est entièrement intégré au réseau ferroviaire du nord-est. Les trains de marchandises utilisent aussi les voies, et plusieurs agences de trains de banlieue offrent des services locaux dans le Corridor Nord-Est, certains trains étant électrifiés, les autres fonctionnant au diesel.

Au cours de l'année fiscale 2006, l'*Acela Express* a transporté près de 2,7 millions de passagers.

### 1.3.5 Royaume-Uni (2003)

Il n'y a qu'une ligne moderne à haute vitesse au Royaume-Uni<sup>3</sup>. Le premier tronçon de la liaison du tunnel sous la Manche jusqu'à Londres a été mis en service en 2003, et toute la ligne CTRL (Channel Tunnel Rail Link – Tunnel ferroviaire trans-Manche) s'étendant sur une longueur de 113 km était prête à être exploitée en 2007. La ligne est conçue pour une vitesse maximale d'exploitation de 300 km/h, mais la vitesse est limitée à 160 km/h dans le tunnel.



Comme la plupart des lignes ferroviaires britanniques, le CTRL est à l'écartement normal et 20 % de la ligne est équipée de voies sur dalle; la balance est équipée de voies sur ballast conventionnelle. En comparaison avec le réseau ferroviaire du sud de l'Angleterre électrifié à 750 V CC et alimenté par troisième rail, le CTRL est électrifié à 25 kV CA et alimenté par caténaire. Le système français TVM est utilisé pour le contrôle des trains.

<sup>3</sup> Vers la fin des années 70, British Rail introduisit le HST, aussi connu sous le nom d'Intercity 125. Cette rame diesel est conçue pour atteindre une vitesse de 200 km/h et, en 1987, a établi un record mondial de vitesse pour un train diesel, soit 238 km/h. Cette rame est encore utilisée dans les meilleurs services interurbains en Grande-Bretagne. Toutefois, de nos jours, pour diverses raisons (privatisation des lignes, géométrie de la voie, maintenance et mise à niveau insuffisantes des véhicules, etc.), cette rame circule rarement à la vitesse maximale d'exploitation pour laquelle elle a été conçue.



### 1.3.6 Corée du Sud (2004)

Présentement, il y n'y a qu'une seule voie haute vitesse en Corée du Sud. La première section de 330 km entre Séoul et Daegu fut mise en service en 2004, et un prolongement de 82 km entre Daegu et Busan complétera la ligne en 2010. La ligne est conçue pour une vitesse maximale d'exploitation de 300 km/h.



Comme le réseau ferroviaire conventionnel, la ligne du THV est à l'écartement normal. La majorité de la voie est sur ballast à l'exception d'un court segment de voie sur dalle dans un tunnel. La ligne est électrifiée avec le système national à 25 kV CA ; ce même système est utilisé pour l'électrification du réseau ferroviaire conventionnel. Le système de contrôle des trains à haute vitesse sud-coréen est basé sur le système français TVM/KVB.

La ligne est complètement intégrée au réseau ferroviaire sud-coréen, et les trains à haute vitesse circulent aussi sur les voies conventionnelles.

### 1.3.7 Taïwan (2007)

La longueur de la seule voie haute vitesse taïwanaise entre Taipei et Kaohsiung est de 345 km ; la ligne est exploitée à une vitesse maximale de 300 km/h. 85 % de la ligne est construite sur viaduc ou en tunnel.



Dérivés du Shinkansen, les rames mesurent 300 m de longueur et circulent à une vitesse maximale d'exploitation de 300 km/h. La voie est à l'écartement normal et est construite à 100 % de voie sur dalle et est électrifiée à 25 kV CA. C'est le système japonais DS-ATC qui est utilisé pour le contrôle des trains.

La ligne du THV est complètement séparée du réseau conventionnel à voies étroites.

### 1.3.8 Chine (2008)

La première ligne à haute vitesse chinoise d'une longueur de 115 km, entre Beijing et Tianjin, a été inaugurée à l'occasion des Jeux Olympiques en 2008. La ligne est construite presque entièrement sur viaduc et est exploitée à une vitesse maximale de 300 km/h.



Les trains à haute vitesse chinois sont dérivés de la technologie allemande ICE de Type 3 et ont une vitesse maximale d'exploitation de 350 km/h. La ligne est à l'écartement normal international. Sur quarante-seize % de sa longueur, la ligne est équipée de voie sur dalle, le reste de voie sur ballast. Comme le réseau ferroviaire conventionnel, la ligne de THV est électrifiée à 25 kV CA. Le système de contrôle des trains est basé sur l'ERTMS-niveau 1 qui a été modifié pour l'environnement ferroviaire chinois. Cette ligne en fait partie intégrante et les THV peuvent également circuler sur les voies conventionnelles.



Plus de 3 000 km de lignes sont présentement en construction en Chine et 4 000 km sont planifiés ; environ 140 rames sont en commande. Ainsi, dans quelques années, la Chine exploitera le plus grand réseau de haute vitesse ferroviaire au monde.

### 1.3.9 Turquie (2009)

En mars 2009, le premier segment de 206 km de la liaison haute vitesse Ankara - Istanbul a été inauguré entre Esenkent et Eskiehir et est exploité à une vitesse maximale de 250 km/h.

Comme le réseau ferroviaire conventionnel, la voie est à l'écartement normal. La ligne est équipée de voie sur ballast et est électrifiée avec un système à 25 kV CA qui est aussi utilisé pour l'électrification des voies principales du réseau ferroviaire turc. L'ERTMS-niveau 1 est utilisé pour le contrôle des trains. La ligne est entièrement intégrée au réseau ferroviaire national, et les trains à haute vitesse circulent aussi sur les voies conventionnelles.

### 1.3.10 Russie (2010)

Les Chemins de fer russes (RZD) se préparent au lancement de leur première ligne à haute vitesse. Sapsan, nom donné à la version russe du THV Velaro de Siemens roulant à 250 km/h, sera mise en service fin 2009 entre Moscou et Saint-Pétersbourg.

Avec une vitesse maximale d'exploitation initiale de 200 km/h, le Sapsan réduira le temps du trajet de 645 km entre les deux villes, soit du minimum actuel de 4h30 à 3h45. D'autres réductions de temps de trajet sont prévues quand toutes les sections de la ligne auront été mises au niveau de 230 km/h. Le Sapsan sera aussi exploité sur la ligne de Moscou à Nijni Novgorod.

Vers 2030, les RZD veulent avoir complété leurs trois premières lignes de THV dotées de vitesse maximale d'exploitation de 300 à 350 km/h, rayonnant de Moscou vers Saint-Pétersbourg, Nijni Novgorod et Smolensk. Les RZD veulent aussi mettre au niveau de 200 km/h les lignes de Moscou



vers le sud-est pour desservir Samara et Volgograd, vers le nord-est à Yaroslav et vers le sud via Kursk et Rostov jusqu'à Sochi, Adler et Mineralnye Vody.

Le Sapsan a déjà établi une vitesse record de 281 km/h (sous une tension de 3kV) au cours des essais entre Moscou et Saint-Pétersbourg.

Comme toutes les lignes du réseau ferroviaire russe, l'écartement est de 1 520 mm et la ligne THV est équipée de voie sur ballast. Comme les plus anciennes voies électrifiées en Russie, la voie est électrifiée à 3 000 V CC. Le contrôle des trains est assuré par le système Klub-U basé sur des circuits de voie.

## 1.4 Interopérabilité et Adaptabilité

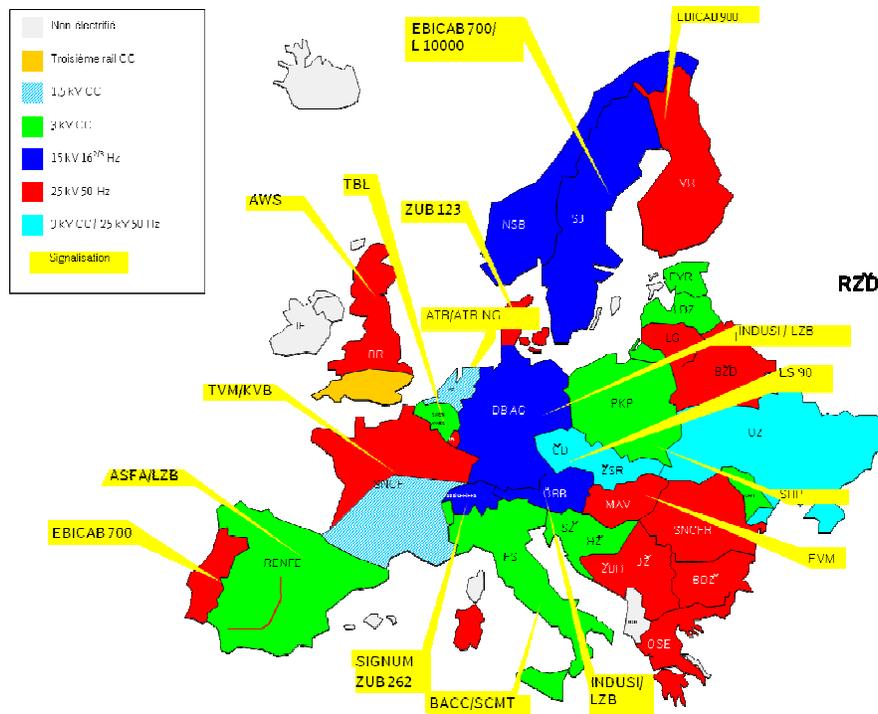
À cause des interdépendances de ses sous-systèmes, il était essentiel dans les premiers jours de l'ère des THV d'implanter des systèmes fermés: l'exploitant devait acheter d'une seule source au moins les sous-systèmes principaux (matériel roulant, alimentation électrique, signalisation et télécommunications). La croissance et la diversité des réseaux de THV ont favorisé plusieurs recherches et développements qui confèrent aux sous-systèmes du THV leurs caractéristiques d'interopérabilité et d'adaptabilité.

### 1.4.1 Interopérabilité

L'interopérabilité est la capacité d'une technologie de THV donnée d'être exploitée sur le réseau d'un autre pays : par exemple, les TGV français peuvent être exploités sur le réseau allemand et, à l'inverse, les trains allemands ICE sur le réseau français.

Les paragraphes suivants décrivent brièvement comment l'interopérabilité a été obtenue en Europe pour satisfaire les exigences en vigueur. Ce succès européen illustre bien que des concepts similaires pourraient éventuellement être appliqués au corridor Québec-Windsor.

Au cours des années, particulièrement en Europe, les réseaux ferroviaires nationaux ont développé différentes spécifications techniques relatives à leur infrastructure. Différences d'écartement, de normes d'électrification, de systèmes de sécurité et de signalisation rendent tous plus difficile et plus coûteuse l'exploitation d'un train d'un pays à un autre. Une législation particulière de l'Union Européenne a dû être développée pour promouvoir l'interopérabilité et surmonter de telles différences.



**FIGURE 3 : SYSTÈMES EUROPÉENS DE SIGNALISATION ET D'ÉLECTRIFICATION**

Avec la croissance des réseaux de THV transnationaux, la compatibilité des composants et des sous-systèmes devint cruciale. La création d'une zone européenne ferroviaire intégrée a requis une *interopérabilité* améliorée – ou la compatibilité technique – de l'infrastructure, du matériel roulant, de la signalisation et des autres systèmes ferroviaires, ainsi que des procédures moins complexes pour l'approbation du matériel roulant utilisé à travers le réseau ferroviaire européen.

C'est pour cette raison que l'Union Européenne<sup>4</sup> a déployé de grands efforts à l'égard de la Directive dite *Technical Specifications for Interoperability* (TSI). Elle définit des normes techniques et des règlements d'approbation, qui assurent la bonne marche du nouveau matériel roulant pour qu'il puisse fonctionner sur la nouvelle infrastructure partout en Europe, sans restrictions. En conséquence, les TGV français circulent de Paris à Stuttgart en service régulier ainsi que les trains ICE de Francfort à Paris.

Conformément au Traité de la CE (Articles 154 et 155), la Communauté Européenne<sup>4</sup> a la tâche de contribuer à l'établissement et au développement de réseaux transeuropéens dans le secteur des transports. Pour atteindre ces objectifs, la Communauté doit prendre les mesures nécessaires pour assurer l'interopérabilité des réseaux, particulièrement dans le domaine de la standardisation



technique. Le Conseil, qui est responsable de cette initiative, a pris une première mesure dans le secteur ferroviaire le 23 juillet 1996, quand il a adopté la Directive 96/48/CE sur l'interopérabilité du système de train à haute vitesse transeuropéen. Pour atteindre les objectifs de cette directive, le TSI a été rédigé par l'Association européenne pour l'interopérabilité ferroviaire (AEIF), qui a agi comme l'organisme commun représentatif défini dans la Directive, réunissant les représentants de gestionnaires d'infrastructure, d'exploitants et de l'industrie ferroviaires.

L'agence ferroviaire européenne joue un rôle central dans la promotion de l'interopérabilité et de l'harmonisation des normes techniques, un processus pour lequel la coopération entre les États membres de l'UE et les intervenants ferroviaires est essentielle. La nouvelle Directive 2008/57/CE d'interopérabilité ferroviaire du 17 juin 2008 établit des conditions à remplir pour réaliser l'interopérabilité du système ferroviaire dans la communauté. Ces conditions concernent la conception, la construction, la mise en service, la mise à niveau, le renouvellement, l'exploitation et la maintenance des parties de ce système ainsi que les qualifications professionnelles, les conditions de santé et de sécurité du personnel qui contribue à son exploitation et à sa maintenance. Pour être en vigueur à partir du 19 juillet 2010, la nouvelle Directive abrogera la Directive 96/48/CE sur l'interopérabilité du système ferroviaire à haute vitesse européen ainsi que la Directive 2001/16/CE sur l'interopérabilité du système ferroviaire conventionnel européen.

#### 1.4.2 Adaptabilité

Comme le nombre de lignes de THV a augmenté et s'est étendu géographiquement, il arrive de plus en plus souvent que de nouvelles lignes doivent faire face à des contraintes particulières. Par conséquent, il s'est fait considérablement de recherche et développement pour adapter la technologie de THV aux diverses exigences.

En effet, aujourd'hui, il est pris pour acquis que chaque système de THV doit être conçu pour s'adapter aux conditions particulières de son exploitation projetée. Cela touche notamment les exigences, telles les conditions d'exploitation, les conditions climatiques, les besoins de transport et les conditions légales. L'annexe O fournit une évaluation des risques concernant l'ajustement des technologies aux conditions du Corridor Québec – Windsor. Voici donc quelques exemples internationaux.

##### 1.4.2.1 Belgique : Rame à tensions multiples

Pour adopter le THV comme il a été implanté au départ en 1994, le système ferroviaire belge aurait dû modifier l'électrification de son réseau conventionnel qui est à 3 000 V CC. Plutôt, jusqu'à ce que de nouvelles lignes de THV soient construites, des rames de THV à tensions multiples ont été

<sup>4</sup> L'interopérabilité est cruciale pour l'exploitation des THV en Europe. Ce concept est d'application limitée dans le Corridor Québec-Windsor : voir Section 3.

développées et exploitées, avec de l'équipement qui leur a permis d'être alimentées à 25 kV CA quand elles circulent en France et à 3 000 V CC en Belgique. Par la suite, les trains ICE allemands ont été adaptés de façon similaire.

#### 1.4.2.2 États-Unis : Véhicules compatibles FRA

Les trains exploités sur le système ferroviaire national des États-Unis doivent observer les normes de résistance à la collision et autres règlements de la *Federal Railway Administration*. Quand Amtrak a commandé les trains à haute vitesse *Acela* pour le corridor Boston-Washington, ces exigences du FRA faisaient partie des spécifications que les constructeurs de voitures devaient respecter.

Des rames dérivées de la technologie française du TGV ont ainsi été conçues et construites avec les renforcements structuraux nécessaires et d'autres ajustements, y compris un mécanisme d'inclinaison puisque, à plusieurs endroits, la ligne existante ne pouvait être redressée pour permettre des vitesses plus élevées.

#### 1.4.2.3 Russie : Écartement des voies et largeur des véhicules changés

Le véhicule choisi pour la ligne haute vitesse entre Moscou et Saint-Petersbourg est le Velarus (ou Velaro RUS) de Siemens, basé sur la technologie ICE. Il est dérivé du Velaro-E, exploité entre Madrid et Barcelone. Les ajustements suivants ont toutefois été faits :

- ⊕ Le train de roulement a été élargi passant des 1 435 mm normaux pour en arriver aux 1 520 mm de l'écartement large russe ;
- ⊕ Le véhicule a été élargi de 330 mm pour atteindre 3 265 mm, ce qui a permis d'améliorer l'isolation pour l'exploitation en climat froid ;
- ⊕ Les équipements de captation de courant et de conditionnement d'énergie des nouveaux véhicules passeront de 3 000 V CC (la tension actuelle de la ligne) à 25 kV CA.

## 1.5 Le Maglev

La liaison aéroportuaire de Shanghai est actuellement le seul système à lévitation magnétique (Maglev) exploité commercialement dans le monde. La ligne de 30 km entre la ville et l'aéroport de Shanghai est exploitée depuis 2004. La vitesse maximale d'exploitation est de 430 km/h. La possibilité d'un prolongement de 170 km jusqu'à Hangzhou est considérée, mais aucune décision n'a été prise.

L'utilisation de la technologie Maglev a été examinée dans plusieurs corridors interurbains du monde et a été rejetée principalement pour une ou plusieurs des raisons suivantes :





- ⊕ En raison de ses exigences d'infrastructure, le Maglev n'est habituellement pas en mesure d'atteindre les centres villes sans un investissement de coûts exorbitants et sans perturbation ;
- ⊕ Pour la plupart des services interurbains, les avantages de la vitesse plus élevée du Maglev ne font pas le contrepoint à ses coûts supplémentaires si on le compare au THV ;
- ⊕ Le Maglev ne peut utiliser aucune infrastructure ni équipement ferroviaire existants.

Le Maglev pourrait représenter une solution raisonnable dans un environnement sans infrastructure ferroviaire existante et avec de grandes distances entre les stations.

À titre indicatif, en 1984, les consultants Canatrans et Transrapid International (le développeur de la technologie allemande du Maglev) ont mené une étude comparative du THV et du Maglev pour Transports Canada. Sur un tracé représentatif de Montréal à Ottawa, les coûts totaux d'implantation du Maglev se chiffraient à 238 % de ceux du THV et ses coûts d'exploitation à 200 %.

Plus récemment, le projet de ligne de TransRapid de Berlin à Hambourg a été abandonné, faute de support financier de l'État, et le projet de Maglev Californie-Nevada fait face à des difficultés financières.



## 2 THV : EXIGENCES TECHNIQUES ET OPTIONS

Les services de train à haute vitesse requièrent un niveau élevé de compatibilité entre les caractéristiques de l'infrastructure, celles du matériel roulant et des autres équipements. Les niveaux de performance, la sécurité, la qualité du service et le coût dépendent de cette compatibilité.

### 2.1 Le véhicule

Il existe une grande variété de véhicules pour les trains à haute vitesse. En exploitation commerciale, leur vitesse maximale se situe entre 200 km/h et 350 km/h, ce qui dépend directement de la vitesse de conception de la ligne sur laquelle ils circulent.

Le contenu de cette section s'applique à des véhicules dont la vitesse maximale d'exploitation va de 200 km/h à 300 km/h.

#### 2.1.1 Configuration typique

Les trains à haute vitesse sont typiquement constitués de rames réversibles dotées de cabines de contrôle à chaque extrémité permettant d'effectuer facilement et rapidement des changements de direction à la fin d'une ligne ou à un terminus. Les véhicules forment une rame attelée en permanence, dont la composition ne peut être changée en exploitation. Normalement, les trains à haute vitesse ne sont pas conçus pour être attelés à des trains conventionnels ; toutefois ils sont dotés d'attelage auxiliaire servant à être attaché à du matériel roulant conventionnel pour les cas d'urgence, par exemple pour remorquer un THV en panne.

La longueur des rames THV actuellement en exploitation varie de 55 à 450 m, les extrêmes étant de la classe suédoise X 40 et de la classe japonaise 700-3 000. Les longueurs de rames diffèrent selon les exigences relatives au nombre de places assises, à la longueur des quais d'embarquement et aux aspects techniques<sup>5</sup>.

Présentement, les longueurs de 200 m et 400 m sont devenues une norme établie pour les THV. Toutefois, les rames de 400 m de longueur sont utilisées dans des cas exceptionnels<sup>6</sup> lorsqu'un achalandage important le justifie. Des rames de 200 m – constitués approximativement de 6 à 8

<sup>5</sup> Exploiter des trains très courts en traction multiple peut occasionner des vibrations indésirables au pantographe et au fil de contact. Par conséquent, la distance entre deux pantographes consécutifs de rames à haute vitesse ne devrait pas être trop courte, en fonction de la vitesse maximale d'exploitation.

<sup>6</sup> C'est le cas pour certaines sections du Shinkansen japonais (des classes de rames 300, 500 et une partie de la classe 700). Les autres rames de l'ordre de 400 m de longueur sont le CRH 2B chinois, l'Eurostar français-britannique (par suite des limites d'intervalle dans le tunnel sous la Manche), le ICE-1 allemand, l'ETR 500 italien et le KTX coréen.



voitures non articulées ou de 8 à 10 voitures articulées – servent pour des volumes de voyageurs modérés, et sont utilisés à travers l'Europe, en Chine et au Japon.

Les données des caractéristiques mondiales du matériel roulant pour le train à haute vitesse sont présentées à l'annexe B comprenant tous les trains actuellement en exploitation, les trains en commande et les trains hors service.

### 2.1.1.1 Compartiment voyageurs

Les rames de THV sont habituellement conçues pour l'embarquement et le débarquement à niveau des voyageurs, réduisant ainsi le temps requis pour l'entrée et la sortie des passagers, tout en augmentant leur degré de confort. Le plancher de la voiture est approximativement de 1 000 mm à 1 200 mm au-dessus du rail. Si de tels véhicules sont exploités, ils requièrent donc des quais à haut niveau dans les gares.

Par ailleurs, les voitures des trains à haute vitesse n'ont normalement qu'un niveau. Des trains à deux niveaux sont mis en service seulement lorsque la longueur des quais est pleinement utilisée, mais que le nombre de places n'est pas suffisant. Les trains TGV Duplex français, les types E 1 et E 4 japonais ainsi que le X 40 suédois en constituent des exemples. De tels trains offrent approximativement de 35 à 40 % plus de places pour les voyageurs qu'une rame à un seul niveau de même longueur.

La plus grande capacité d'accueil par longueur de train est le principal avantage des trains à deux niveaux. Toutefois, il comporte aussi des inconvénients :

- ⊕ Les déplacements des voyageurs entre les voitures ne sont possibles qu'au deuxième niveau ; les voyageurs du premier niveau doivent utiliser les escaliers et se rendre au deuxième niveau pour changer de voiture ;
- ⊕ Comme l'utilisation d'escaliers est toujours requise, l'accès aux voyageurs handicapés est difficile; en effet, à partir du quai, il faut descendre un escalier pour aller au premier niveau ou en monter un pour aller au deuxième ;
- ⊕ L'obligation d'utiliser les escaliers pour monter à bord du train et en redescendre requiert plus de temps pour l'échange de voyageurs en gare contrairement aux trains à un seul niveau ;
- ⊕ Il y a peu d'espace pour les bagages à main compte tenu de l'espace limité dans les trains à deux niveaux.

Un train à haute vitesse européen<sup>7</sup> typique composé de voitures à un niveau mesurant 200 m de longueur a une capacité d'accueil d'environ 400 passagers. Pour faire face à la demande au moment le plus fort de la période de pointe ou pendant la haute saison, il est possible (sous réserve d'une longueur de quai suffisante) de lier deux de ces trains en exploitation par un attelage automatique comprenant une conduite d'air et un contrôle de commande électrique. Ainsi, il est possible d'obtenir un train d'une longueur de 400 m qui comporte deux fois plus de places assises.

### 2.1.1.2 Articulation

Les rames de THV peuvent être articulées ou composés de voitures attelées.

Dans une rame articulée, les bogies et les ensembles de roues sont partagés entre deux voitures adjacentes comme illustré dans la figure ci-dessous. Le nombre de bogies est inférieur à celui d'une rame composée de voitures simples, mais compte tenu de certaines contraintes géométriques et de poids, la longueur des voitures articulées est plus courte d'environ 7 à 8 mètres. Ce concept est utilisé pour les trains TGV et AGV ainsi que pour les trains Talgo et Rotem<sup>8</sup>. Ces fournisseurs préfèrent ce concept parce que la stabilité dynamique de la rame est très bonne.



FIGURE 4 : Train articulé

Dans une rame non articulée, chaque voiture est indépendante, comme indiqué dans l'illustration ci-dessous. Il y a plus de bogies que dans une rame articulée, mais les voitures individuelles mesurent 40 % de plus que les voitures articulées et en conséquence un nombre moindre de voitures dans une rame sera nécessaire pour transporter un nombre équivalent de passagers. Ce concept est le modèle normal de la plupart des producteurs de matériel roulant THV.<sup>9</sup>



FIGURE 5 : Train composé de voitures non articulées

Les concepts de rames avec voitures articulées et non articulées seront évalués dans les sections 5 et 6. Les résultats de l'évaluation ne présentent aucune différence majeure entre les deux concepts. À ce titre, ces deux concepts de trains conviennent tout aussi bien aux THV.

<sup>7</sup> Pour une longueur donnée, les trains en Chine et au Japon ont à peu près 50 % plus de places assises que les trains européens grâce à leurs caisses plus larges et aux sièges plus étroits.

<sup>8</sup> Tous ces trains ont seulement des voitures voyageurs articulées. Les motrices de tête et de queue sont des voitures non articulées.

<sup>9</sup> Les exceptions sont Alstom et Rotem produisant seulement des THV articulés.



## 2.1.2 Équipement électrique embarqué

### 2.1.2.1 Puissance installée

L'exploitation des trains à haute vitesse requiert une puissance de traction considérable, qui dépend du poids du train, de la vitesse maximale d'exploitation, de la charge électrique qui n'est pas liée à la traction (chauffage, climatisation, etc.) et des caractéristiques de la ligne où le train est exploité. Selon les pentes et autres facteurs spécifiques de la ligne, la puissance requise pour un train de 200 m de longueur au niveau mondial est typiquement de :

- 3 000 à 5 000 kW de puissance par train pour 200 km/h ;
- 6 000 à 10 000 kW de puissance par train pour 300 km/h.

Les différences de puissance requise pour une certaine vitesse maximale d'exploitation dépendent de la masse et de la section transversale du train, aussi bien que des pentes de la ligne.

### 2.1.2.2 Source d'énergie

Il existe deux sources d'énergie différentes pour les trains à haute vitesse : le diesel et l'électricité. La source d'énergie est choisie en fonction des exigences de l'exploitation.

#### Diesel

L'utilisation du diesel est très simple. La seule infrastructure nécessaire est un nombre suffisant de stations de remplissage dans les terminaux et dans quelques gares intermédiaires. Cependant, la puissance de traction pouvant être installée sur une rame typique est limitée, actuellement au maximum de 4 000 kW<sup>10</sup>. Ainsi, la traction diesel est actuellement appliquée pour des vitesses d'environ 200 km/h.

Les principaux avantages de la traction diesel sont :

- ⊕ Aucun investissement dans des systèmes d'alimentation et de distribution électriques ;
- ⊕ Grande flexibilité dans l'établissement d'itinéraires des trains sur des lignes extérieures au réseau THV, par exemple advenant une ligne obstruée : le train peut être dévié soit sur une ligne électrifiée ou non électrifiée ;
- ⊕ Aucune restriction de dégagement causée par des installations électriques, telles que des fils de contact ou des mâts de caténaire ;
- ⊕ Évitement des problèmes de caténaire durant l'hiver.

<sup>10</sup> Le Super Express récemment commandé par le ministère du Transport du Royaume-Uni.



Il y a, toutefois, des désavantages à utiliser la traction diesel :

- ⊕ Densité de puissance spécifique inférieure, limitant la vitesse maximale d'exploitation entre 200 et 225 km/h ;
- ⊕ Émission directe (par le véhicule) de gaz à effet de serre et de contaminants atmosphériques ;
- ⊕ Grande quantité de liquides inflammables à bord ;
- ⊕ Ventilation requise dans les longs tunnels ;
- ⊕ Niveau de bruit élevé, surtout à basses vitesses (près des gares, en ville) ;
- ⊕ Dépendance aux combustibles fossiles, d'autres sortes d'énergie n'étant pas possibles ;
- ⊕ Récupération d'énergie impossible.

### Électricité

L'alimentation électrique permet la construction de trains, beaucoup plus puissants. La puissance de traction maximale actuellement installée sur les rames électriques atteint presque 10 000 kW<sup>11</sup> et une alimentation électrique est utilisée pour des vitesses maximales d'exploitation allant de 200 km/h à 350 km/h. Toutefois, les exigences à l'égard des infrastructures sont plus élevées que pour la traction diesel. L'énergie électrique alimente les trains par un système de caténaire au-dessus des voies, et le train capte son énergie par un pantographe, en contact permanent avec le fil de contact<sup>12</sup>. L'alimentation électrique de la ligne à haute vitesse est normalement reliée au réseau électrique public, et des stations de transformation spéciales (sous-stations) sont nécessaires pour transformer la haute tension du réseau électrique (typiquement, plusieurs centaines de milliers de volts) en tension plus basse (25 000 volts ou moins)<sup>13</sup>.

### Comparaison

En plus de différer par leur source d'énergie, les systèmes de trains diesel et électriques diffèrent par leurs coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance.

- ⊕ En traction diesel, l'investissement relatif à l'alimentation en énergie est assez faible, mais les coûts d'exploitation et de maintenance sont plus élevés ;

<sup>11</sup> Exemple, le N 700 japonais, les TGV POS et Duplex Dasye français et le train Acela d'Amtrack.

<sup>12</sup> L'alimentation par troisième rail n'est pas utilisée dans le THV pour des raisons de sécurité et pour la faible qualité du contact, tel que discuté dans la Section 2.3.

<sup>13</sup> La différence de coûts de maintenance est due au nombre plus élevé de parties mobiles de la traction diesel (du moteur diesel jusqu'à la génératrice) comparativement à la traction électrique (du pantographe au transformateur). Plus de composantes s'usent et réduisent ainsi la durée de vie de l'ensemble. Selon DB AG, le taux de maintenance des trains diesel est de 50 % plus élevé que ceux à traction électrique.



- ⊕ La traction électrique nécessite un investissement plus élevé pour l'alimentation et la distribution d'énergie, mais les coûts d'exploitation et de maintenance sont plus faibles.

Ainsi, l'énergie diesel est utilisée lorsque le volume de trafic voyageurs et les exigences de puissance de traction sont relativement faibles. Par ailleurs, la traction électrique est utilisée sur les lignes achalandées à volume de trafic élevé et dont les exigences de traction sont élevées (vitesse, pentes). Comme les exigences de puissance de traction du THV sont en général très élevées, la traction électrique est la source d'énergie typique pour l'exploitation à haute vitesse.

Les principaux avantages de la traction électrique sont :

- ⊕ Densité de puissance spécifique plus élevée est possible (pour des vitesses excédant 200 km/h) ;
- ⊕ Pas d'émission, par le véhicule, de gaz à effet de serre et de contaminants atmosphériques ;
- ⊕ Seulement une petite quantité de liquides inflammables à bord ;
- ⊕ Ventilation des tunnels non requise ;
- ⊕ Pollution par le bruit plus faible ;
- ⊕ Coûts de l'énergie plus faibles ;
- ⊕ Coûts de maintenance plus faibles ;
- ⊕ L'énergie électrique peut être produite de diverses sources (hydraulique, nucléaire) ;
- ⊕ Récupération d'énergie du freinage possible.

Toutefois, la traction électrique comporte aussi des inconvénients :

- ⊕ Investissement requis pour la construction et la maintenance des systèmes d'alimentation et de distribution électriques ;
- ⊕ Aucune possibilité de détourner les trains si la ligne électrifiée est bloquée ;
- ⊕ La circulation sur des lignes en dehors du réseau électrifié est impossible ;
- ⊕ Espace requis pour la caténaire ;
- ⊕ Alimentation d'urgence à bord nécessaire pour l'exploitation hivernale.

### 2.1.2.3 Motorisation concentrée

Pour installer l'énergie requise sur les trains, il existe deux concepts de propulsion : la motorisation concentrée et la motorisation distribuée. La différence entre eux réside dans la répartition des équipements de traction le long du train. Ces deux concepts sont applicables aux trains diesel et aux trains électriques.

Dans le concept de motorisation concentrée, tout l'équipement de traction est installé dans les motrices aux extrémités du train. Selon le poids du train et la puissance requise, une ou deux des voitures avec loge de conduite aux extrémités de la rame sont motorisées. Ces voitures d'extrémité peuvent être attelées à n'importe quel type de voitures voyageurs (non articulées, articulées ou à deux niveaux). La figure suivante illustre la disposition de tout l'équipement relatif à la traction et des essieux moteurs regroupés dans les voitures d'extrémités.

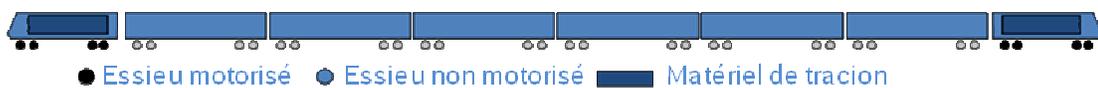


FIGURE 6 : Équipements embarqués de traction concentrés

Dans des cas précis où les essieux des motrices ne peuvent fournir suffisamment de puissance de traction, on ajoute deux essieux motorisés dans les voitures voyageurs immédiatement adjacentes aux motrices.<sup>14</sup> Par cette mesure, la traction peut être augmentée puisqu'il y a plus d'essieux motorisés.

Les principaux avantages de la motorisation concentrée sont les suivants :

- ⊕ Flexibilité dans la configuration de la rame ; le nombre de voitures peut aisément varier en ajoutant ou en retirant dans l'atelier ; on peut varier la longueur de la rame en fonction de la demande, ce qui permet des économies de coûts ;
- ⊕ Moins de bruit et de vibration pour les voyageurs puisque l'équipement de traction se trouve dans la motrice et est séparé de l'espace voyageurs ;
- ⊕ L'atténuation du bruit extérieur est plus facile puisque tout l'équipement qui génère du bruit est concentré à chaque extrémité de la rame ;
- ⊕ Moins de composantes dans le système de traction et une meilleure accessibilité pour la maintenance et de changement de composantes ;

<sup>14</sup> Les exemples sont l'Eurostar franco-britannique, le KTX coréen et le TGV PSE français.

- ⊕ Possibilité de remplacer un système moteur défectueux en cas de panne, simplement en changeant la motrice ;
- ⊕ L'utilisation de motrices en extrémité de rame permet la construction de loges de conduite solides, conformes aux normes nord-américaines de résistance à la collision.

Les principaux inconvénients sont les suivants :

- ⊕ Taux de freinage dynamique inférieur puisque qu'il y a moins d'essieux moteurs dans une rame ;
- ⊕ Moins de voyageurs dans une rame d'une longueur donnée, puisque les motrices réduisent la longueur disponible pour le compartiment voyageurs ;
- ⊕ Nombre plus élevé de voitures et de bogies ;
- ⊕ Coûts liés au cycle de vie plus élevés (poids plus élevé et plus de voitures par rame), en plus des motrices.

Au début de l'exploitation haute vitesse en Europe, la motorisation concentrée constituait le concept prédominant dans les premiers systèmes THV en France, en Allemagne et en Italie. Présentement, les trains à motorisation concentrée sont uniquement produits ou ont été mis au point par Alstom (Famille TGV), Bombardier et Talgo (Talgo 350), CAF (Arabie Saoudite), Hitachi (Super Express du Royaume-Uni) et Rotem (KTX II).

#### 2.1.2.4 Motorisation distribuée

La motorisation distribuée est caractérisée par la répartition de l'équipement de traction le long de la rame. Les essieux motorisés sont situés sous le plancher des voitures-passagers, et de 50 à 100 % des essieux sont motorisés. La majorité des trains à haute vitesse actuellement sur le marché repose sur ce concept. La figure suivante illustre la disposition de l'équipement de traction et des essieux moteurs dans les voitures de telles rames avec motorisation distribuée.



FIGURE 7 : Équipements embarqués de traction distribués

En traction électrique, normalement de deux à quatre voitures constituent une «unité motrice» indépendante (pantographe, transformateur, convertisseurs, moteurs de traction). En traction diesel, les moteurs diesel se trouvent dans chaque voiture à essieux motorisés.



Les principaux avantages de la motorisation distribuée sont :

- # Taux de freinage dynamique supérieur puisque qu'il y a plus d'essieux moteurs dans une rame ;
- # Plus de voyageurs dans une rame d'une longueur donnée, puisque toute la longueur est disponible pour le compartiment voyageurs. ;
- # Moins de bogies pour une longueur de rame donnée ;
- # Coûts reliés au cycle de vie moins élevés (poids inférieur et moins de voitures par train).

Les principaux désavantages de la motorisation distribuée sont :

- # Aucune flexibilité dans la configuration de la rame : le nombre de voitures ne peut varier en ajoutant ou en retirant des voitures à l'atelier ;
- # Plus de bruit dans les voitures voyageurs provenant des équipements de traction situés sous le plancher ;
- # L'atténuation du bruit extérieur est plus difficile puisque l'équipement qui génère du bruit est réparti sur toute la rame ;
- # Composantes du système de traction plus nombreuses et plus difficilement accessibles pour la maintenance et le changement de composantes ;
- # Aucune possibilité de remplacer un bloc de traction défectueux en cas de panne simplement en changeant une voiture.

Le concept de motorisation distribuée pour les trains à haute vitesse a d'abord été lancé avec l'arrivée des trains japonais Shinkansen en 1964. En Europe, là où la haute vitesse a fait son entrée en motorisation concentrée, la motorisation distribuée a d'abord été introduite en Allemagne il y a 10 ans et en Espagne quelques années plus tard ; les Pays-Bas, l'Italie et la France suivront.

Présentement, les trains à motorisation distribuée sont produits ou mis au point par pratiquement tous les fournisseurs de matériel roulant haute vitesse, tels que Alstom, AnsaldoBreda, Bombardier, CAF, Siemens et les manufacturiers japonais.

### 2.1.3 Trains pendulaires

Certains trains, dotés de vitesse allant jusqu'à 250 km/h, sont munis d'un système d'inclinaison de la caisse qui leur permet de franchir à vitesse plus élevée les courbes qu'il est impossible ou non rentable de redresser.



**Au Canada**, le train LRC (Léger, Rapide, Confortable) est un train pendulaire exploité dans le Corridor Québec–Windsor. Au début, le LRC a connu quelques problèmes de rodage. Un problème fréquent est que les voitures se verrouillaient dans la position inclinée même après que le train fut sorti de la courbe ou encore le système hydraulique d'inclinaison ne fonctionnait pas du tout. Comme les motrices du train suédois X-2000, les locomotives du LRDC ne furent jamais conçues pour s'incliner.

**Aux États-Unis** L'Acela Express est une évolution du prototype d'un système avant-gardiste d'inclinaison utilisé sur un train de Via Rail (et qui constituait une amélioration majeure d'un système originellement utilisé par les LRC). Les caisses des voitures-passagers s'inclinent selon la courbure jusqu'à 4 degrés. Ces trains sont exploités quotidiennement en inclinaison ce qui leur permet de circuler avec une insuffisance de dévers de 9 pouces (environ 230 mm) sans toutefois excéder 0,1 g (équivalent à 150 mm) d'accélération latérale quasi-statique à l'intérieur de la caisse. Sans inclinaison, la vitesse devrait être réduite pratiquement dans toutes les courbes du tracé. L'inclinaison de 4 degrés (environ) est une valeur inférieure à ce qui était prévu, ceci résultant d'un imbroglio sur les dégagements au moment de la conception. L'inclinaison de 4 degrés procure un dévers additionnel d'environ 100 mm, permettant ainsi d'atteindre, par exemple, une vitesse maximale de 165 à 190 km/h dans les courbes qui ont un rayon de 1000 m.

Diverses générations de trains Pendolino sont exploités (jusqu'à 235 km/h – et une vitesse maximale de 180 km/h avec inclinaison active) en Italie, en Finlande, en Allemagne, en Suisse, au Royaume-Uni et des trains Talgo en Espagne et aux États-Unis (jusqu'à 250 km/h).

En principe, deux technologies d'inclinaison sont offertes :

- ⊕ L'inclinaison active à déclenchement hydraulique, comme le ICE-T (train pendulaire électrique de DB AG), ou à déclenchement électrique, telle qu'utilisée par le ICE-TD (train pendulaire diesel de DB AG) ;
- ⊕ L'inclinaison passive à déclenchement activée par la force centrifuge, telle qu'utilisée par le train Talgo en Espagne.

Ces systèmes d'inclinaison ont été conçus pour une circulation plus rapide sur les lignes conventionnelles. Le succès au niveau de la réduction du temps de trajet dépend fortement du nombre de courbes et de leur rayon. Un tracé droit n'offrira aucun avantage particulier. Ainsi, DB AG exploite ces trains sur des lignes existantes qui longent, par exemple, de petites vallées de rivières et qui ont par le fait même des courbes accentuées. Même dans ces circonstances, la réduction du temps de trajet est minime. En aucun cas les temps de trajet n'atteindront ceux des trains haute vitesse exploités sur de nouveaux tracés.



Le tableau 3 illustre les effets de la technologie d'inclinaison par rapport au temps de trajet dans diverses circonstances. Prendre note que la réduction du temps de trajet peut tenir compte de plus grandes vitesses des trains pendulaires (même sur des voies rectilignes) et toute autre mesure mise à niveau.

**TABLEAU 3 : Réduction du temps de trajet accomplie par les trains pendulaires comparativement aux trains conventionnels (Profilidis [6])**

Constructeur	Type de train pendulaire	Ville A	Ville B	Distance (km)	Trains conventionnels		Trains pendulaire		Réduction (%) du temps de trajet des trains pendulaires par rapport aux trains conventionnels
					V <sub>max</sub> /V <sub>moy.</sub> (km/h)	Temps de trajet (h.m)	V <sub>max</sub> /V <sub>moy.</sub> (km/h)	Temps de trajet (h.m)	
ADTRANZ	VT 611	SAARBRÜCKEN	FRANKFURT	221	140/74.9	2.57	160/88.4	2.30	15.25
ADTRANZ	X 2000	STOCKHOLM	GÖTEBORG	453	160/95.4	4.45	200/143.1	3.10	33.33
ADTRANZ	X 2000	STOCKHOLM	MALMÖ	616	160/99.9	6.10	200/142.2	4.20	29.73
FIAT FERROVIARIA	ETR 460	MILAN	ROME	605	200/121.0	5.00	250/144.0	4.12	16.00
FIAT FERROVIARIA	ETR 460	MILAN	DOMODOSSOLA	125	160/81.5	1.32	160/105.6	1.11	22.83
FIAT FERROVIARIA	ETR 460	MILAN	COMO	46	150/72.6	0.38	150/92.0	0.30	21.05
FIAT FERROVIARIA	ETR 460	ROME	BARI	503	180/93.7	3.22	180/117.4	4.17	20.19
FIAT FERROVIARIA	S 220	HELSINKI	TURKU	200	160/100.0	2.00	200/123.7	1.28	19.17
FIAT FERROVIARIA	S 220	HELSINKI	SEINÄJOKI	346	160/109.3	3.10	220/140.3	2.10	22.11
MAN/SIEMENS/FIAT	VT 610	NÜRNBERG	BÄYREUTH	93	130/77.5	1.12	160/97.9	0.57	20.83
MAN/SIEMENS/FIAT	VT 610	NÜRNBERG	HOF	167	130/80.2	2.05	160/99.2	1.41	19.20
PATENTES TALGO	TALGO PENDULAR	MADRID	BURGOS	282	140/95.1	2.58	140/107.8	2.37	11.80

Au sujet du nouveau tracé F200+ dans le Corridor Québec – Windsor, les impacts de la technologie d'inclinaison sont minimes. L'économie de temps de trajet pour les tracés existants, près des grands centres, qui ne peuvent être modifiés vu les développements urbains le long de la voie, se chiffre autour de 5 minutes pour le trajet complet. Des économies possibles sur les coûts d'investissement, en raison des rayons de courbe plus courts (2500 m à 2000 m) dans les campagnes sans augmenter le temps de trajet, ne peuvent être évaluées dans le cadre de cette étude, mais semblent toutefois être négligeables.

La technologie d'inclinaison, telle que conçue initialement, pourrait être limitée à desservir que les voies de corridors existants. Les impacts du temps de trajet ne peuvent être évalués à ce stade-ci puisque les données du tracé d'origine ne sont pas disponibles. Par contre, dépendamment de la vitesse maximale, certaines mesures doivent être prises pour permettre l'inclinaison :

- ⊕ Amélioration des conditions géométriques des voies (et des caténaires) selon l'augmentation de vitesse ;
- ⊕ Ajustement des courbes de transition ;
- ⊕ Ajustement des systèmes de protection des passages à niveau ou pour des vitesses de 200 km/h et supérieures, et l'élimination de tous les passages à niveau ;



- ⊕ Intégration de la supervision d'une deuxième surveillance de vitesse dans le système de signalisation si des trains conventionnels utilisent toujours la même voie ou d'un nouveau système de signalisation (en cabine) pour des vitesses atteignant 200 km/h et plus.

Les coûts d'investissement pour des trains pendulaires sont réputés être de l'ordre de 15 % plus élevés par rapport aux trains conventionnels à haute vitesse offrant la même capacité de sièges (Profilidis, [6] et UIC, [7]). Si les trains de marchandise sont exploités sur la même infrastructure, la capacité de la ligne diminuera étant donné l'augmentation de la différence de vitesse entre les trains passagers et les trains de marchandise. Des calculs plus poussés concernant des trains pendulaires (ICE-T) dénotent des coûts de maintenance additionnels, tels que :

- ⊕ 15 % de coûts de maintenance additionnels pour les véhicules dont 8 % provient de la technologie de l'inclinaison elle-même et 7 % provient de la maintenance plus ardue de diverses composantes ;
- ⊕ Coûts de maintenance additionnels reliés aux voies (dû à des forces latérales plus importantes), à la caténaire et à la surveillance de la vitesse (signalisation).

Pour leur part, les trains pendulaires roulant sur des infrastructures conventionnelles n'arriveront jamais à égaler les temps de roulement des nouveaux trains à haute vitesse. Étant donné les arguments ci-haut et la sensibilité réputée de la technologie d'inclinaison hautement sophistiquée par rapport aux conditions hivernales (se référer à 3.2.2), l'inclinaison n'apparaît pas une exigence pour une technologie représentative dans le cadre de l'étude actuelle. Des développements éventuels au niveau de l'inclinaison seront à considérer lorsque le Corridor du THV sera conçu et étudié.

L'annexe P fournit des renseignements additionnels au niveau de la technologie d'inclinaison.

## 2.2 La voie

La voie constitue le couloir qui guide le véhicule. Ses caractéristiques permettent aux trains d'atteindre la performance désirée en toute sécurité.

### 2.2.1 L'utilisation et le partage des voies

En principe, n'importe quelle voie peut être utilisée par des trains à haute vitesse. Bien entendu, la voie doit être dotée de l'écartement pertinent et le système de signalisation et l'alimentation électrique, doivent être compatibles selon les besoins du véhicule. Les limites de vitesse maximales permises résultent :



#### # Des paramètres de l'alignement

- Indépendamment de la technologie de la voie, la vitesse maximale d'exploitation est déterminée par la combinaison des rayons de courbure, du dévers<sup>15</sup> et de l'insuffisance de dévers permmissible du véhicule. Pour des vitesses de 300 km/h et plus, des rayons d'au moins 6 000 m sont recommandés, 2 500 m pour 200 à 250 km/h ;

#### # De la qualité de la géométrie de la voie

- Afin de limiter les forces indésirables entre les rails et les roues, les hautes vitesses requièrent une géométrie des voies qui est cohérente avec la vitesse et des déviations très limitées par rapport à la position initiale.

Lorsqu'il partage une voie existante, le train à haute vitesse doit respecter les limites de vitesse de la ligne.

### 2.2.2 Voie nouvelle pour la haute vitesse

Si la voie existante manque de capacité ou de qualité ou si elle n'offre pas une géométrie adéquate (par exemple, ses courbes sont trop serrées, et qu'elle ne peut pas être mise à niveau), on doit construire de nouvelles voies pour le THV. Ces nouvelles voies n'ont pas à être à son usage exclusif.

Il y a deux options principales relatives à la configuration de la voie : la voie conventionnelle sur ballast et la voie sur dalle. Les deux systèmes sont éprouvés en exploitation jusqu'à 300 km/h.

---

<sup>15</sup> Le dévers est la différence maximum de hauteur entre les rails intérieur et extérieur, mesurée au centre de la surface de roulement (en mm)

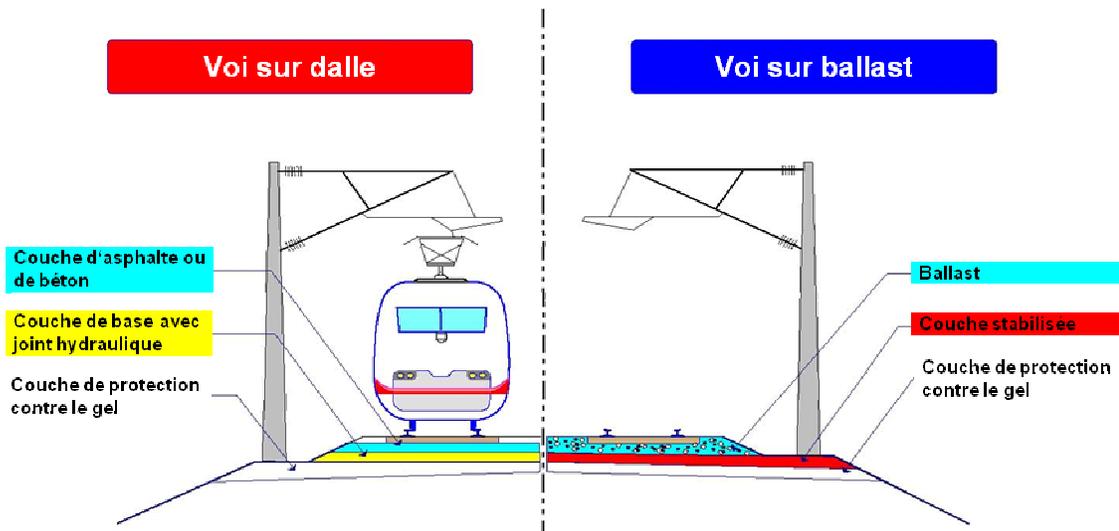


Figure 8 : Voie sur Ballast et sur Dalle (Mißler, [8])

Les spécifications sont les mêmes et ne varient pas avec la vitesse dans la plage de 200 à 350 km/h. La figure 8 illustre une configuration typique pour les deux types.

### 2.2.2.1 Voie conventionnelle sur ballast

On trouve des réalisations de voie sur ballast sur plusieurs lignes de THV dans le monde. Les vitesses maximales d'exploitation varient de 200 à 320 km/h, sur des lignes réservées au trafic voyageurs comme sur des lignes à exploitation mixte voyageurs et marchandises. Des photos illustrant des voies sur ballast sont présentées dans les figures 5 et 6.



FIGURE 9 : Voie sur Ballast, TGV Est (Rießberger, [9])

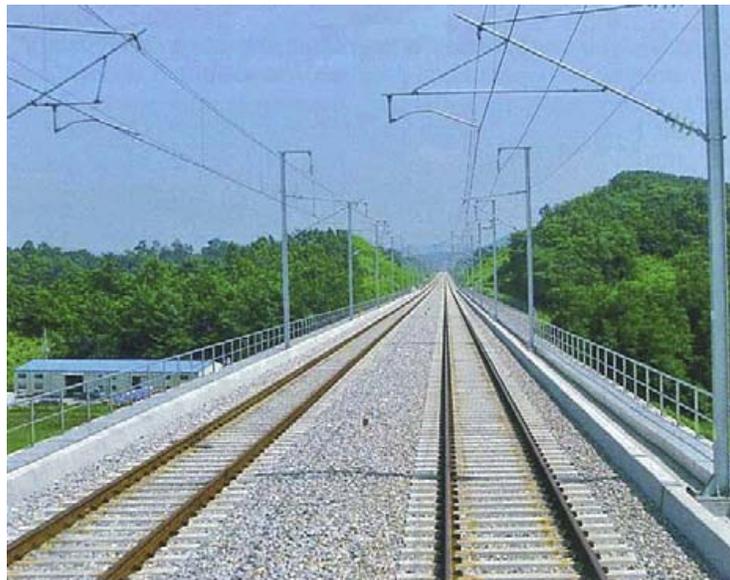


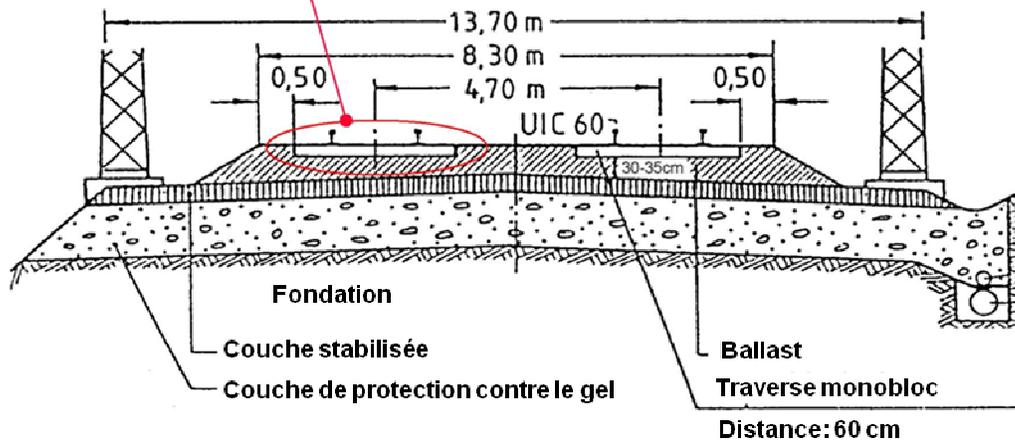
FIGURE 10 : Voie sur Ballast, KTX, Corée du Sud (Rießberger, [9])

La figure 11 illustre une coupe transversale typique de voie sur ballast utilisée pour la première ligne à haute vitesse allemande, de Hanovre à Würzburg.

**Rail UIC 60**

**Traverse monobloc B70**

**30 – 35 cm ballast**



**FIGURE 11 : Coupe transversale d'une voie sur Ballast (Mißler, [8])**

Les principaux avantages de la voie sur ballast sont :

- ⊕ Procédures de construction fortement mécanisées ;
- ⊕ Faible sensibilité aux défauts de construction ;
- ⊕ Procédures de maintenance fortement mécanisées ;
- ⊕ Coût de construction modéré ;
- ⊕ Bonne adaptation aux tassements ;
- ⊕ Faible production de bruit.

Les principaux inconvénients de la voie sur ballast sont :

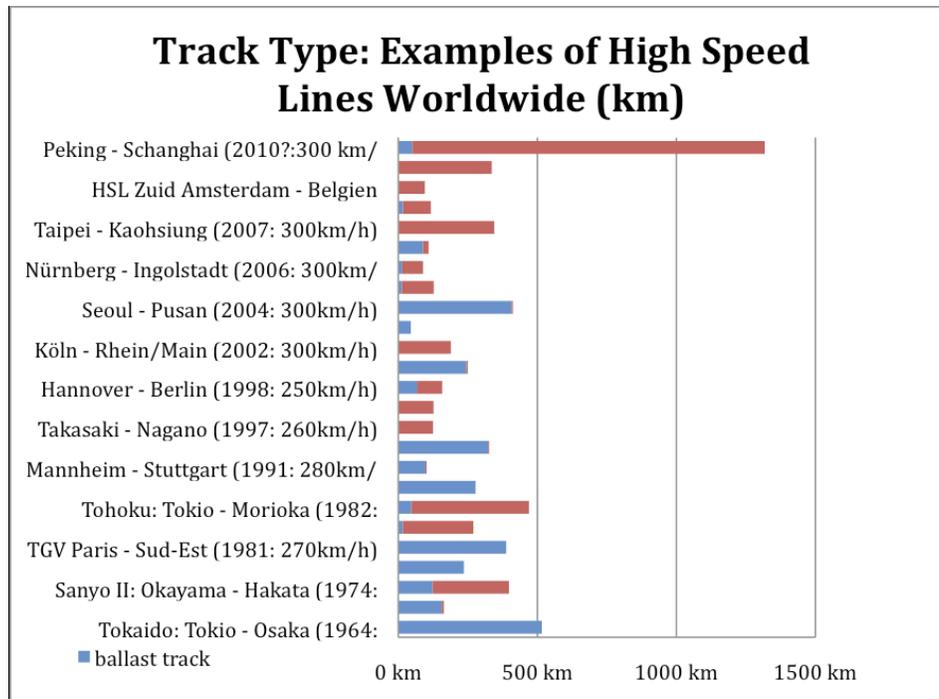
- ⊕ Changement de la géométrie initiale causée par les charges opérationnelles ;
- ⊕ Conséquemment, efforts importants et coûts élevés pour l'inspection et la maintenance ;



ref. Hempe

### 2.2.2.2 Voie sur dalle

Au cours des 15 dernières années, la voie sur dalle a évolué d’une conception sur mesure pour des applications de niche vers une technologie normalisée pour la voie ferrée sur des lignes à haute vitesse et de fortes charges. Plusieurs types de voie sur dalle sont disponibles de nos jours. La caractéristique principale de tous ces types est le remplacement du ballast par du béton sous la forme de dalles préfabriquées et de placement de béton in situ. L’objectif commun des systèmes de voie sur dalle est de maintenir la géométrie initiale de la voie ferrée. Il en résulte une réduction des efforts et des coûts de maintenance, mais l’exactitude requise augmente les coûts de construction.



**FIGURE 12 : Coupe transversale typique d’une voie sur dalle (System Rheda 2000) (RAIL ONE, [10])**



**FIGURE 13 : Voie sur dalle, Ligne de Beijing à Tianjin (Bögl, [11])**

### *2.2.2.3 Comparaison entre les technologies de voies*

Une analyse détaillée de ces deux systèmes de voie a été effectuée afin de produire une liste des avantages et des inconvénients pour chacune d'entre elles. Les aspects de cette analyse sont énumérés ci-dessous, suivis des principales conclusions. Les détails pertinents se retrouvent dans l'annexe C.

- ⊕ Construction ;
- ⊕ Maintenance ;
- ⊕ Caractéristiques fondamentales du système ;
- ⊕ Interface du matériel roulant, essieu.

Les systèmes de voie sur dalle entraînent des coûts d'investissement pour la construction initiale plus élevés comparés aux systèmes de voie sur ballast. Dépendamment des conditions locales (proportion de ponts et de tunnels, coût local de construction, intervalle de la maintenance, concept d'exploitation), ces suppléments de coûts seront compensés sur la durée de vie. Les conditions géométriques de la voie sur ballast pourraient être transformées sous les charges dynamiques des trains à haute vitesse. Il est nécessaire d'employer le bourrage<sup>16</sup> correctif pour maintenir les paramètres géométriques.

<sup>16</sup> Reconstitution des conditions géométriques initiales par relocalisation mécanique du ballast



Cependant, le bourrage ne peut être effectué quand le ballast est gelé, ce qui limite le temps, au cours de l'année, où l'on peut effectuer la maintenance de la voie<sup>13</sup>. De plus amples renseignements au sujet des limites de maintenance de la voie par rapport à la température sont fournis dans l'annexe M.

Une condition préalable à l'exploitation de THV est l'utilisation de rails soudés en continu, qui assure une surface de roulement douce. Cependant, à cause des changements de température, entre autres, des forces longitudinales importantes sont induites dans les rails. Pour réduire le risque de déplacement latéral des rails, les travaux de maintenance sur les voies ne se font qu'à l'intérieur d'une certaine variation de température. Ce risque n'existe pas dans les voies sur dalle, qui se caractérisent par leur résistance latérale élevée.

Par ailleurs, la voie sur ballast exige une sous-structure pratiquement exempte de tassement. Ceci requiert un examen approfondi des conditions du sol. On trouve des voies sur dalle construites sur pieux aux Pays-Bas, mais les difficultés techniques et les coûts de construction de voie sur dalle lorsque le sol n'est pas ferme sont nettement plus élevés que lorsqu'il est plus solide.

Les constructions de voies sur ballast dénotent en général de plus grandes quantités de pollution sonore comparativement aux voies sur ballast puisque le ballast sert également d'amortisseur de bruit. La voie sur dalle génère un impact sonore additionnel de l'ordre de 3 à 4 dB(A). Cet impact peut être évité grâce à l'utilisation de tapis absorbants sur la surface de béton. Cette option doit évidemment être considérée dans l'évaluation des coûts.

Un des plus grands défis reliés au travail des voies à haute vitesse sera de faire face au ramassage du ballast (se référer à 3.2.3.5). Des trains circulant à vitesse élevée peuvent soulever des pierres du ballast. Ces pierres peuvent endommager le train lui-même et les objets environnants. Souvent, le ramassage du ballast est causé par de la glace qui se détache du dessous du train.

On trouvera à l'annexe N une analyse économique comparative faite par DB AG au sujet des voies ferrées sur ballast et sur dalle.

Dans le cadre de l'étude actuelle, il n'est pas



<sup>13</sup> La température devrait se situer entre 3 et 35°C



possible de faire une recommandation concernant la technologie de voie ferrée, car les données au sujet des conditions du sol sous la voie ne sont pas disponibles. Une analyse à cet effet devra être faite lors des prochaines étapes du projet. Également, pour les estimations de coût d'investissement et de maintenance du Livrable 6, on choisira à titre de technologie représentative, une combinaison de voie sur ballast et de voie sur dalle, les utilisant ainsi à part égale pour les nouvelles lignes.

Cela tient compte que la voie sur dalle sera plus apte à échapper aux manœuvres hivernales (ramassage du ballast et moins de maintenance) mais tient également compte de l'information manquante au sujet du sol, des coûts légèrement moindres pour la voie sur ballast et des problématiques possibles concernant les constructions de voies sur dalle à basse température. De plus, jusqu'à maintenant, la voie sur dalle n'a pas été utilisée sur de longs segments de voie en Amérique du Nord. Il est à noter que la technologie de voie qui a été choisie en vue de calculs et évaluations plus approfondies est doit être considérée comme représentative et non comme recommandée. La répartition des différents types de voie n'aura aucun impact majeur sur les résultats globaux de l'étude puisque les coûts d'investissement plus élevés seront compensés par les dépenses réduites au niveau de la maintenance et vice versa (Annexe N).

## 2.3 L'énergie

À moins que le contexte ne l'indique clairement, la discussion qui suit s'applique à la plage de vitesse de 200 à 300 km/h.

### 2.3.1 Sources d'énergie possibles

Tel qu'il a été mentionné précédemment dans le rapport, il existe deux sources d'énergie de traction différentes pour les trains à haute vitesse : le diesel et l'électricité. Le choix de la source d'énergie dépend des exigences du type d'exploitation envisagé.

Dans la présente étude, les mérites respectifs de ces deux sources d'énergie pour une application dans le Corridor sont évalués comme suit : coûts de construction, d'exploitation et de maintenance (Livrable 6); impacts environnementaux (Livrable 9); analyse financière et économique (Livrable 11).

### 2.3.2 Alimentation et distribution d'énergie

Cette section présente les principales composantes des systèmes d'alimentation et de distribution d'énergie pour les trains diesel et électriques.



### 2.3.2.1 Pour les trains diesel

Dans un train alimenté par diesel, c'est un moteur diesel qui produit l'énergie de traction. Il existe plusieurs types de véhicules ferroviaires diesel, la principale différence étant dans la façon dont la puissance de traction est transmise aux roues motrices. Les trois types principaux sont :

- ⊕ Transmission diesel-électrique, dans laquelle le moteur diesel entraîne une génératrice qui fournit de l'énergie électrique aux moteurs de traction;
- ⊕ Transmission diesel-hydraulique dans laquelle une transmission hydraulique transmet l'énergie du moteur diesel aux roues motrices ;
- ⊕ Transmission diesel-mécanique dotée d'une boîte d'engrenage mécanique semblable à ce qui est employé dans les véhicules routiers.

Les trains à haute vitesse sont habituellement dotés d'une transmission diesel-électrique, car elle évite le lien mécanique entre le moteur diesel et les roues motrices. Ainsi, l'équipement de traction peut être facilement réparti sur toute la longueur de la rame.

Aucune alimentation externe n'est requise (le carburant est transporté à bord) et l'infrastructure relative à l'exploitation des trains alimentés au diesel se limite à des stations de ravitaillement situées aux gares terminales et aux gares intermédiaires principales, où les trains débutent ou terminent leur trajet. Il n'y a aucune exigence particulière pour le carburant, et le carburant diesel pour le THV est le même que pour les autres trains.

En plus des trains diesel, il existe plusieurs exemples d'utilisation ferroviaire (avec succès mitigé) où la turbine à gaz est utilisée pour réduire le ratio poids-puissance. Au début des années 70, les Turbo trains développés par United Aircraft furent utilisés au Canada et aux Etats-Unis. Plus tard, la société française ANF développa le train RTG (Rame Turbine à gaz) qui fut utilisé en service voyageur entre New York et Albany. Ces trains furent mis en exploitation avec succès (le Turbo train détient toujours le record canadien de vitesse ferroviaire), mais ils furent retirés du service après quelques années à cause de leur fiabilité réputée insuffisante et de leurs coûts de maintenance élevés. Le premier prototype du TGV était alimenté par une turbine. Plus récemment, Bombardier Transport a développé le Jet Train, une locomotive à turbine basée sur le concept du train Acela Express et pouvant atteindre une vitesse maximale d'exploitation comparable.

### 2.3.2.2 Pour les trains électriques

Les trains électriques sont alimentés de source externe. L'énergie de traction peut provenir de carburants fossiles ou d'autres sources propres ou renouvelables, incluant l'énergie géothermique, hydraulique, nucléaire, solaire et éolienne.



L'énergie électrique est transportée de la centrale aux véhicules par un système d'alimentation électrique de traction comprenant des sous-stations reliées au réseau public local.

- ⊕ L'énergie ainsi fournie est distribuée le long de la ligne aux véhicules en mouvement ;
- ⊕ Dans le véhicule, l'énergie haute tension captée du système de distribution est transformée en tension moyenne qui alimente les moteurs de traction.

### 2.3.3 Alimentation et distribution électriques

Les systèmes d'alimentation CC et CA peuvent être utilisés pour alimenter les voies ferrées en électricité. Les différents modèles d'équipement de ligne de contact sont adaptés aux différentes vitesses du matériel roulant. Les rails conducteurs, (aussi appelés troisième rail), les lignes de contact de type trolley et les lignes d'alimentation électrique avec suspension caténaire sont utilisés. Les secteurs d'exploitation sont en général :

- Systèmes de troisième rail – métro, trains de banlieue ;
- Lignes de contact de type trolley –trolleybus et tramway ;
- Caténaire - chemins de fer interurbains, tramways modernes et LRT.

L'électrification CC par troisième rail est limitée au métro et aux trains de banlieue. Les limites de vitesse permises sont seulement de 100 à 120 km/ h, compte tenu de la construction mécanique du troisième rail et de la captation de courant par collecteur. Les règlements sur la sécurité et les risques limitent principalement l'alimentation en voltage sous les 1 000 V CC. Des courants électriques élevés doivent être transmis (4 000 – 6 000 A) pour fournir aux trains l'énergie de traction requise. La basse tension utilisée est un désavantage pour les systèmes de traction CC existants : de plus courtes distances entre les points d'alimentation ont pour résultats un nombre plus élevé de sous-stations, une protection additionnelle contre les courants vagabonds, pertes d'électricité plus élevées, etc. La distance moyenne d'alimentation pour un système à 750 V CC (distance entre les sous-stations de traction) est donc limitée à environ 1 200 à 1 500 mètres.

La notion de courte distance entre les sous-stations constitue une des raisons pour lesquelles l'électrification CA et de plus hautes tensions ont d'abord été utilisées au début du 20<sup>e</sup> siècle. En Allemagne et dans d'autres pays, on utilisait une fréquence plus basse de 16,7 Hz et 15 000 V CA, compte tenu des problèmes liés au développement des moteurs à traction CA de ce temps. À travers les années, des progrès ont été réalisés dans le secteur de l'électronique de puissance, l'utilisation de niveaux plus élevés d'isolation est devenue chose commune et la tension à 25 000 V CA, 50/60 Hz est devenue la norme. De nos jours, la distribution d'électricité par système de caténaire est appliquée à toutes les tensions supérieures à 1 000 V CC et à tous les systèmes CA.

Les principaux systèmes de tension pour l'électrification sous caténaire de la voie principale sont actuellement à 1 500 V CC, 3 000 V CC, 15 kV CA et 25 kV CA, mais l'alimentation à 25 kV est la préférée mondialement. En Amérique du Nord, ce système est déjà utilisé au Canada pour électrifier le tunnel sous le Mont-Royal et la ligne de banlieue de Deux-Montagnes à Montréal. Également, certaines sections de la ligne de Boston à Washington sont électrifiées à 25 kV, d'autres sections étant électrifiées à 12,5 kV et à 11 kV.

Des 260 000 km de lignes électrifiées mondialement, approximativement 110 000 km sont électrifiés à 25 kV CA. Pour des applications de haute vitesse le 25 kV, 50/60 Hz est presque le seul système utilisé. Des exceptions à la règle ont été trouvées, notamment sur la ligne CC en Italie et les réseaux restants, électrifiés 15 kV CA et 16,7 Hz (environ 35 000 km) en Europe Centrale (Suisse, Allemagne et Autriche) et en Europe du Nord (Suède et Norvège).



**Figure 14 : Caténaire – Ligne haute vitesse Cologne - Francfort**

Pour atteindre une plus grande flexibilité dans la sélection du matériel roulant aussi bien que dans toute la configuration du système, les systèmes de courant monophasé à 25 kV CA semblent donc être la solution préférée. C'est une pratique commune aujourd'hui d'électrifier les voies principales à 25 kV, utilisant une fréquence commerciale normale de 50 ou 60 Hz.

Une analyse préliminaire de la demande d'énergie de traction sera faite dans la présente étude pour déterminer l'emplacement et la capacité des sous-stations principales (pour estimer leurs coûts et la consommation d'énergie). L'apport des données de base est le suivant:



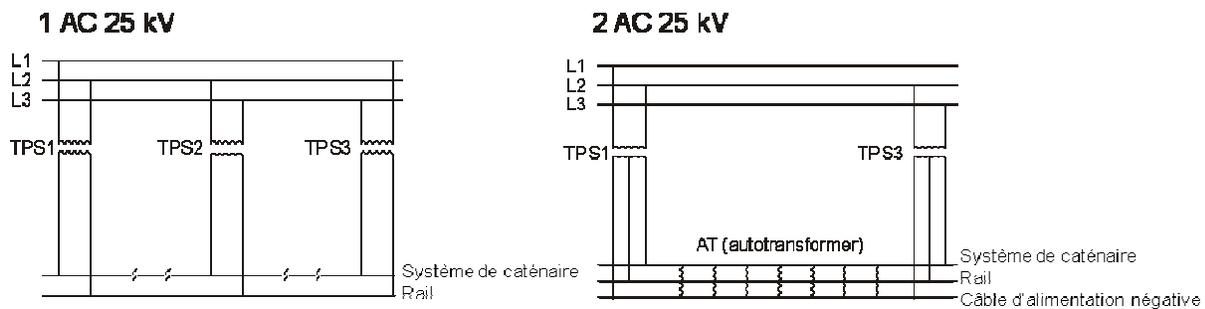
- Données sur le tracé et l'alignement de la voie – courbes horizontales et verticales, limites de vitesse ;
- Données sur le matériel roulant – puissance de traction, demande en énergie auxiliaire ;
- Données d'exploitation – horaire, nombre de trains ;
- Données du réseau des services publics - localisation, distance jusqu'à la voie ferrée future, etc.

Lorsqu'on conçoit un système à haute vitesse, des études approfondies, spécialement à l'égard de la capacité et de la localisation du réseau public local sont nécessaires pour définir lequel des deux sous-systèmes de courant, soit le courant monophasé à 25 kV 1CA ou le courant monophasé à 50/25 kV 2CA ou un mélange des deux, sera finalement choisi.

- ⊕ Le courant monophasé à 25 kV 1CA – les réseaux triphasés du réseau public alimentent directement chaque sous-station de traction. L'énergie du réseau est convertie à l'alimentation en voltage du courant monophasé à traction à 25 kV CA. Les sous-stations seront installées le long de la voie très près des lignes de transmission du réseau public. Les rails de roulement seront utilisés comme dispositif pour le retour du courant ;
- ⊕ Le courant monophasé à 50/25 kV 2CA: pour améliorer les propriétés de transmission ce système est utilisé pour un trafic de plus haute performance, spécialement là où le réseau public ne peut pas (géographiquement) assurer l'approvisionnement de la ligne, approximativement à tous les 30 - 50 km (les distances d'alimentation seront planifiées en fonction d'une simulation de demande d'électricité). Entre les sous-stations de transformation, qui sont directement reliées au réseau public, des stations additionnelles d'auto-transformation et une ligne de retour de courant à tension de 25 kV (dispositif d'alimentation négatif) sont installées (à tous les 5 – 10 km) pour augmenter la distance entre les sous-stations principales. De plus, les rails sont utilisés comme dispositif de retour de courant.

Puisque le principe d'alimentation pour les rames électriques demeure le même, seul le mode de distribution électrique change. La sélection finale pourra se faire seulement après avoir pu effectuer les calculs de demande d'énergie. La différence principale entre ces deux philosophies de distribution est la distance entre deux sous-stations adjacentes reliées au réseau d'électricité public. Si de nouvelles lignes ferroviaires passent à travers des secteurs pour lesquels le réseau public ne peut assurer l'alimentation aux emplacements requis, le choix du 50/25 kV 2 CA sera normalement considéré plutôt que la construction de nouvelles lignes de transmission à haute tension du réseau public aux sous-stations de traction (en fonction de considérations économiques).

La figure suivante présente les différences générales dans le diagramme unifilaire<sup>14</sup>.



**FIGURE 15 : Diagramme schématique de distribution<sup>19</sup>**

## 2.4 La signalisation

La discussion qui suit s'applique aux niveaux de vitesse de 200 et 300 km/h.

### 2.4.1 Fonctions du système

Les fonctions de base du système de contrôle de signalisation et de contrôle des trains dans l'exploitation des THV sont :

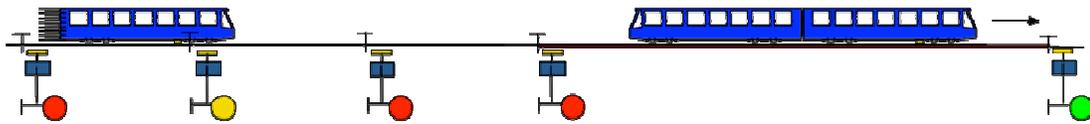
- ⊕ La protection anticollision, i.e. prévenir une collision entre deux trains ;
- ⊕ Le contrôle de la vitesse, i.e. s'assurer que les limitations de vitesse permanentes ou temporaires sont respectées pour éviter les déraillements ;
- ⊕ Enclenchement et protection des itinéraires sur la ligne et aux stations pour prévenir des mouvements contradictoires par la disposition de voies incluant des jonctions et croisements.

Les systèmes de signalisation ferroviaire pour les trains de marchandises et les trains voyageurs conventionnels sont basés sur des installations de voies libres comme des circuits de voie ou des systèmes de comptage d'essieux pour détecter l'occupation des voies par les trains et sur des signaux lumineux en bordure de voie pour afficher le statut des sections de voie à venir. L'exemple ci-dessous présente un système de signalisation conventionnel comportant des circuits de voies et des feux de signalisation en bordure de voie.

<sup>14</sup> Remarque: les deux systèmes alimentent les trains en courant monophasé à 25 kV (aucune différence pour les trains).

<sup>19</sup>L1, L2, L3 = le triphasé du réseau électrique public

TPS = Traction Power Substation : Sous-station d'alimentation de traction



Conventional Signaling System

**FIGURE 16 : Système conventionnel de signalisation**

En général, les systèmes de signalisation existants permettent des vitesses allant jusqu'à 160 km/h. Pour de plus hautes vitesses (200 km/h et plus), un système de signalisation séparé doit être implanté parce que :

- ⊕ Le mécanicien du train ne peut voir les signaux lumineux de façon fiable ;
- ⊕ La distance de freinage élevée d'un train circulant à haute vitesse ne peut être couverte par l'application de signaux principaux et d'avertissement.

Par conséquent, de nouveaux systèmes avec signalisation en cabine sont obligatoires. L'aspect des signaux est affiché à l'intérieur de la loge plutôt que d'être indiqué sur des feux en bordure de voie, pour éviter une perte de visibilité dans la pluie, le brouillard et la neige.

Les systèmes de signalisation et de contrôle des trains à haute vitesse sont conçus pour assurer automatiquement le respect des signaux et des limites de vitesse. Le train est ainsi protégé des erreurs humaines et donc évite d'éventuelles collisions et des déraillements dus aux vitesses excessives dans les courbes.

Le système canadien de signalisation actuel ne pourra ni répondre aux besoins de l'exploitation à haute vitesse au-delà de 200 km/h, pas plus qu'il ne pourra être mis à niveau pour y arriver.

#### 2.4.2 Systèmes disponibles

Plusieurs systèmes de signalisation et contrôle en service dans le monde conviennent à l'usage des systèmes de trains à haute vitesse. Les systèmes de signalisation utilisés pour le service voyageur à



haute vitesse ont été développés dans les différents pays à partir de leurs systèmes conventionnels, par exemple, dans le Corridor Nord-est des États-Unis, en France, en Allemagne, en Suède et dans d'autres pays.

Dans la plupart des pays, les trains à haute vitesse ne sont pas limités à leur infrastructure exclusive, mais circulent aussi sur des lignes existantes et doivent partager des voies avec les trains conventionnels. Ainsi, les systèmes de contrôle des trains sur leurs lignes respectives peuvent se développer de façon compatible à partir de la technologie de signalisation conventionnelle. Les nouveaux systèmes peuvent quand même utiliser des installations d'occupation de voie et d'autres composantes de signalisation communes, en superposition avec les systèmes de contrôles des trains et de protection automatiques qui leur sont propre.

Dans l'étude précédente (CIGGT Rapport No. 93-1), plusieurs systèmes de signalisation et contrôle ont été mentionnés et évalués. Tous les systèmes examinés sont exploités et bien éprouvés. Tous ces systèmes, représentant généralement des solutions propres à chaque pays, sont exploités en coopération étroite avec le système de signalisation conventionnel de chaque exploitant ferroviaire. De tous ces systèmes, le TVM 430 "Transmission Voie-Machine" a été choisi comme base pour les estimations et les calculs ultérieurs dans l'ÉPTRQO. Le TVM 430 est le système de signalisation en cabine utilisé sur les plus récentes lignes TGV, et est une amélioration du système moins récent TVM 300.

Avec la croissance du réseau à haute vitesse européen, il est devenu essentiel de trouver une solution aux problèmes causés principalement par l'incompatibilité des systèmes nationaux de signalisation. Alors le Système européen de gestion du trafic ferroviaire (*European Railway Traffic Management System*, ERTMS), qui comprend la protection automatique des trains (*ETCS European Train Control System*) et des communications radio a été développé. De nos jours, l'ERTMS est le système de contrôle de la circulation ferroviaire prescrit pour chaque nouveau projet d'infrastructure en Europe. Comme les autres systèmes européens de contrôle des trains, le TVM 430 (utilisé notamment par le TGV français) a été adapté progressivement et il est prévu qu'il sera remplacé à moyen terme par l'ERTMS.

Jusqu'à maintenant, la plupart des systèmes de signalisation et de communications examinés dans l'étude précédente sont encore disponibles et sont pris en considération dans la présente évaluation. Le tableau 4 donne un aperçu des systèmes à haute vitesse de signalisation et de contrôle des trains pertinents à l'échelle mondiale.



TABLEAU 4 : Systèmes existants de signalisation et de contrôle des trains (UIC, [12])

Système ATC disponible	Manufacturier	Système en Service dans le pays depuis		Vitesse max. d'exploitation (km/h)
AWS/TPWS	Bombardier	Royaume-Uni	2002	200
EBICAB 700	Bombardier, Montréal	Norvège, Suède, Portugal, Bulgarie	1990	220
EBICAB 900	Bombardier	Finlande, Espagne	1997	220
ZUB	Alstom	Suisse	2000	220
ATC	Hitachi, Kawasaki	Japon	1964	220
ATP / ACELA	Bombardier, Alstom	É.U, Amtrak	2000	241
SCMT/BACC	Ansaldo	Italie	2002	200
ATC (TVM)	Alstom	Corée	2004	300
DS-ATC / ATP	Hitachi, Kawasaki	Japon, Taiwan	2007	300
TVM/KVB	Alstom,	France	1978	430
TVM/KVB - ETCS	Alstom,	France	2007	430
LZB/PZB, ZUB	Siemens/Thales	Allemagne	1991	300
ETCS niveau 2(ERTMS)	Alstom, Ansaldo, Bombardier, Invensys, Siemens, Thales,	Mondialement i.e. France, Allemagne, Italie, Suisse. Chine, Inde, Arabie Saoudite, Mexique et plus	2002	300

Les principales caractéristiques des systèmes de contrôle des trains et une évaluation de chacun sont présentées à l'annexe D. La comparaison démontre qu'il y a des différences en ce qui a trait à l'application de la vitesse maximale d'exploitation et à d'autres conditions nationales.

### 2.4.3 Système de signalisation représentatif

Pour les fins d'évaluation et de calcul plus approfondis dans la présente étude, le ERTMS est choisi comme étant la technologie représentative puisque :

- ⊕ ERTMS est le système le plus récent comportant les derniers développements technologiques ;
- ⊕ ERTMS est cependant éprouvé en exploitation ;
- ⊕ la disponibilité du ERTMS sera assurée par 6 manufacturiers internationaux indépendants ;
- ⊕ ERTMS fournit la protection automatique des trains pour tous les systèmes de signalisation et les systèmes à haute vitesse.

L'ERTMS avec ses composantes ETCS et GSM-R est en voie de devenir une norme globale. La preuve en est l'intérêt de plusieurs pays incluant l'Australie, la Chine, l'Afrique du Sud et le dernier mais non le moindre, les pays de l'Amérique du Nord.

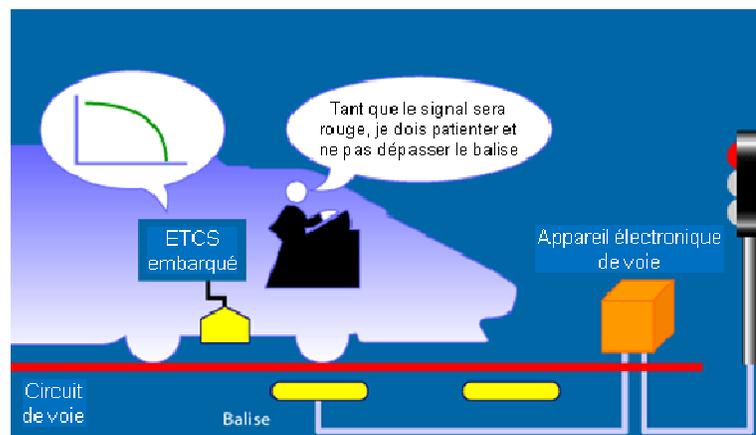
Il est important de souligner que la technologie choisie pour évaluation et calculs futurs est représentative pour fins d'analyse et ne constitue pas une recommandation.

#### 2.4.4 Composantes du système

Les niveaux d'application du ERTMS définissent ses différents usages comme système de contrôle des trains, allant de

- ⊕ Communications entre voie et train, de point à point (niveau 1) ;
- ⊕ Communications continues entre le train et le centre radio (niveau 2).

**ERTMS Niveau 1** tel que présenté dans la Figure 17 sera superposé au système de signalisation existant.



**FIGURE 17 : ERTMS Niveau 1**

Les autorisations de procéder seront transmises par balises. L'intégrité du train et sa position seront détectées par des circuits de voie ou des systèmes de comptage d'essieux.

Alors que l'utilisation du niveau 1 fournit déjà des avantages significatifs pour les chemins de fer, il est communément reconnu qu'à date l'ERTMS Niveau 2 offre des avantages considérables spécialement pour l'exploitation à haute vitesse. ERTMS Niveau 2 (Figure 18) comptera comme composantes principales des balises et le centre de contrôle radio tel qu'il est présenté ci-après.

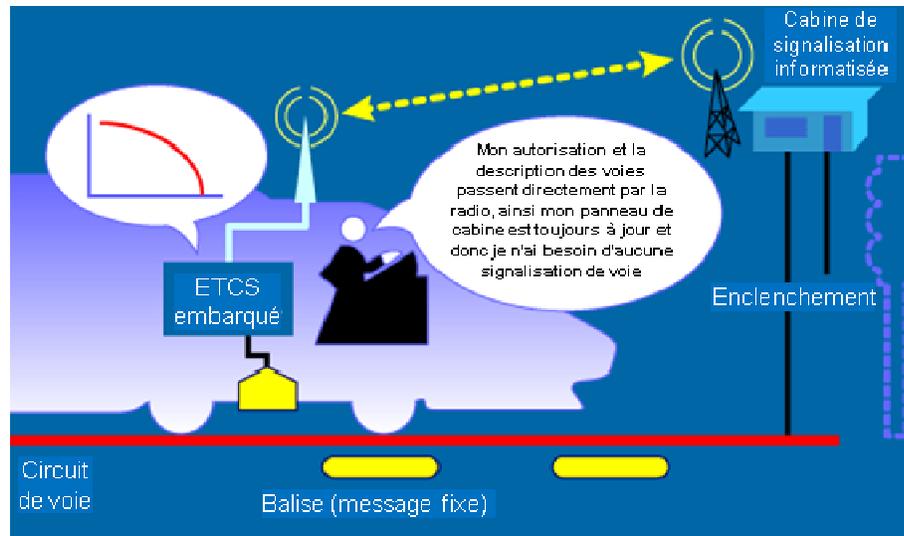


FIGURE 18 : ERTMS Niveau 2

L'ERTMS comporte une nouvelle signalisation embarquée basée sur de l'architecture informatique ouverte (EUROCAB), un système discontinu pour la transmission de données (EUROBALISE) et un système de transmission continu (EURORADIO).

L'ERTMS Niveau 2 peut être implanté comme un système superposé à un système de signalisation, contrôlant la séparation du train sur toute la ligne ou comme système autonome si la fonctionnalité de séparation du train est implantée dans le système de voie ERTMS/ETCS. De plus, les conditions préalables suivantes sont nécessaires :

- ⊕ Les cantons sont fixes ;
- ⊕ La communication radio bidirectionnelle est utilisée ;
- ⊕ L'information d'occupation de voie est basée sur l'information venant du système de détection des trains ;
- ⊕ L'information en bordure de voie est centralisée dans le centre de contrôle radio ;
- ⊕ L'intégrité du train sera détectée par les systèmes en bordure de voie.

L'ERTMS niveau 2 n'a besoin d'aucun système de signalisation lumineux. Avec l'ERTMS, toutes les exigences du système THV seront respectées. Le système fonctionne pour les hautes vitesses, de 200 km/h à 500 km/h, sans différences systématiques dans la conception et les coûts du système.



#### 2.4.4.1 Le centre de contrôle radio (CCR)

Le CCR est le système fixe de commande des trains conçu pour contrôler le trafic ferroviaire dans le territoire équipé du système ERTMS niveau 2. Il capte de l'information relative à l'occupation des cantons et aux itinéraires fixés provenant de l'équipement d'enclenchement correspondant et fournit les autorisations de marche aux trains à sa portée de contrôle. Le CCR est constitué des parties suivantes.

- ⊕ Un sous-système de gestion de la sécurité vital, en redondance, basé sur la technologie propriétaire d'architecture informatique «2 de 3» ;
- ⊕ Un système de cryptage et de décryptage des messages, selon les normes d'EURORADIO ;
- ⊕ La gestion des autorisations de marche ;
- ⊕ Le CCR supporte des interfaces avec les CCR adjacents, des interfaces séries avec des systèmes d'enclenchement intégrés et d'autres sources de données vitales ;
- ⊕ Un sous-système de gestion non vital, en redondance, basé sur une architecture de matériel commercial, comprenant des enregistrements et des diagnostics d'événements, relié au système de gestion de maintenance ;
- ⊕ La surveillance à distance ou un centre de contrôle centralisé de la circulation (CCC).

#### 2.4.4.2 Système radio GSM-R

Le système GSM-R (pour *Global System for Mobile Communications – Railway*, Système global de communications mobiles ferroviaires) ou GSM-Railway est une norme internationale de communications sans fil pour les applications ferroviaires. C'est un sous-système d'ERTMS et il sera utilisé pour la communication entre le train et les centres de contrôle de la régulation ferroviaire. Le système est basé sur les spécifications GSM et EIRENE – MORANE, qui garantissent la performance à des vitesses s'élevant à 500 km/h, sans aucune perte de communications.

Le GSM-R est une plateforme sécuritaire pour la communication vocale et la transmission de données entre le personnel d'exploitation ferroviaire, incluant les mécaniciens, les répartiteurs, les membres de l'équipe de manœuvre et les contrôleurs de gare.

Le groupe industriel du GSM-R travaille de concert avec les institutions internationales comme l'ERA et l'UIC à l'élaboration d'un document de gestion des versions, définissant ses principes d'implantation, ses procédés et son financement en Europe. Le groupe est constitué des entreprises suivantes : Nokia Siemens Networks, Siemens, Frequentis, Alstom, Funkwerk, Selex, Sagem Communications, Wenzel Elektronik et Kapsch.



## 2.4.5 Intégration à des systèmes existants

Les nouvelles lignes à haute vitesse seront reliées aux systèmes locaux ferroviaires passagers dans la plupart des grands centres urbains, tels que Québec, Montréal, Ottawa, Toronto et London. Cela comprend l'usage de sections d'emprises existantes par des trains à haute vitesse.

Un trafic mixte de trains conventionnels et de trains à haute vitesse peut être exploité selon l'une ou l'autre des options suivantes.

### 2.4.5.1 *Tous les trains fonctionnent avec le système de signalisation existant non modifié*

Dans ce cas, les trains à haute vitesse doivent suivre les signaux lumineux et doivent s'adapter et réduire leur vitesse dans ces sections. Aucune modification n'est nécessaire pour les trains conventionnels. Cette option ne fournit pas de contrôle et de protection automatique des trains sur ces segments de voie et ne sera donc pas recommandée. Éventuellement, l'utilisation de plus grands segments de voies existantes pourra mener vers une augmentation significative du temps de trajet.

### 2.4.5.2 *Tous les trains fonctionnent exclusivement avec le nouveau ERTMS niveau 2*

Dans ce cas, tous les trains peuvent fonctionner à la vitesse maximale permise selon l'état des lignes et les caractéristiques du train. Le système de signalisation existant doit être remplacé. Les trains THV et les trains conventionnels doivent être équipés des installations ERTMS.

### 2.4.5.3 *Tous les trains fonctionnent avec le système ERTMS niveau 1 superposé au système existant*

Avec cette option, la vitesse maximale d'exploitation sera déterminée par la longueur des cantons existants. Celles-ci correspondent généralement aux distances de freinage de trains existants. Ainsi, les THV circuleront à vitesse réduite.

Le système de signalisation existant n'a pas à être remplacé mais les installations sur le terrain devraient être munies de balises exigées par le système ERTMS-1.

Les THV et les trains existants devraient tous deux être munis des installations ERTMS.



#### 2.4.5.4 Les THV sont les seuls à fonctionner avec l'ERTMS niveau 1 superposé au système existant

Cette option sera semblable à la précédente, sauf que les trains conventionnels ne seront pas équipés des installations ERTMS. Cette option n'est pas recommandée puisque le contrôle et la protection automatique ne sont pas assurés pour tous les trains.

Le système de contrôle automatique des trains déjà en exploitation pour les trains de banlieue pourrait rester en place et être utilisé par ces trains. Le système de signalisation en place n'a donc pas à être remplacé, mais les équipements en bordure de voie devraient être adaptés en y installant les balises requises pour le système ERTMS Niveau 1.

La connexion des lignes ferroviaires existantes au nouveau THV sera effectuée de manière plus ou moins complexe selon des exigences individuelles. Le système de signalisation existant, comprenant un système centralisé avec enclenchements et des systèmes de voie avec signaux lumineux, les moteurs d'aiguillage et les dispositifs d'occupation de voie comme les circuits de voie et les systèmes de comptage d'essieux, doivent être adaptés.

Le nouveau système de contrôle automatique des trains ERTMS doit être superposé aux installations d'enclenchement existantes en utilisant l'une des options susmentionnées. Pour chaque station reliée, les systèmes d'enclenchement respectifs doivent être inspectés pour définir l'étendue des mesures individuelles de mise à niveau, selon l'amplitude du travail que représente chacune d'entre elles et l'état de leurs systèmes de signalisation actuels.

En utilisant les voies à basse vitesse existantes dans les centres urbains, le système existant peut être adapté au nouveau système, si possible et techniquement réalisable. Ceci requiert une solution individualisée qui doit être développée par le nouveau fournisseur et par celui s'occupant des installations existantes. Une simple adaptation des installations est généralement la solution la plus économique si elle est envisageable. Par contre, la reconstruction complète des installations de signalisation s'avère plus efficace dans certains cas.

Des solutions spécifiques peuvent être développées et optimisées seulement après une évaluation détaillée des systèmes et des installations actuelles qui ne fait pas partie de la présente étude. Pour faire l'évaluation, une installation de l'ERTMS 2 a été choisie (incluant un équipement de trains conventionnels avec des systèmes ERTMS à bord) afin d'éviter une augmentation du temps de trajet lors de l'exploitation de voies existantes et pour ainsi fournir les normes les plus élevées de sécurité.

Les trains conventionnels utilisant seulement les voies d'approche aux ateliers pour des besoins de maintenance n'ont pas à être équipés de systèmes ERTMS. Les trains sur ces voies complémentaires seront exploités au moyen du système de signalisation conventionnel (marche à vue).



L'annexe R fournit des renseignements additionnels au sujet de la signalisation.

## 2.5 La protection du système

### 2.5.1 Partage de voies

Comme il est expliqué dans la section 2.2.1, n'importe quelle voie existante appropriée peut être utilisée par les trains à haute vitesse. Cependant, il y a des limitations de vitesse résultant de la géométrie de la voie, des paramètres du tracé et de la qualité de la maintenance.

Par exemple, les trains ICE circulent sur environ 1 300 km de nouvelles lignes, mais aussi sur plus de 5 000 km de lignes conventionnelles et mises à niveau. Inversement, toujours en Allemagne, la plupart des nouvelles lignes ont été conçues pour l'exploitation du trafic mixte: elles sont utilisées par les trains à haute vitesse ainsi que par les trains voyageurs régionaux et les trains de marchandises.

Ce n'est pas le cas en France, au Japon et en Espagne.

Pour les trains à haute vitesse du corridor Québec-Windsor, il ne devrait pas y avoir de problème à utiliser les voies conventionnelles à une vitesse réduite si :

- ⊕ La capacité de la voie est suffisante ;
- ⊕ Les trains à haute vitesse sont équipés du système de signalisation conventionnel en plus du système haute vitesse ;
- ⊕ Les lignes sont électrifiées (si le THV lui-même est électrifié).

#### 2.5.1.1 Partage avec le trafic de marchandises

L'exploitation de trains voyageurs rapides et de trains de marchandises lents partageant la même infrastructure peuvent causer de graves problèmes de capacité. C'est pour cette raison que les trains de marchandises utilisant les lignes haute vitesse allemandes circulent surtout la nuit lorsque le trafic ferroviaire voyageur est arrêté. La Figure 19 illustre l'une des rares exceptions à cette règle. Ce principe d'exploitation peut être exprimé comme étant un "Trafic mixte avec programme d'exploitation séparé pour le jour et la nuit".



FIGURE 19 : Train de marchandises à 160 km/h sur une section de la ligne haute vitesse Fulda-Würzburg

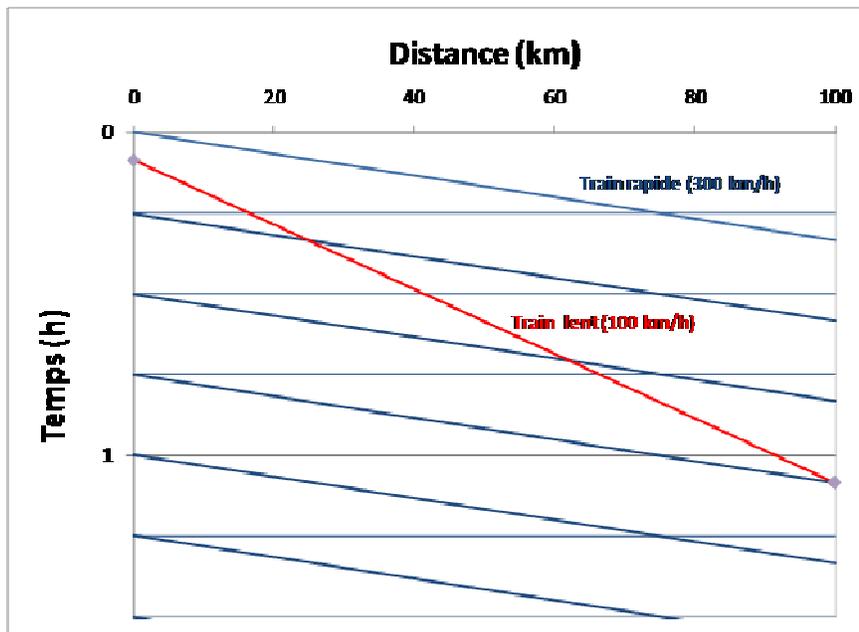


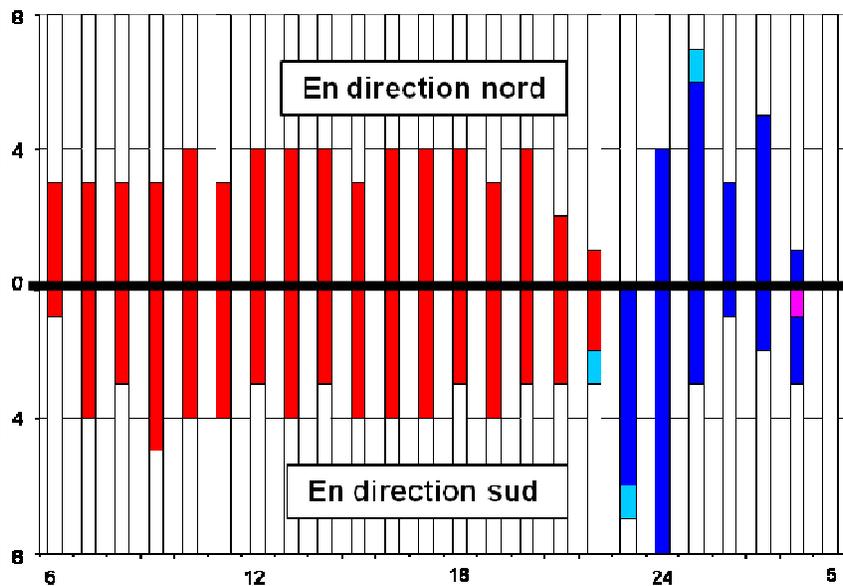
FIGURE 20 : impact de différentes vitesses de train sur la capacité

La figure 20 présente des trains à haute vitesse (trains rapides de 300 km/h) circulant sur une distance de 100 km à intervalle de 15 minutes. Un train de marchandises plus lent (100 km/h)

suivant de 5 minutes un premier train à haute vitesse croisera le parcours des trois trains à haute vitesse suivants. Des voies d'évitement seraient nécessaires aux points de croisement. Autrement, dans ce cas-ci, la capacité de la section de ligne est limitée à deux trains à l'heure. Ceci étant la raison de la très courte distance, environ 7 km, des voies d'évitement sur la première des lignes à trafic mixte à haute vitesse en Allemagne. Les passages fréquents de trains lents causent une augmentation substantielle des temps de trajet.

Ainsi, de nos jours, la DB sépare les trains rapides et lents selon les heures d'exploitation, tel qu'il est démontré dans la figure 21.

Pour l'exploitation de trafic mixte, le dévers doit être un compromis. Si le dévers est trop important, les trains de marchandises lourdes écraseront le rail inférieur. Si le dévers est insuffisant, le confort des passagers sera dégradé. Puisque les problèmes augmentent avec l'écart de vitesse, la vitesse maximale des trains passagers sera limitée sur les voies de trafic mixte. En tenant compte des trains de marchandise nord-américains particulièrement lourds et lents, le trafic mixte avec des trains à haute vitesse n'est pas une option recommandable.



**FIGURE 21 : Répartition programmée des trains pendant les jours ouvrables sur la ligne haute vitesse Hanovre-Würzburg, section Göttingen-Kassel, 2003 (en rouge : trains à haute vitesse – axe vertical : nombre de trains/heure – axe horizontal : heures de passage)**



### 2.5.1.2 Partage avec les trains de banlieue et autre trafic voyageurs

Le partage de voie avec les trains de banlieue et autre trafic ferroviaire voyageurs survient surtout lorsque le THV et les autres trains arrivent et partent des gares, en raison de l'espace trop restreint pour pouvoir ajouter une voie exclusive au THV dans ces secteurs. La perte de temps pour le THV n'est généralement pas significative puisqu'il doit nécessairement réduire sa vitesse à l'approche des gares lorsqu'il freine ou accélère.

### 2.5.2 Partage d'emprise

On peut implanter un THV dans une emprise existante, ferroviaire ou routière, partageant l'espace avec les voies des trafics ferroviaires conventionnels et la chaussée des autos et camions, sous certaines conditions.

- ⊕ Il devrait y avoir assez d'espace entre la voie du THV et les lignes conventionnelles (ou la chaussée) pour mettre en place des mesures de protection. L'atténuation et/ou les mesures de protection sont nécessaires pour empêcher des marchandises de tomber sur les voies à haute vitesse. Cela concerne les charges de camion ainsi que le déraillement de wagons de marchandises. Ces mesures peuvent consister en des talus, des barrières d'acier ou suffisamment d'espace entre les voies ;
- ⊕ L'emprise ainsi partagée devrait fournir les paramètres d'alignement (rayons et pentes) correspondent à la vitesse désirée du THV dans les secteurs partagés.

Selon le nombre d'embranchements industriels et de passages à niveau, un nombre plus ou moins grands de structures de dénivellation supplémentaires sont nécessaires puisque les croisements à niveau de voie existants et de routes sont inacceptables.

### 2.5.3 Passages à niveau routiers

Les passages à niveau sont un danger pour les trafics ferroviaires et routiers. La gravité des accidents s'amplifie avec la vitesse croissante des trains.

En Europe, les traversées à niveau de routes ont été éliminées de presque tous les secteurs où la vitesse des trains dépasse 160 km/h.

- ⊕ En Allemagne, il existait une approbation spéciale là où la vitesse des trains pouvait atteindre 200 km/h aux passages à niveau, et ce, jusque dans les années 1990. Aujourd'hui, la vitesse maximale d'un train aux passages à niveau est limitée à 160 km/h. Les demi-barrières sont utilisées seulement sur des lignes de trains à basse vitesse. Les accidents ou les défaillances

techniques aux passages à niveau sont aussi la cause de 8,5 % de tous les retards techniques en Allemagne à la DB AG ;

- ✚ En Grande-Bretagne, les trains sont autorisés à s'approcher des passages à niveau à barrières complètes fermées à une vitesse maximale de 200 km/h et des passages à niveau à demi-barrière à une vitesse maximale de 160 km/h. En 2004, un conducteur automobile a été tué à cause d'un accident mortel suite à une collision avec un train à haute vitesse traversant la route à 200 km/h environ ; 7 personnes ont été tuées, toutes les voitures du train ont déraillé et ont été sérieusement endommagées.



**FIGURE 22 : Accident à un passage à niveau en Grande-Bretagne**

- ✚ En France, plus de la moitié des accidents impliquant un TGV et une voiture ou un camion (quand le train circule sur les lignes conventionnelles) est survenu à un passage à niveau ;
- ✚ En Asie, les passages à niveau ont été éliminés dès le début pour la plupart des nouvelles lignes qui ont été conçues pour l'usage exclusif du THV ;
- ✚ Sur la voie haute vitesse Acela, il ne restait que très peu de passages à niveau quand un accident s'est produit le 28 septembre 2005. Un Acela voyageant de Boston à Washington, est devenu le premier train Acela impliqué dans une collision à un passage à niveau quand il a heurté une voiture à Miner Lane à Waterford dans le Connecticut. Le train s'approchait du croisement à une vitesse d'environ 70 miles à l'heure (110 km/h) lorsque l'automobile a apparemment dévié sous le bras de la barrière à basse vitesse pour ensuite être heurtée par le train et trainée sur une longueur de 1 000 pieds (300 m). Trois personnes y ont perdu la vie. L'incident a suscité beaucoup de critiques de la part du public concernant les 11 passages à niveau restants dans le corridor achalandé du Nord-Est de Amtrak, malgré que les barrières aient été inspectées plus tard et déclarées fonctionnelles au moment de l'incident.



**FIGURE 23 : Accident à un passage à niveau Acela Cook, [13])**

Les barrières doivent être fermées environ cinq minutes avant que le train n'atteigne le croisement afin, qu'en cas de disfonctionnement de celles-ci, un train circulant à 200 km/h puisse effectuer un arrêt d'urgence. Ceci peut occasionner des engorgements de la circulation routière et, parce que le temps d'attente est trop long, peut inciter les gens à traverser les voies malgré les barrières fermées.

C'est pourquoi, partout dans le monde, les exploitants de réseaux ont l'intention de remplacer les passages à niveau par des structures de dénivelation sur les lignes utilisées par les trains voyageurs à haute vitesse.

D'autres problèmes peuvent survenir lors du partage d'emprises. Un passage à niveau de la ligne haute vitesse serait toujours combiné à celui de la voie conventionnelle. Les barrières fermées pendant longtemps entraînent aussi tous les effets négatifs.

#### 2.5.4 Clôturer les voies de THV

La plupart des lignes haute vitesse sont séparés des milieux traversés. Si les lignes ne passent pas dans des tunnels ou sur des ponts et que les murs de protection contre le son ou les barrières à neige ne sont pas requis, des clôtures spéciales devront alors être construites pour prévenir les intrusions non autorisées. De plus, un système de détection automatique d'intrusion peut être installé.



### 2.5.5 Sécurité

En général, les systèmes ferroviaires donnent un accès assez ouvert à leurs usagers. Seuls les passagers voyageant dans le tunnel sous la Manche, reliant la France au Royaume-Uni, doivent passer à la sécurité, qui est semblable à celle des aéroports, au terminal correspondant.

La mise en place de tels contrôles de sécurité pour des systèmes à haute vitesse augmentera de façon substantielle le temps de déplacement et ainsi en réduira ses avantages par rapport aux autres modes de transport. De plus, il est quasi impossible d'isoler complètement les systèmes de transport (comme le système ferroviaire, qu'il s'agisse de transport de voyageurs ou de marchandises, sur de courtes ou de longues distances).

À la lumière des pratiques mondiales, aucun contrôle de sécurité semblable à celui des aéroports ne sera considéré pour le Corridor. En raison de l'importance de la décision finale, qui dépend beaucoup du développement de risques et des technologies de prévention, cet enjeu ne pourra être tenu en compte dans le cadre de cette étude.

## 2.6 Les exigences géométriques

Le THV comporte des exigences géométriques :

- ⊕ certaines d'entre elles, comme la pente maximale franchissable, influencent la capacité de puissance installée dans les rames ;
- ⊕ d'autres, comme des rayons minimaux pour des courbes horizontales, sont instaurées pour le confort des voyageurs.

Ces exigences géométriques influencent le choix du tracé. En définissant les tracés représentatifs dans le Livrable 5, les exigences géométriques appropriées, en fonction de la vitesse maximale d'exploitation, ont été utilisées comme base pour définir des alignements représentatifs, en évaluant les coûts qui leur sont associés et en évaluant les impacts sur l'environnement.



### 3 CONTRAINTES ET EXIGENCES DU CORRIDOR

Le corridor Québec-Windsor entraînera des contraintes et des exigences à l'égard de la technologie THV, compte tenu de sa longueur et de son emplacement géographique.

Les discussions au sujet des impacts de ces contraintes et exigences sont regroupées dans cette section.

#### 3.1 Distances

La longueur totale du Corridor Québec-Windsor, soit approximativement 1 200 km, donne l'impression qu'il serait trop long pour y exploiter convenablement un THV; en effet, il serait difficile pour le THV d'être concurrentiel, au plan du temps de trajet, pour un voyage de 1 200 km de Québec à Windsor.

Toutefois, les déplacements dans le corridor ne se font habituellement pas sur de si longues distances. D'après les données du ÉPTRQO, confirmées par les prévisions de clientèle de l'étude actuelle, les principaux marchés voyageurs sont les suivants, en ordre décroissant, voyages aller seulement, tous modes, incluant les distances correspondantes :

- Toronto-Kitchener (100 km) ;
- Québec-Montréal (260 km) ;
- Toronto-London (195 km) ;
- Montréal-Ottawa (195 km) ;
- Montréal-Toronto (550 km) ;
- Ottawa-Toronto (400 km).

Sur de telles distances, sauf possiblement Toronto-Kitchener (en raison de la distance plus courte), le THV peut offrir un service concurrentiel (il en est ainsi dans tout les pays qui l'exploite) et son exploitation dans le corridor vaut la peine d'être considérée.

#### 3.2 Exploitation hivernale

Depuis les toutes premières études du THV du Corridor Québec-Windsor, l'exploitation de cette technologie dans des conditions hivernales a toujours soulevé des questions.

Du temps de l'étude ÉPTRQO, les expériences d'exploitation du THV les plus importantes étaient limitées au Japon et à la France, sur des lignes construites sous des conditions climatiques relativement douces. La situation est différente aujourd'hui.



Par exemple :

- ⊕ La Corée du Sud, avec ses températures moyennes de -6°C en hiver, les plus basses atteignant -15°C, exploite un THV à 300 km/h ;
- ⊕ Des THV sont exploités sur des centaines de kilomètres de lignes en Suède, par des trains pendulaires qui circulent à 200 km/h, dans des régions où il y a d'abondantes chutes de neige ; certaines lignes seront mises à niveau pour permettre une circulation à 250 km/h ;
- ⊕ La ligne de Moscou à Saint-Pétersbourg est en voie d'être améliorée afin de permettre des vitesses maximales de 250 km/h et éventuellement de 300 km/h. De nouvelles rames haute vitesse sont en commande pour le deuxième semestre de 2009.

Pour réaliser ces développements, et comme résultat d'y être parvenu, beaucoup de recherche et développement et d'expérience ont été accumulés sur l'exploitation hivernale du THV.

Les Chemins de fer suédois, qui ont publié en 2006 un rapport intitulé *High-Speed Train Operation on Winter Climate "a Study on Winter Related Problems and Solutions Applied in Sweden, Norway, and Finland"* (Exploitation du train à haute vitesse dans un climat d'hiver: une étude sur les problèmes reliés à l'hiver et des solutions appliquées en Suède, en Norvège et en Finlande). Nous y ferons référence plus tard dans ce rapport comme étant étude TransRail (2006). Comme ces données étaient limitées à une exploitation de 200 km/h, l'UIC a initié une étude de suivi qui traite du « THV dans des conditions climatiques extrêmes ». Les résultats de cette étude incluant les expériences de tous les principaux exploitants de la haute vitesse seront disponibles en 2010.

Si un système de THV devait être implanté dans le Corridor, sa conception, son architecture et sa construction profiteraient des résultats de telles recherches, développements et expériences.

L'annexe Q fournit des renseignements additionnels au sujet de l'exploitation d'un train durant l'hiver.

### 3.2.1 Situation climatique du corridor

Pour mettre en perspective la situation climatique du Corridor, le tableau ci-dessous compare les différentes moyennes :

- La température quotidienne ;
- Le nombre de jours sous la barre des 0 °C ;
- Le nombre de jours sous la barre des 17°C (15 °C) ;
- Les précipitations ;

Pour des villes représentatives du Corridor (Québec, Ottawa, Windsor) par rapport à des villes où le THV est exploité ou sera opérationnel sous peu (Paris, Francfort, Séoul, Moscou). Les résultats



démontrent que les nouveaux services haute vitesse sont prodigués ou planifiés peu importe les conditions environnementales. Néanmoins, les compagnies ferroviaires connaissent les risques potentiels puisque des programmes de recherche pertinents ont été initiés, comme chez UIC, par exemple.

**TABLEAU 5 : VILLES DOTÉES DE TRAIN À HAUTE VITESSE PLANIFIÉ OU EN OPÉRATION – TEMPÉRATURE QUOTIDIENNE MOYENNE EN °C<sup>20</sup> (TRADUIRE LES VILLES, PAYS ET LES MOIS, PUISQUE LE TABLEAU EST COPIÉ À TITRE D'IMAGE)**

City	Country	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Ankara	Turkey	-1.3	2.1	6.3	10.8	15.6	19.8	23.0	22.1	17.9	12.8	6.7	1.3	11.4
Frankfurt	Germany	0.2	1.8	5.4	9.7	14.3	17.5	19.0	18.3	14.8	9.8	4.9	1.7	9.8
Harbin	China	-19.8	-15.1	-5.1	6.1	14.0	19.8	23.1	21.5	14.7	6.0	-5.7	-15.8	3.5
Montreal	Canada	-9.6	-8.4	-2.5	5.7	13.3	18.6	21.3	20.0	15.3	8.9	1.5	-6.5	6.5
Moscow	Russia	-10.2	-8.9	-4.0	4.5	12.2	16.3	18.5	16.6	10.9	4.3	-2.0	-7.5	4.2
Oslo	Norway	-0.1	0.0	1.3	4.8	10.9	15.0	17.1	16.3	13.0	9.6	5.0	1.8	8.2
Ottawa	Canada	-11.0	-10.1	-3.6	5.1	12.8	18.2	20.6	19.3	14.7	8.1	0.7	-7.9	5.5
Paris	France	2.5	4.1	6.4	10.0	13.8	16.9	18.6	18.2	15.4	10.8	6.3	3.4	10.5
Québec	Canada	-12.0	-10.6	-4.5	3.2	10.8	16.2	19.2	17.7	12.8	6.8	-0.1	-8.9	4.2
Riyadh	Saudi Arabia	14.3	16.2	20.8	25.0	30.8	33.6	34.6	34.4	31.4	26.3	20.6	15.4	25.2
Tokyo	Japan	3.6	4.3	7.4	13.0	17.3	20.8	24.7	26.1	22.4	16.5	11.1	6.1	14.5
Toronto	Canada	-4.9	-5.0	-0.7	5.9	12.2	17.8	20.8	19.9	15.8	9.3	3.2	-2.5	7.6
Windsor	Canada	-4.0	-2.9	2.5	9.0	15.4	20.7	23.4	22.3	18.3	11.8	5.5	-1.0	10.1

**TABLEAU 6 : Villes dotées de train à haute vitesse planifié ou en opération – Moyenne de jours sous la barre des 0°C (Internet, [15])**

City	Country	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Ankara	Turkey	28	23	21	7	1	---	---	---	---	6	19	26	131
Frankfurt	Germany	18	17	11	5	---	---	---	---	---	2	10	15	78
Harbin	China	31	28	30	15	1	---	---	---	1	17	29	31	183
Montreal	Canada	30	27	25	12	1	---	---	---	1	8	19	30	153
Moscow	Russia	31	27	28	15	2	---	---	---	2	14	25	30	174
Oslo	Norway	28	25	24	14	1	---	---	---	1	8	20	28	149
Ottawa	Canada	30	27	27	13	1	---	---	---	---	8	21	30	157
Paris	France	13	12	6	2	---	---	---	---	---	---	7	11	51
Québec	Canada	31	28	29	17	2	---	---	---	1	11	24	30	173
Riyadh	Saudi Arabia													na
Tokyo	Japan	10	7	1	---	---	---	---	---	---	---	---	2	20
Toronto	Canada	29	26	25	13	2	---	---	---	1	6	17	28	147
Windsor	Canada													na

<sup>20</sup> Source : <http://www.worldclimate.com/>



**TABLEAU 7 : Villes dotées de train à haute vitesse planifié ou en opération – Moyenne de jours sous la barre des -17 °C (\* -15 °C) (Internet, [15])**

City	Country	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Ankara*	Turkey	4	2	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	7
Frankfurt	Germany	---	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1
Harbin*	China	30	24	5	---	---	---	---	---	---	---	7	25	91
Montreal*	Canada	15	11	4	---	---	---	---	---	---	---	---	9	39
Moscow	Russia	9	6	1	---	---	---	---	---	---	---	1	4	21
Oslo	Norway	2	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	5
Ottawa*	Canada	16	11	4	---	---	---	---	---	---	---	---	10	41
Paris	France													na
Québec*	Canada	19	15	7	---	---	---	---	---	---	---	1	13	55
Riyadh	Saudi Arabia													na
Tokyo	Japan													na
Toronto*	Canada	8	7	2	---	---	---	---	---	---	---	---	4	21
Windsor	Canada													na

**TABLEAU 8 : Villes dotées de train à haute vitesse planifié ou en opération – Moyenne de précipitations (cm) (Internet, [15])**

City	Country	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Ankara	Turkey													na
Frankfurt	Germany	4	4	5	5	6	7	6	7	5	5	5	5	64
Harbin	China	---	---	1	2	4	8	15	11	6	2	1	---	50
Montreal	Canada	7	6	7	7	6	8	8	9	8	7	8	8	89
Moscow	Russia	3	2	3	3	5	6	8	7	5	5	4	4	55
Oslo	Norway	21	18	20	17	18	19	20	20	20	19	20	20	232
Ottawa	Canada	5	5	6	6	7	7	8	8	7	7	7	8	81
Paris	France													na
Québec	Canada	8	7	7	7	9	10	11	10	11	8	9	10	107
Riyadh	Saudi Arabia	1	1	3	3	1	---	---	---	---	---	---	1	10
Tokyo	Japan	5	7	10	12	14	17	13	14	21	19	9	5	146
Toronto	Canada	4	4	5	6	6	6	7	8	7	6	6	6	71
Windsor	Canada	5	5	7	8	8	9	8	8	7	6	7	7	87

### 3.2.2 Problèmes causés au véhicule et leurs solutions possibles

Selon l'étude TransRail (Transrail, [16]), les conditions hivernales affectant le plus un véhicule de THV sont la neige sèche (dont les particules fines s'accumulent dans les bogies et en dessous du véhicule, affectent les freins, et peuvent pénétrer dans le véhicule par les conduits d'air) et les changements soudains de température, comme lorsque le véhicule passe d'une région plus chaude à une région dont la température est au-dessous du point de congélation.

Le rapport aborde les problèmes trouvés et les solutions qui sont ou pourraient être appliquées à l'égard des impacts les plus sensibles aux conditions hivernales dans l'exploitation d'un véhicule.

- ⊕ Les bogies : roues, essieux et roulements d'essieux, suspension, mécanisme d'inclinaison, dynamiques de roulement ;
- ⊕ Le système de freins et leur efficacité ;
- ⊕ La caisse (portes et marches, passerelles et attelages, réservoirs, tuyaux et conduites; sous-châssis; câbles).

Les recommandations possibles pour le véhicule sont de :

- # Installer des équipements de déglacage (figure 24) ;
- # Sceller les véhicules au maximum ;
- # Protéger les pièces fragiles au moyen de couvercles flexibles ;
- # Remplir les trous et les coins avec un matériau élastique ;
- # Chauffer les composantes cruciales ;
- # Recouvrir les disques de freins ;
- # Installer des systèmes indépendants de freinage à adhérence, tels le système à courant de Foucault.



**FIGURE 24 : Équipement de dégivrage (IRJ), [17]**

Étant donné ces résultats de recherche et d'autres qui seront obtenus avant l'implantation du THV au Canada, ajoutés à l'expérience ferroviaire canadienne, il est raisonnable de penser, en ce qui a trait à cette étude de faisabilité, que des solutions appropriées seront trouvées pour exploiter les véhicules THV de façon sécuritaire et fiable pour les conditions hivernales du Corridor.

Ces solutions seraient incluses dans les spécifications d'approvisionnement lorsque les véhicules et les autres systèmes ferroviaires seront commandés.

Leur impact potentiel sur le prix sera abordé dans le livrable 6.



Étant donné les options technologiques étudiées dans l'ÉPTRQO, le point concernant le véhicule inclinable vaut la peine d'être abordé.

D'une part, selon l'étude Transrail (2006), si la neige ou la glace commence à s'accumuler sous les véhicules, le mécanisme d'inclinaison peut être bloqué de sorte qu'on ne peut exploiter entièrement l'angle d'inclinaison. À cause de cela, il faut réduire la vitesse du train ou, si on choisit de ne pas le faire, dégrader le confort des passagers.

En raison de l'avancement de la technologie, les trains pendulaires semblent être plus vulnérables aux impacts des conditions hivernales.

### 3.2.3 Problèmes causés aux voies et leurs solutions possibles

L'étude TransRail traite de plusieurs problèmes de la voie causés par des conditions climatiques extrêmes :

- Déneigement ;
- gel du sous-sol ;
- aiguillages ;
- voies desservant les quais ;
- ramassage de ballast.

#### 3.2.3.1 Déneigement

Le déneigement est un problème hivernal important puisqu'il peut être difficile de le faire et aussi peut entraîner des conséquences graves s'il n'est pas effectué correctement. Les secteurs critiques à déneiger sont réputés être :

- ⊕ Les aiguillages ;
- ⊕ Les endroits d'où la neige ne peut être balayée par le vent ;
- ⊕ Les voies adjacentes aux quais des gares ;
- ⊕ Les sections où d'autres voies sont parallèles aux voies haute vitesse. À leur passage, les trains circulent à plus basse vitesse sur des voies moins importantes (et par conséquent déneigées plus tard) peuvent pousser la neige sur les voies destinées à la haute vitesse.

Les conséquences d'un déneigement insuffisant peuvent être :

- ⊕ les déraillements ;
  - La glace et la neige atteignant une certaine hauteur sur la voie peuvent causer le déraillement d'un train.



- # les délais et les arrêts du train ;
  - La résistance des trains au roulement augmente avec les accumulations de neige sur la voie. Dans des cas extrêmes, le train doit arrêter et attendre une charrue à neige.
- # les blessures de voyageurs sur les quais ;
  - Si la neige et la glace ne sont pas enlevées, les voyageurs risquent de glisser ou de tomber. Des morceaux de glace qui tombent sur la voie peuvent endommager les trains à haute vitesse.

Les mesures pour assurer un déneigement suffisant sont :

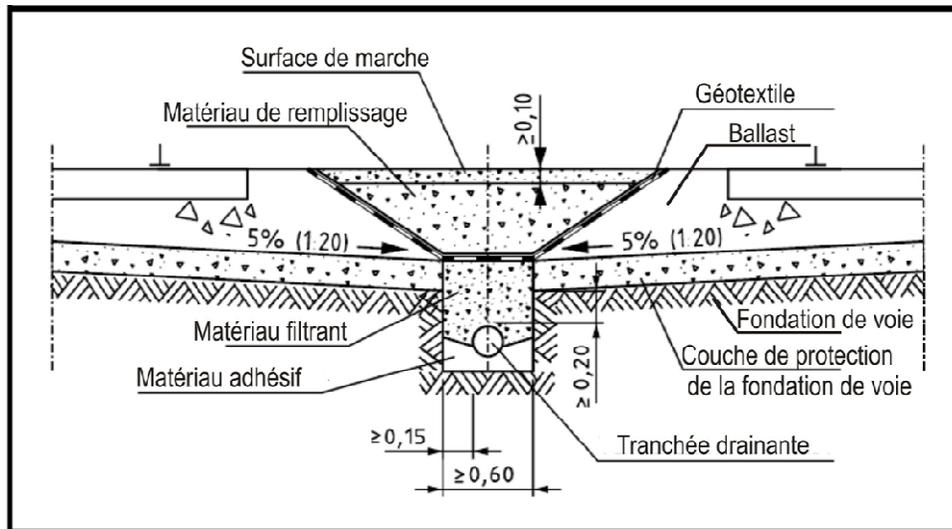
- # De planifier et fournir un espace suffisant pour le stockage de la neige enlevée des voies aux gares et en voie courante ;
- # De chauffer les quais d'embarquement (on peut aussi y épandre du sel, mais il faut le faire prudemment à cause des risques de corrosion) ;
- # Que des trains supplémentaires voyagent à des périodes où il n'y a pas de service régulier, pour éviter l'accumulation de neige sur les voies (et aussi sur la caténaire) ;
- # D'installer des clôtures à neige à des emplacements où il y a un risque élevé d'amoncellement de neige.

Lors de l'évaluation des coûts de construction, d'exploitation et de maintenance dans le cadre de l'étude actuelle, on supposera que des mesures de cette nature seront implantées.

### 3.2.3.2 *Gel dans la couche supérieure de plateforme*

Le gel dans la couche supérieure de plateforme peut causer des irrégularités qui influencent les dynamiques de roulement du train. Comme c'est un processus lent, les déraillements causés par un sol gelé sont très peu communs.

L'essentiel pour éviter les dommages de la couche supérieure de plateforme est une protection adéquate de la construction de la voie contre le gel incluant un système de drainage convenable (figure 25).



**FIGURE 25 : Couche protectrice et système de drainage (DB AG, [18])**

Pour cette raison, la couche protectrice (le sous-ballast) entre le ballast et la couche supérieure de la plateforme assure certaines fonctions cruciales. Elle sert :

- ⊕ De couche de support distribuant les forces provenant de la voie et par conséquent prévenant une tension excessive de la couche supérieure de la plateforme ;
- ⊕ De couche de protection contre le gel qui, en agissant comme isolant, protège la couche supérieure de plateforme potentiellement sensible au gel ;
- ⊕ De filtre, prévenant le mélange de ballast et de la fondation de voie ;
- ⊕ De couche de recouvrement qui protège la fondation de voie d'une infiltration d'eau ;
- ⊕ De couche de drainage qui amène l'eau en dehors de la structure de voie.

Pour sécuriser ces fonctions, la couche de protection ou le sous-ballast doivent être produits avec une granulométrie spécifique. Seuls des matériaux non cohésifs seront utilisés. La spécification de la construction (épaisseur, granulométrie) dépend des conditions climatiques (température, volume de pluie) et de la qualité de la couche supérieure de plateforme.

Lors de l'évaluation des coûts de construction, d'exploitation et de maintenance dans le cadre de l'étude actuelle, on fera l'hypothèse que des mesures de cette nature seront implantées.

### 3.2.3.3 Aiguillages

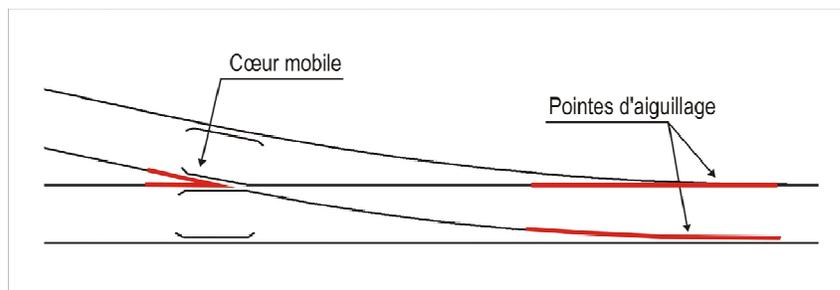
Le fonctionnement défectueux des aiguillages constitue la défaillance la plus commune pendant la période de l'hiver. Les problèmes d'aiguillage peuvent être classés comme suit:

- ⊕ Problèmes reliés à l'enneigement, aux congères, le givre, etc. ;
- ⊕ Pièces gelées dans le mécanisme ;
- ⊕ Mouvements bloqués.

#### Problèmes reliés à l'enneigement

La neige peut bloquer des parties mobiles des aiguillages. Les mesures pour minimiser l'accumulation de neige sont :

- ⊕ Le chauffage électrique pour tous les aiguillages ;
- ⊕ Les aiguillages doivent être chauffés en hiver pour garder les pièces mobiles (la pointe et le cœur de l'aiguillage) libres de glace et de neige. Le chauffage de l'aiguillage peut être contrôlé manuellement ou automatiquement selon les conditions de la température du moment. Un drainage efficace de la région chauffée est nécessaire afin d'évacuer la neige fondue et de prévenir la formation de glace.



**FIGURE 26 : Parties mobiles des aiguillages**

- ⊕ Le brossage
  - le chauffage de l'aiguillage peut être insuffisant lorsqu'il y a un enneigement abondant. Un brossage supplémentaire de tout l'aiguillage sera nécessaire dans de telles conditions. Le brossage de la neige peut se faire manuellement avec des balais ou des aspirateurs portés sur le dos, ou au moyen de machinerie spécialisée.

#### # Les clôtures et abris à neige

- à des sections de lignes où les conditions difficiles liées à la neige sont fréquentes, les clôtures (pour la neige soufflée par des vents de travers) ou les abris à neige (toute la voie est couverte) peuvent être utilisés pour protéger la voie et les aiguillages de l'impact relatif à la neige.

#### # Les déflecteurs

- des déflecteurs de caoutchouc ou avec brosses ont été testés sous des conditions opérationnelles. Les déflecteurs sont montés à l'extérieur des rails, à un niveau d'environ 100 mm au-dessus. Les déflecteurs devraient soulever la neige en suspension, pour qu'elle ne tombe pas entre les pointes et le rail principal.

#### # La réduction du nombre d'aiguillages en exploitation :

- Les voies de croisement sont principalement utilisées pour contourner une section de voie fermée pour des raisons de maintenance ou pour toute autre raison. Dans ce cas, la voie encore en service sera exploitée dans les deux sens de marche. Puisque les activités de maintenance sont limitées en hiver, il est possible de réduire le nombre d'aiguillages en fonction. Les aiguillages qui ne sont pas en fonction doivent être verrouillés pour permettre la circulation dans la direction principale seulement. Ce scénario doit être planifié puisque dans le cas d'un dérangement, les sections avec exploitation bidirectionnelle seront requises plus longtemps. Même si un verrouillage d'un aiguillage pour une opération normale ou directe a été fait en hiver au Canada, on doit s'assurer, sous risque de déraillement, que ni neige ni glace ne s'accumule dans l'aiguillage ou dans les composantes de l'aiguillage (particulièrement le cœur).



FIGURE 27 : Voie de croisement

## Pièces gelées dans le mécanisme

Le mécanisme électrique d'aiguillage inclut le moteur d'aiguille, l'enclenchement, les bielles et les contacts servant à vérifier la position. Tous ces éléments doivent fonctionner pour que l'aiguillage fonctionne également.



**FIGURE 28 : Croisement haute vitesse, DB AG**

Pour éviter que des pièces du mécanisme ne gèlent, la gaine des moteurs de l'aiguillage doit être bien scellée avec étanchéité. Un drainage efficace des moteurs et de l'embellage<sup>21</sup> est essentiel pour éviter un amoncellement de glace.

### Mouvements bloqués

Le mouvement des pointes d'aiguille peut être bloqué pour diverses raisons. Dans la plupart des cas, ces défaillances sont causées par la glace et la neige tombant des trains qui passent. Comme la zone de contact entre le morceau de glace et la voie ferrée chauffée est très petite, la glace prend beaucoup de temps à fondre. La manière la plus rapide de dégager des aiguillages ainsi bloqués est de dégager manuellement les obstructions. Lorsque les aiguillages obstrués sont à proximité d'une gare, cela peut se faire facilement par le personnel disponible. Cependant, des aiguillages en voie courante peuvent être bloqués pendant un certain temps avant que l'équipe de maintenance n'arrive sur place pour intervenir.

<sup>21</sup> L'embellage relie le moteur de l'aiguille et ses pointes

### 3.2.3.4 Voies aux quais d'embarquement

La glace sur la voie peut être projetée sur les quais par les trains qui passent et blesser les passagers qui attendent leur train. Le problème peut être traité en pratiquant les actions suivantes :

- # Empêcher les trains d'accumuler de la neige en scellant le sous-châssis du véhicule ;
- # Diminuer la vitesse de circulation à l'approche des quais ;
- # Séparer les voies à haute vitesse et les voies de desserte des quais d'embarquement.

La figure 29 présente un exemple de séparation des voies principales et des voies de quai d'embarquement dans une gare intermédiaire. La séparation ne sera pas nécessaire si tous les trains arrêtent à chaque gare. Si, en fonction de la demande de transport, des trains express sont exploités, il se peut qu'ils passent dans ces gares à la vitesse maximale d'exploitation. Pour protéger les quais d'embarquement des impacts relatifs aux particules de glace volantes, il est possible de construire des murs entre la voie haute vitesse et les voies d'embarquement.



**FIGURE 29 : Voies principales et voies d'embarquement à la gare Limburg sur la voie haute vitesse Francfort-Cologne**

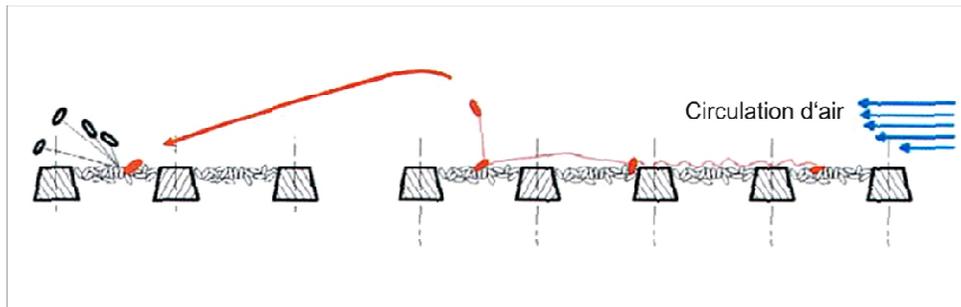
Prévenir le ramassage de ballast

Le ramassage de ballast, également appelé "ballast volant" se rapporte au mouvement incontrôlable de pierres provenant du ballast. Ce dangereux phénomène est causé par des particules de glace qui tombent des trains ou des pierres de ballast soulevées par les impacts aérodynamiques du train

roulant à vitesse élevée. Cela peut constituer le début d'un effet d'avalanche où les particules sont accélérées par le train et frappent encore la surface du ballast. Ces pierres de ballast peuvent causer des dommages aux véhicules, à l'infrastructure et à d'autres objets le long de la voie.

On suppose que le ramassage de ballast augmente avec la vitesse du train. Une tendance croissante à l'égard du ramassage de ballast a été remarquée lorsque les vitesses passent de 160 à 180 km/h. Des vitesses plus élevées entraîneront une augmentation :

- ⊕ De l'énergie des particules de neige et de glace tombant des trains ;
- ⊕ De l'énergie des pierres bondissant entre le train et le ballast ;
- ⊕ Des turbulences d'air sous le train.



**FIGURE 30 : Le ramassage de ballast (Rießberger, [9])**

Le ramassage de ballast peut être réduit en appliquant les mesures suivantes :

- ⊕ Diminution de 3 à 6 cm du niveau du ballast entre les traverses
  - Les particules de glace qui tombent s'écrasent contre la bordure des traverses de béton, ce qui élimine leur énergie cinétique. Il a été démontré que cette mesure est efficace pour des vitesses allant jusqu'à 200 km/h ;
- ⊕ Réduction de la vitesse du train
  - Limiter la vitesse maximale à 200 km/h constitue une solution pour les pays qui ont un climat modéré (France, Allemagne) et elle n'entraîne que quelques jours d'exploitation restreinte ;
- ⊕ Optimisation des caractéristiques aérodynamiques des trains
  - Les exigences relatives à la réduction des forces aérodynamiques entre le train et la voie aussi bien qu'à l'optimisation en ce qui a trait à l'accumulation de glace et de neige feront partie des spécifications du train ;
- ⊕ Recouvrement du ballast
  - Au Japon, les sections de voie sensibles sont recouvertes de filets. Aussi, il existe maintenant un produit qui sert à lier les unes aux autres les pierres du ballast pour prévenir leur mouvement, tout en maintenant les propriétés de drainage du ballast : une sorte de *colle à ballast* ;



- ⊕ L'usage de voie sur dalle
  - Bien entendu, avec l'usage de la voie sur dalle, le ramassage de ballast ne se produira pas.

### 3.2.4 Problèmes causés aux systèmes de traction et leurs solutions possibles

Les principaux problèmes que peuvent causer les conditions hivernales à la performance d'un THV électrifié, dans le corridor sont reliés aux situations suivantes :

- ⊕ Le système de transport électrique à très haute tension (les lignes de transmission du réseau public) devient inopérant en raison de la neige ou du grésil et s'il y a une perte totale d'électricité dans une grande région où il y a exploitation de THV
  - Une ou plusieurs sous-stations électriques alimentant la ligne THV sont mises hors service soit parce que le réseau ne les fournit plus ou qu'il y a des dysfonctionnements internes ;
  - La caténaire ne fonctionne plus parce qu'elle est recouverte de glace ou de grésil sur certaine partie de la ligne.

Pour prévenir de tels problèmes ou limiter leur impact, la conception sera basée sur une exigence générale d'exploitation pour faire fonctionner le système même lors d'une défaillance singulière dans l'approvisionnement du réseau aussi bien que dans la distribution de l'électricité et dans la sous-station.

Dans la conception d'un système d'électrification ferroviaire, la sélection d'un type précis de caténaire requiert des connaissances mécaniques<sup>22</sup>, électriques<sup>23</sup>, environnementales<sup>24</sup> et la connaissance des critères de conception et d'exploitation<sup>24</sup>, qui guideront sa conception à toutes les étapes. Les conditions locales pour un territoire donné (le Corridor, par exemple) comme la plage des températures, la vitesse du vent, la charge de glace, les substances actives dans l'air, la foudre, etc. seront observées pendant toutes les phases de conception et de construction<sup>25</sup>. L'équipement installé pour des systèmes extérieurs ne devra pas subir de dommage irréversible pour fonctionner entre -35°C et +70°C (selon EN 60529)<sup>26</sup>.

<sup>22</sup>Dans le domaine de la force demandée, de la hauteur, de l'espace, du décalage, du pantographe, du gabarit d'obstacles, etc.

<sup>23</sup>Dans le domaine du courant, de la coordination de l'isolation, de la protection, etc.

<sup>24</sup>Dans le domaine de la température, de la vitesse du vent, etc.

<sup>25</sup>Dans le domaine de la vitesse, du nombre de trains, de la durée de vie, de l'usure, de la séparation, etc.

<sup>26</sup> Représente l'exigence normale minimale EN (Normes Européennes) – les manufacturiers peuvent concevoir et garantir le fonctionnement selon les exigences climatiques canadiennes et des normes ferroviaires nord-américaines



Dans la phase de conception, même les aspects environnementaux seront également pris en considération (comme l'utilisation du sol, la protection de la faune et de la flore, les impacts sociaux, l'esthétique).

- ⊕ Par exemple pendant la conception du système de caténaire et de la ligne de liaison au réseau, la combinaison de la charge des vents et de la glace sur les conducteurs et sur les poteaux sera considérée pour garantir le fonctionnement ininterrompu du système même dans les pires conditions climatiques et les défaillances singulières. Également, dans le cadre de la conception, les critères climatiques exigeront l'ajustement de la distance entre deux mâts de caténaire (pour prévenir une déviation excessive due au vent) et la longueur de tension (basée sur la plage de température et la charge de glace potentielle) ;
- ⊕ Durant l'exploitation, il est courant de chauffer le fil caténaire pendant l'hiver (le soir lorsqu'il y a moins de circulation), à certains endroits et dans des conditions climatiques plus difficiles (exemple : température d'environ  $-5^{\circ}\text{C}$  et neige mouillée<sup>27</sup>) pour prévenir l'accumulation de verglas, de givre ou de glace sur le fil caténaire. Dans des conditions spéciales, la sous-station électrique de traction chauffera le système de caténaire en fournissant un courant réactif supplémentaire ;
- ⊕ Pour réduire et prévenir l'accumulation de glace, il est également possible d'adapter l'horaire dans de tels cas<sup>28</sup> et aussi d'opérer durant la nuit (le chauffage du fil de contact et les mouvements mécaniques du pantographe limitent l'épaisseur de glace).

L'électrification contribue aussi à résoudre des problèmes reliés à l'hiver dans d'autres parties du système.

#### ⊕ Systèmes d'aiguillages et de contrôle

Un des effets secondaires avantageux relatifs à l'électrification de la ligne principale est la possibilité d'approvisionner des charges ferroviaires et non ferroviaires le long de la ligne électrifiée en utilisant des stations intermédiaires de transformation (25 kV / 400 V). À cet égard par exemple, des systèmes de chauffage de pointe, surveillés et contrôlés par un système SCADA<sup>29</sup> pourraient être installés et opérés.

<sup>27</sup> La neige mouillée et la pluie créent de la glace lourde sur les conducteurs et les poteaux, seulement à des températures variant entre  $0^{\circ}\text{C}$  et  $-5^{\circ}\text{C}$ .

<sup>28</sup> Ceci n'est pas souhaitable du point de vue de la qualité de service mais peut être la seule solution disponible dans des cas extrêmes

<sup>29</sup> *Supervisory Control and Data Acquisition* : Contrôle de supervision et acquisition de données ; système de contrôle électrique à distance



#### ⊕ Préchauffage des trains au garage

En hiver, l'électrification permet de chauffer des trains stationnés au garage tout en respectant l'environnement.

L'alimentation d'urgence des trains en panne représente un problème particulier pour la traction électrique. Tandis que des trains diesel ont suffisamment de carburant à bord pour fournir l'éclairage, la climatisation et le chauffage pour un temps suffisant, les trains électriques n'ont aucune source d'énergie lorsqu'il y a une coupure de courant. Par conséquent, il doit y avoir à bord de ces trains des systèmes d'alimentation électrique d'urgence, soit des batteries suffisamment grosses ou des jeux de génératrices à moteur diesel, pour produire de l'énergie électrique. La puissance de ce matériel d'urgence dépend du temps maximum nécessaire pour apporter de l'aide à un train bloqué.

Enfin, on doit aussi rappeler qu'au Canada, il y a une expertise considérable relative au transport et à la distribution d'électricité dans les pires conditions climatiques et que de tels problèmes ont été résolus. Lorsque que le système d'électrification du THV sera conçu, cette expertise sera mise à contribution.

### 3.2.5 Problèmes causés au système de signalisation et leurs solutions

Si un système de signalisation en cabine (ex. ERTMS) est utilisé, la signalisation de voie n'est pas requise sur les nouvelles voies. Au moyen de l'ERTMS, seules des installations robustes seront utilisées, par exemple des connexions rail à rail, des connecteurs, des balises et possiblement des compteurs d'essieux. Ces installations sont reconnues pour fonctionner de façon très fiable dans des conditions hivernales et sont scellées et bien protégées contre la neige, la glace et les températures très basses.

#### Mesures importantes pour le Corridor

- ⊕ 19 bases de maintenance le long de la ligne toutes près de gares ou de croisement ;
- ⊕ Grand nombre de souffleuses à neige et autre équipement de maintenance et de réparation dans les bases de maintenance ;
- ⊕ Personnel permanent disponible ou en attente en tout temps ;
- ⊕ Chauffage de tous les aiguillages (incluant dans les garages et les bases de maintenance) ;
- ⊕ Roulements de trains additionnels afin d'enlever la glace de la caténaire ;
- ⊕ Système d'avertissement de neige ou de vent ;
- ⊕ Diminution de la vitesse de roulement des trains lors de conditions extrêmes.

Les dépenses reliées aux mesures de protection seront prises en considération lors de l'évaluation des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance. Les quantités seront calculées dans la mesure du possible. Autrement, les coûts seront inclus dans les contingences.



## Problèmes de feuilles en automne

Un problème important est l'exploitation des voies lorsque recouvertes de feuilles mouillées. Ces dernières diminuent l'adhérence entre les voies et les roues et ainsi détériorent la capacité de freinage. Certains trains de DB doivent rouler à vitesse réduite en automne. Les trains les plus touchés sont ceux qui ne possèdent pas de freins magnétiques puisqu'ils sont ainsi contraints à réduire leur vitesse maximale de 140 km/h à 120 ou même 100 km/h.

Mis à part l'utilisation de freins magnétiques, il existe d'autres mesures possibles, soit :

- ⊕ Utilisation de systèmes indépendants de freinage à adhérence, tels le système de type Foucault<sup>30</sup> ;

L'ICE 3 est équipé de cette technologie. Le préalable est l'utilisation de voies sur dalle puisque l'énergie cinétique se transforme en énergie thermique sur les voies, d'où la réserve de température de la voie qui se doit d'être plus élevée.

- ⊕ Application de sablage pneumatique contrôlée par ordinateur<sup>31</sup> ;
- ⊕ Nettoyage des voies par des wagons de maintenance spécialisés munis de nettoyeur à haute pression.

Éventuellement, quand le système sera conçu, on pourra identifier la meilleure mesure à prendre pour réduire l'impact des feuilles sur la voie.

### 3.3 Infrastructure ferroviaire existante : potentiel et problèmes

Cette section discute du potentiel et des problèmes que l'infrastructure et les équipements ferroviaires actuels du Corridor offrent ou causent à la mise en œuvre d'un système de THV moderne, tel qu'il fut présenté dans la section 2.

---

<sup>30</sup> Le dispositif de freinage dans lequel le champ magnétique d'un électro-aimant contribue au freinage au moyen de courant de Foucault induit soit dans le disque qui fait partie intégrante de l'essieu qui freine, soit dans des composantes de la voie comme le rail de roulement.

<sup>31</sup> Utilisation de sable entre la voie et la roue afin d'accroître la friction.



### 3.3.1 Le réseau

Le réseau ferroviaire dans le Corridor est relativement bien développé. Les principales paires de villes (en termes de demande de déplacements) sont reliées par au moins un, souvent deux et parfois trois tracés ferroviaires relativement directs.

### 3.3.2 La propriété

La plupart des emprises ferroviaires du Québec et de l'Ontario sont la propriété de sociétés privées de chemin de fer : le Canadien National, le Canadien Pacifique, le Chemin de fer Québec Gatineau. Les exceptions sont : une ligne appartenant à VIA Rail et utilisée par les trains Montréal-Ottawa, une courte distance de chaque côté de la Gare Union à Toronto (propriété de GO Transit) et l'emprise entre London et Windsor, qui est également la propriété de VIA Rail.

Quand VIA Rail et les services ferroviaires de banlieue de Montréal et de Toronto utilisent ces voies ferrées privées, leurs exploitants doivent verser des droits de passage et frais d'accès aux chemins de fer propriétaires. À moins de changement dans la propriété de ces emprises, il en serait de même pour un THV.

Ces emprises sont généralement d'une largeur de 30 m (100 pieds) et ne comportent souvent qu'une seule voie sur la majorité de leur longueur. Il semble possible d'ajouter deux voies exclusives aux THV à différents endroits. Une analyse préliminaire sera réalisée au moment de fixer le tracé dans l'étude actuelle (Livrables 5 et 6).

### 3.3.3 Les tracés et la géométrie

La plupart des lignes ferroviaires du Corridor furent tracées à une époque où la haute vitesse n'était pas une préoccupation majeure pour les chemins de fer, ainsi fournir des pentes douces (de l'ordre de 1 %) était plus important. Comme ces lignes ont été utilisées principalement pour le transport de marchandises au cours des cinquante dernières années, l'amélioration de leur géométrie dans le cadre des opérations de maintenance et mise à niveau ne fut jamais un enjeu majeur, parce que cette géométrie était satisfaisante compte tenu de l'utilisation des lignes.

En conséquence, ces lignes comptent encore plusieurs courbes qui empêchent la haute vitesse. Ceci sera analysé dans le cadre de l'établissement de tracés et d'alignements représentatifs dans l'étude actuelle (Livrables 5 et 6).

Finalement, les lignes existantes furent construites pour desservir le centre des villes qu'elles reliaient. De plus, de petites et moyennes villes et des villages se construisirent éventuellement autour des points d'arrêt des trains. En conséquence, les lignes de chemin de fer existantes



traversent le centre de nombreux villages et villes. Cet enjeu sera examiné dans le cadre de l'établissement de tracés et d'alignements représentatifs dans l'étude actuelle.

### 3.3.4 Les passages à niveau et de ferme

Entre les villes, et à l'intérieur de petites villes et villages, un grand nombre de passages à niveau se trouve toujours dans le Corridor. De plus, dans les secteurs agricoles, l'emprise ferroviaire divise fréquemment les différentes fermes. Toutefois, les fermiers sont autorisés à traverser les voies avec leur équipement agricole.

Ces passages sont évidemment incompatibles par rapport à l'exploitation moderne du THV et, tel qu'il est décrit dans la sous-section 2.5.3, plusieurs pays ont éliminé ou éliminent les passages à niveau partout où les trains roulent à 200km/h ou plus. Ils iront même jusqu'à poser une clôture de chaque côté de la voie ferrée.

La possibilité de le faire ou non dans le Corridor (vu la perturbation que cela causerait dans les petites communautés, les fermes, etc.) sera matière à analyse plus poussée lors de la conception du système.

En ce qui a trait à l'estimation des coûts dans le cadre de l'étude actuelle, il est présumé que tous les passages à niveau (incluant ceux des fermes) soient regroupés et remplacés par des dénivellements.

#### Les voies et le partage des voies

Là où les trains à haute vitesse sont exploités sur une infrastructure existante, il faudra remplacer complètement les voies par de nouvelles.

Les besoins en partage de voie à basse vitesse dans le Corridor sont pratiquement limitées aux approches des gares : Gare du Palais à Québec, Gare Centrale à Montréal, Gare de VIA Rail à Ottawa, Gare Union à Toronto. De plus, les approches aux nouvelles gares impliqueraient probablement aussi le partage des voies.

Tel que mentionné à la section 2.5, le THV pourra partager sans problème des voies avec d'autres trafics ferroviaires, si ce n'est que le THV doit accepter les restrictions de vitesse de la ligne partagée.

### 3.3.5 Électrification

Seule une très courte portion du réseau du Corridor est actuellement électrifiée (2009) : la ligne de banlieue de Deux-Montagnes dans la région de Montréal. Cette électrification récente est à 25kV CA et, si la capacité de la ligne est suffisante, elle pourrait être utilisée par un THV.



### 3.3.6 Signalisation

La plupart des lignes de chemin de fer d'intérêt dans le Corridor sont actuellement munies de signalisation visuelle. Tel que décrit dans la section 2, ceci n'est pas suffisant pour le THV. Toutes ces lignes devraient donc être équipées d'une nouvelle signalisation.

Lorsqu'ils partagent des voies, notamment à l'approche des gares, les rames de THV devraient être munies, en plus de leur propre système embarqué de signalisation, des appareils leur permettant d'interagir avec la signalisation déjà en place.

## 3.4 Interopérabilité

Strictement parlant, il n'y a pas d'exigence existante ou prévisible dans le Corridor pour l'interopérabilité telle qu'elle est connue en Europe: les trains en exploitation entre Québec et Windsor, fonctionneront sur une ligne qui aura les mêmes caractéristiques techniques (écartement de voie, signalisation, électrification, le cas échéant) d'un bout à l'autre.

Cependant, il y a une interopérabilité indirecte qui affecte principalement les véhicules : les trains exploités sur n'importe quelle ligne qui est reliée sur réseau ferroviaire É-U – Canada doivent être conçus pour pouvoir être exploités sur n'importe quelle partie de ce réseau. Par conséquent, afin de pouvoir être exploités sur les voies qui sont utilisées par les autres types de trains, les THV dans le Corridor devront satisfaire les normes de résistance à la collision et autres exigences FRA, comme il a été indiqué précédemment.

Mais, comme il a été démontré avec l'Acela Express entre Boston et Washington, ceci n'a pas empêché l'implantation de la première ligne THV en Amérique du Nord, puisque les véhicules THV peuvent et ont été fabriqués conformément à de telles exigences.

Effectivement, avant l'introduction de l'Acela Express entre Boston et Washington, la réglementation ne permettait pas de vitesse supérieure à 175 km/h. Cette réglementation fut mise à jour et ses exigences furent imbriquées dans les spécifications émises par Amtrak pour les rames Acela.



## 4 TECHNOLOGIES REPRÉSENTATIVES

### 4.1 La nécessité de technologies représentatives

Pour évaluer la faisabilité d'un THV dans le Corridor Québec - Windsor, il faut produire un nombre considérable d'informations, qui dépendent directement de la technologie.

- ⊕ La prévision d'achalandage (Livrable 7) dépend en partie du temps de trajet, qui à son tour est une fonction de la vitesse d'exploitation maximale de la technologie et des caractéristiques d'alignement du tracé ;
- ⊕ Les estimations des coûts de construction (Livrable 6) dépendent (a), pour l'infrastructure, du tracé et de l'alignement, et (b) pour les systèmes ferroviaires, du nombre et des prix à l'unité des composantes technologiques (véhicule, voie, alimentation et distribution électriques, signalisation, etc.) ;
- ⊕ Les estimations des coûts d'exploitation et de maintenance (Livrable 6) dépendent du niveau de trafic, de la vitesse d'exploitation maximale, de la source et de la consommation d'énergie et des exigences de la maintenance ;
- ⊕ Les analyses sur l'impact relatif à l'environnement et autres (Livrable 9) dépendent du tracé et de son alignement, mais aussi de la source d'énergie de la technologie et de sa vitesse d'exploitation maximale.

Advenant un résultat éventuel positif de l'étude actuelle, cela serait suivi d'une phase de conception et d'ingénierie. C'est dans cette phase qu'on prendrait des décisions définitives concernant une technologie, en tenant compte des conditions technologiques, commerciales, financières, économiques et autres conditions en vigueur à ce moment-là.

Cependant, pour produire les informations relatives au train à haute vitesse dans le Corridor Québec - Windsor, on doit évaluer dès maintenant l'achalandage, les coûts et certains impacts au cours de l'étude actuelle de faisabilité. Pour éviter d'évaluer toutes les technologies possibles, une technologie représentative doit être adoptée afin de définir les alignements, calculer les temps de trajet, prévoir l'achalandage, estimer les coûts, évaluer les impacts environnementaux, etc., tel qu'il a été fait dans l'ÉPTRQO.

En choisissant une technologie représentative, on obtient des estimations plus réalistes qui supporteront des conclusions de faisabilité plus fiables.



#### 4.1.1 Les technologies représentatives dans l'ÉPTRQO

Dans l'étude précédente, deux types de technologies de THV ont été choisies pour être potentiellement appliquées dans le Corridor.

- ⊕ Une technologie dite de vitesse moyenne (200 - 250 km/h) incorporant l'inclinaison de la caisse représentée par une rame de 282 sièges basée sur le X 2000 suédois ;
- ⊕ Une technologie dite très rapide (300 - 350 km/h) sans fonction d'inclinaison représentée par une rame de 358 sièges basée sur le TGV Atlantique français.

Ces deux trains sont encore en service. Toutefois, on ne les produit plus, ils ont été remplacés par des versions plus modernes. Pour cette raison, de nouvelles technologies représentatives doivent être choisies pour analyse.

#### 4.1.2 Les technologies représentatives pour l'étude actuelle

Puisque l'étude actuelle est une mise à jour de l'ÉPTRQO, nous avons décidé d'adopter deux niveaux de vitesse maximale d'exploitation (et des technologies représentatives correspondantes) et de les choisir pour englober un large éventail de technologies de THV actuelles.

Ces technologies sont :

- ⊕ une technologie moderne diesel d'une vitesse d'exploitation de 200 km/h ou plus - on fera référence à cette technologie par le **F200+** ;
- ⊕ une technologie moderne électrique d'une vitesse d'exploitation de 300 km/h ou plus - on fera référence à cette technologie par l'**E300+**.

##### 4.1.2.1 Pourquoi le F200+?

Depuis l'ÉPTRQO, il y a eu des développements au plan du THV propulsé par diesel : actuellement, certaines rames THV en exploitation atteignent une vitesse maximale de 200 km/h. Une version alimentée par turbine de l'Acela Express, connu sous le nom de Jet Train, a également été développée et testée.

Présentement, les trains diesel-électrique qui ont la plus haute vitesse d'exploitation circulent à environ 200 km/h<sup>32</sup> compte tenu de la puissance limitée que peuvent produire les moteurs diesel.

---

<sup>32</sup> En fait, il n'y a présentement aucun train diesel sur le marché, qui circule à plus de 200 km/h. Les trains Super Express récemment commandés par le ministère des Transports du Royaume-Uni pourront circuler à 200 km/h, mais ils sont conçus pour une mise à niveau ultérieure permettant d'atteindre une vitesse maximale d'exploitation de 225 km/h.



Le fait d'utiliser, dans l'étude actuelle, une technologie à propulsion diesel permettra d'isoler les avantages et inconvénients respectifs de traction électriques et diesel dans le Corridor.

#### *4.1.2.2 Pourquoi le E300+?*

Depuis l'ÉPTRQO il y a également eu des développements au plan du THV propulsé à l'électricité : tel qu'il a été vu dans la Section 1, il existe plusieurs options technologiques.

Un THV approprié circulant à une vitesse maximale de 300 km/h ou plus peut être choisi comme étant représentatif.

#### *4.1.2.3 Qu'en est-il des technologies intermédiaires?*

Les deux technologies choisies correspondent aux frontières la plus basse et la plus élevée de l'exploitation courante du THV, et la plupart des autres technologies peuvent se situer à l'intérieur de ces frontières.

L'information relative aux technologies intermédiaires (d'une vitesse entre 200 et 300 km/h) peut être estimée par interpolation tel qu'il est présenté dans la figure suivante pour le cas d'une technologie électrique dont la vitesse d'exploitation maximale serait de 200 km/h (E200+).

Élément	F 200+	E 200+	E 300+
Capacité			
Alignement			
Coûts de construction			
Électrification	-		
Matériel roulant		Estimation spécifique	
Coût d'exploitation et de maintenance			
Impacts environnementaux			

**FIGURE 31 : Interpolation des résultats pour d'autres technologies : l'exemple du E200+**

La figure démontre dans cet exemple, que la plupart des options peuvent être directement reliées à l'une des deux technologies représentatives, pendant que d'autres peuvent être interpolées.

Une estimation spécifique est nécessaire pour le matériel roulant seulement.

#### 4.1.2.4 Technologies représentatives, non définitives

Nous insistons encore sur le fait que les technologies représentatives adoptées dans ce rapport et décrites dans cette section, ne devraient en aucune manière être considérées comme ayant été recommandées pour être appliquées dans le corridor Québec-Windsor.

#### 4.1.2.5 Exclusion du Maglev

En se basant sur l'information actuellement disponible, et tel que discuté dans la section 1.5, la considération d'une technologie à lévitation magnétique comme alternative viable dans le Corridor Québec-Windsor n'apparaît pas justifiée. Cette technologie ne sera donc pas considérée davantage.



## 4.2 Critères de sélection

Comme il y a environ 100 types de train à haute vitesse actuellement exploités, il est nécessaire de réduire le choix en présélectionnant des concepts de trains appropriés, en service, pour les F200+ et E300+. Ces concepts de trains (ou configurations virtuelles de trains) forment la base du développement de technologies candidates pour une évaluation plus poussée. Dans un troisième temps, l'adéquation des technologies pour les conditions particulières du Corridor Québec – Windsor est évaluée et les technologies représentatives sont choisies comme base pour les analyses détaillées à venir.

Les critères principaux pour le processus de présélection des concepts de trains présentement en exploitation ont été jusqu'à maintenant les suivants :

- ⊕ le train doit correspondre aux options retenues, soit à F200+ ou à E 300+ ;
- ⊕ le train doit toujours être en fonction. Compte tenu du très petit nombre de THV diesel existants, nous avons également considéré, pour le scénario relatif au F200+, des trains qui sont actuellement en commande ferme ou en développement ;
- ⊕ le train doit être disponible présentement sur le marché et ne doit pas avoir plus de 10 ans ;
- ⊕ un seul exemple de chaque manufacturier pourrait être retenu.

Les caractéristiques de ces trains existants ont été analysées pour pouvoir développer des technologies candidates. Les éléments caractéristiques de ces trains ont été combinés pour développer des concepts de trains virtuels représentant l'état de l'art actuel.

Les critères principaux de l'évaluation seront utilisés pour l'analyse détaillée et l'évaluation des technologies candidates pour les systèmes F200+ et E300+.

Puisque les technologies de trains diesel et électrique sont différentes, différents ensembles de critères d'évaluation ont été utilisés pour les systèmes F200+ et E300+. Ces critères secondaires et leur poids (importance relative) sont présentés à l'annexe E pour la technologie du F200 + et à l'annexe F pour la technologie du E300+.

Tel que cité dans ces annexes, il n'a pas été possible d'utiliser tous les critères secondaires à cause du manque d'information pour certains critères; par conséquent, on n'a pas attribué de poids à certaines des cases dans les annexes. Ces critères secondaires ne pourront être évalués qu'au moment où les données relatives à des trains existants seront disponibles. En raison du manque d'information au sujet de certains critères, les valeurs des critères secondaires restants ont été augmentées proportionnellement pour atteindre un total de 100 % des critères secondaires pour chaque critère principal.



Certains des critères secondaires sont considérés comme des critères d'élimination directe, tels que :

- l'adaptabilité aux normes et réglementations nord-américaines ;
- l'opérabilité hivernale.

Ces critères éliminés sont marqués aux annexes E et F d'un petit carré rouge. Si les critères reçoivent la valeur -3, c'est-à-dire « pas suffisamment satisfait », la technologie candidate ne se qualifie pas pour le Corridor Québec-Windsor.

Leur pondération des critères principaux et secondaires a été réalisée par DB Systemtechnik<sup>33</sup> basée sur leur expérience de l'évaluation des concepts de nouveaux THV. Spécialement pour le Canada, le nouveau critère principal, celui de l'« adaptabilité aux normes et réglementations nord américaines » a été introduit et considéré relativement élevé avec une pondération de 25 % compte tenu de son importance. De même, le critère « opérabilité hivernale » a reçu une pondération relativement élevée de 30 % pour tenir compte des conditions climatiques.

Les critères suivants ont été utilisés selon EcoTrain ainsi que leur pondération relativement aux exigences du Corridor Québec-Windsor.

# Caractéristiques de performance de la rame (5 %)

- L'accélération et la décélération ont peu d'importance dans le trafic haute vitesse. Le critère concernant la stabilité aux vents de travers est facilement respecté ou peut l'être, et l'importance de la flexibilité dépend des variations de demande, qui ne sont pas connues actuellement ;

# Matériel roulant (15 %)

- Le bruit produit par le véhicule, la vibration et l'espace voyageurs ont plus ou moins la même importance. Compte tenu de l'exploitation mixte des trains conçus aux normes FRA, la sécurité relative à la collision est hautement estimée ;

<sup>33</sup> DB Systemtechnik (technologie des systèmes) est le centre technologique de Deutsche Bahn, l'exploitant ferroviaire allemand, parmi d'autres services conseils relatifs au véhicule. Il apporte un service conseil qui fait autorité, non biaisé et reconnu à l'égard de tous les véhicules et modules



- # Adaptabilité aux normes et règlements nord américains (25 %)
  - L'expérience pratique ou l'expérience d'exploitation sont très importantes, suivi de l'accessibilité universelle et l'accès depuis des quais élevés et bas d'embarquement. Les exigences FRA concernant « le système de contrôle et de communication », « le système de freins » et la force de compression longitudinale doivent absolument être respectés par toutes les technologies candidates. Par conséquent, ces critères ont été définis comme des critères d'élimination. À l'exception de l'Acela Express, aucun train actuellement en exploitation n'est conforme à ces exigences. Seuls les manufacturiers de véhicules peuvent estimer les efforts nécessaires pour respecter ces critères<sup>34</sup>. Par conséquent, ces critères n'ont pas été évalués dans cette phase du travail. Ils sont néanmoins mentionnés aux annexes E et F vu leur importance ;
- # Opérabilité hivernale (30 %)
  - Ce critère est primordial pour l'exploitation au Canada et comprend le système de freinage, les composants sous-châssis et les entrées d'air qui ont environ la même importance ;
- # Fiabilité et entretien (10 %)
  - Le nombre de bogies de chaque rame qui influence fortement les coûts de maintenance constitue l'élément principal dans ce secteur. Les autres facteurs d'influence ont moins d'importance ;
- # Coûts reliés au cycle de vie (15 %)
  - Alors que les prix du matériel roulant sont fortement influencés par la situation du marché, un des critères les plus importants, soit les « coûts d'achat » ne peuvent être évalués dans le cadre du présent rapport<sup>35</sup>. Le poids par siège est également très important pour les coûts d'énergie. D'autres critères sont moins importants. Dans le livrable 6, les coûts reliés au cycle de vie seront analysés plus en détail.

<sup>34</sup> Afin de prendre en compte les exigences des coûts, dans l'estimation des coûts reliés à la conformité FRA du livrable 6, une prime de 20 % a été ajoutée aux prix du marché mondial actuel. Puisque cette prime est basée sur la différence de prix de l'Acela Express et d'autres THV achetés dans le même temps, cette différence n'est pas seulement reliée à la conformité FRA.

<sup>35</sup> Les différences de prix des THV sont basées en plus grande partie sur la pression compétitive du marché. Les différences technologiques n'ont pratiquement pas d'influence sur les prix du marché. Par conséquent, le prix moyens des THV récemment commandés ont été utilisés pour l'estimation de coût exposé dans le Livrable 6.



Les critères secondaires différents ont été évalués sur une répartition de cotes, allant de très bon à insuffisant. Le nombre de points pour les différentes évaluations est présenté dans le tableau suivant :

**TABLEAU 9 : Évaluation de train - Échelle d'estimation**

Points	Évaluation
+3	Très bon
+1	Bon
0	Neutre
-1	Défavorable
-3	Insuffisant

La valeur d'un critère plus élevée (ex. la performance) est déterminée par la somme des indicateurs de pondération plus bas (accélération, flexibilité, etc.). De la même façon, la valeur totale de l'évaluation pour une technologie candidate est calculée avec une valeur maximale possible de 100 %.



## 5 LA TECHNOLOGIE REPRÉSENTATIVE F200+

Cette section a pour objectif de décrire les composantes du système de THV basé sur la technologie représentative F200+.

Dans le cadre de l'étude actuelle, ceci est le système représentatif sur lequel on se basera pour calculer les temps de trajet, pour estimer les coûts de construction et d'exploitation et pour évaluer les impacts. Comme il a été dit précédemment, ceci ne constitue pas une recommandation pour d'une technologie d'implantation dans le Corridor Québec-Windsor. Ce n'est qu'une des technologies disponibles, dont certaines caractéristiques seront utilisées pour comparer cette technologie à d'autres et pour en apprécier la pertinence à l'environnement.

### 5.1 Véhicule

#### 5.1.1 Les véhicules F200+ existants

Les THV au diesel sont limités approximativement à 200 km/h compte tenu de la demande élevée en puissance pour la haute vitesse. L'expérience la plus approfondie réalisée avec le THV au diesel se situe en Grande-Bretagne où un grand nombre de trains au diesel sont en service et circulent à une vitesse allant jusqu'à 200 km/h, depuis 1974. Des véhicules au diesel circulant à 200 km/h sont aussi exploités en Espagne et en Allemagne. Au cours des dernières années, d'autres pays, comme le Danemark et l'Arabie Saoudite, ont initié des projets qui utilisent des THV au diesel dont la vitesse d'exploitation s'élève à 200 km/h, et récemment, le Ministère des Transports du Royaume-Uni a commandé une nouvelle génération de THV au diesel.

En ce qui a trait aux vitesses plus élevées de trains fonctionnant avec du carburant, certaines expériences ont été faites avec une technologie de turbine à gaz qui ont atteint des vitesses d'exploitation allant jusqu'à 300 km/h en France, aux États-Unis et en Grande-Bretagne avec respectivement le TGV 001, Bombardier Jet Train, et le APT-E. Cependant, jusqu'à maintenant, cette technologie n'est pas mature et n'a pas été appliquée en exploitation commerciale. Au Canada, nous recommandons donc le moteur diesel traditionnel pour le concept F200+.

Des technologies actuelles pour le F200+, répondant aux exigences et étant actuellement en exploitation ou en commande, sont présentées à la figure suivante (détails à l'annexe G) :

## Motorisation concentrée

CAF <sup>1)</sup>

Chemins de fer  
Saoudiens



Hitachi

Super-Express <sup>1)</sup>  
Min. d. Transp.(RU)



Vossloh, EMD

Espagne  
Classe 333



1) Actuellement en commande

2) N'est plus produit

## Motorisation distribuée

Bombardier  
Voyager, RU

Classe 220-222

<sup>2)</sup>

Ansaldo Breda

Danemark

Classe MG



FIGURE 32 : Technologies existantes de type F200+

### 5.1.2 Technologies candidates pour le F200+

Sur la base des caractéristiques de trains existants actuellement en fonction présentées à la figure 32 ci-dessus, des technologies candidates ont été développées, représentant l'état actuel de conception du train diesel pour une application de haute vitesse. Les configurations de train pour ces trois technologies candidates sont présentées dans la figure suivante.

### 1) Moteurs diésel et moteurs de traction concentrés



### 2) Moteurs diésel et moteurs de traction distribués



### 3) Moteurs diésel concentrés, moteurs de traction distribués



Essieu motorisé  
  Essieu non motorisé  
  Moteur diésel  
  Convertisseur

**FIGURE 33 : Technologies candidates pour le F200+**

Les différences principales entre ces technologies candidates se trouvent dans :

- ⊕ l'emplacement des moteurs diesel, situés soit sous le plancher dans chaque voiture ou concentrés dans les voitures d'extrémité ;
- ⊕ l'emplacement de l'équipement électrique, distribué le long du train ou concentré dans les voitures aux extrémités.

Le type de transmission le plus commun utilisé dans les trains au diesel est une transmission diesel-électrique. Dans ce type de transmission, le moteur diesel actionne une génératrice électrique et l'électricité produite par cette génératrice actionne les moteurs de traction aux essieux moteurs. Il est également possible d'utiliser la transmission diesel-hydraulique pour les configurations de train 1 et 2 présentées à la figure 33. Dans ce type de transmission, le moteur diesel est relié à un bloc d'engrenage hydraulique qui actionne directement les essieux. Ceci implique que le moteur diesel est adjacent aux essieux moteurs. Par conséquent, la configuration de train 3 ne peut être réalisée avec une transmission diesel-hydraulique.

### 5.1.3 Le véhicule représentatif choisi pour le F200+

Ces trois technologies candidates ont été évaluées selon la procédure décrite plus haut, et les résultats de cette évaluation sont présentés dans la figure suivante (détails à l'annexe H).

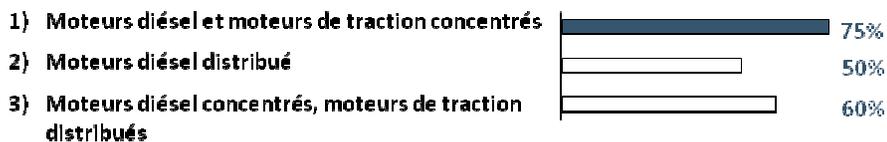


FIGURE 34 : Résultats d'évaluation pour le concept de train F200+

L'évaluation démontre que le concept de train de type 1, ayant obtenu un résultat de 75 %, est de toute évidence supérieur aux deux autres concepts ayant obtenus des scores de 50 % et de 60 %. Par conséquent, EcoTrain recommande une évaluation plus approfondie du concept de train 1 avec moteurs diesel et moteurs de traction concentrés pour la technologie F200+. La configuration typique d'un tel train est la suivante :

- ⊕ un moteur diesel, un convertisseur et des moteurs de traction sont concentrés dans chacune des motrices à chaque extrémité de la rame ;
- ⊕ le compartiment voyageur est concentré dans les voitures intermédiaires au nombre de 6 à 7 voitures non articulées ou 8 à 9 voitures articulées.

Dans les conditions spécifiques du THV pour le corridor Québec-Windsor, le concept de motorisation concentrée a les avantages suivants par rapport à celui de la motorisation distribuée :

- ⊕ une résistance à la collision supérieure pour les voyageurs puisqu'il n'y a aucun espace voyageurs dans la voiture de tête ;
- ⊕ moins de composantes installées sous châssis, ce qui facilite l'exploitation hivernale et la maintenance ;
- ⊕ les prises d'air pour les moteurs peuvent être situées encore plus haut par rapport à la voie, ce qui est préférable durant l'hiver ;
- ⊕ le poids lourd des motrices permet une plus grande stabilité face au vent latéral ;
- ⊕ moins de bruit et de vibrations pour les voyageurs puisque l'équipement de traction est séparé du compartiment voyageurs ;



- ⊕ les émissions de bruit extérieures peuvent être plus facilement atténuées puisque les sources sont concentrées dans une ou deux voitures seulement ;
- ⊕ plus d'expérience pratique pour ce concept ;
- ⊕ une configuration flexible de la rame, le nombre de voitures pouvant varier selon certaines limites ;
- ⊕ des coûts de maintenance moins élevés ;
- ⊕ un ravitaillement moins complexe (2 systèmes de réservoir dans les motrices seulement) ;
- ⊕ une meilleure accessibilité si un changement de composante est nécessaire, puisque la plus grande partie de l'équipement est située dans les motrices et non sous châssis ;
- ⊕ plus facile de remplacer une motrice en cas de panne.

Toutefois, la motorisation concentrée comporte aussi des inconvénients, comparée à la motorisation distribuée, comme :

- ⊕ un taux inférieur de freinage dynamique puisque seuls les essieux des motrices sont actionnés ;
- ⊕ moins de voyageurs par longueur de train puisque l'espace dans les motrices n'est pas à la disposition des passagers ;
- ⊕ un plus grand nombre de bogies ;
- ⊕ une redondance moins élevée dans le système de traction (seulement deux blocs moteurs dans les voitures d'extrémité) ;
- ⊕ coûts d'énergie plus élevés (poids plus lourd et plus de voitures par rame).

Puisque les avantages sont de loin supérieurs aux désavantages, EcoTrain a choisi le concept de train 1 équipé de moteurs diesel et de moteurs de traction concentrés en tant que technologie représentative de type F200+ : elle constituera la base d'études approfondies. Comme un THV diesel typique européen, le train de type F200+ mesurera environ 200 m de longueur. Il sera équipé d'une puissance de 4 000 kW, circulera à une vitesse maximale d'exploitation de 200 km/h et pourra accueillir 400 voyageurs.

Vu les problèmes de ventilation dans le tunnel du Mont Royal, l'exploitation de trains diesel est impossible dans ce secteur. Par conséquent, les trains F200+ roulant dans le tunnel nécessitent une traction électrique en plus de moteurs diesel, c'est-à-dire des pantographes et des transformateurs qui alimentent les convertisseurs et les moteurs de traction des motrices. L'alimentation électrique se limite à 2 200 kW vu la limite de vitesse de 160 km/h dans ce secteur de voie.



## 5.2 Autres sous-systèmes

Cette section présente les sous-systèmes autres que les véhicules qui composent cette technologie représentative. Les directives relatives aux sous-systèmes sont transmises dans le cadre des analyses faites au cours de la présente étude et ne représentent pas les recommandations définitives.

### 5.2.1 Voie

En ce qui a trait au scénario du F200+, la voie sur dalle constituera principalement la base à des fins d'analyse dans cette étude. Toutefois, afin de prendre en compte les conditions du sol, nous supposons que 50 % des voies sont des voies sur ballast.

### 5.2.2 Source d'énergie

Les trains F200+ fonctionnent au diesel. Aucune infrastructure spéciale n'est exigée, à part des postes de ravitaillement.

### 5.2.3 Signalisation

La signalisation du F200+ sera basée sur le système de contrôle des trains ERTMS Niveau 2.

### 5.2.4 Protection du système

Le scénario F200+ suppose qu'il y aura dénivellation complète (c'est-à-dire aucun passage à niveau) dans les sections de lignes à haute vitesse.

### 5.2.5 Exigences géométriques

Les paramètres d'alignement pour le scénario F200+ sont basés sur une vitesse de conception de 250 km/h. La pente maximale sera de 3,5 %, le rayon recommandé de 4 500 m et le rayon minimum absolu de 2 500 m.

## 5.3 Adaptabilité aux contraintes du Corridor

Tout l'équipement et les installations du F200+ doivent être adaptés aux règlements de la FRA et aux contraintes spécifiques du Corridor tel qu'abordé à la section 3. Les risques de l'adaptabilité sont évalués dans l'annexe O. En faisant la comparaison du coût d'achat pour des systèmes de trains comparables en Amérique du Nord et en Europe, l'effort d'adaptabilité mènera à des coûts supplémentaires de l'ordre de 20 % environ.



## 6 LA TECHNOLOGIE REPRÉSENTATIVE E300+

Cette section a pour objectif de décrire les composantes du système de THV basé sur la technologie représentative E300+.

Dans le cadre de l'étude actuelle, ceci est le système représentatif sur lequel nous nous baserons pour calculer les temps de trajet, pour estimer les coûts de construction et d'exploitation et pour évaluer les impacts. Comme il a été dit précédemment, ceci ne constitue pas une recommandation pour une technologie d'implantation dans le Corridor Québec-Windsor. Ce n'est qu'une des technologies disponibles, dont certaines caractéristiques seront utilisées pour comparer cette technologie à d'autres et pour en apprécier la pertinence à l'environnement.

### 6.1 Véhicule

#### 6.1.1 Les véhicules E300+ existants

Au cours des 10 dernières années, la plupart des lignes à haute vitesse dans le monde ont été conçues pour une vitesse d'exploitation de 300 km/h ou même allant jusqu'à 350 km/h, et plusieurs concepts de train différents ont été construits. Des modèles disponibles de tous les fournisseurs ont été considérés pour le E300+. Les technologies existantes pour les véhicules E300+, répondant aux exigences, sont présentées dans la figure suivante (détails à l'annexe I).

Motorisation concentrée		Motorisation distribuée	
Alstom TGV POS articulée		Siemens Velaro RUS non-articulées	
Bombardier/Talgo RENFE S102 articulée		Hitachi,... N 700 JRC non-articulées	
Rotem KTX II articulée		Alstom AGV articulée	

**FIGURE 35 : Technologies existantes E300+**

### 6.1.2 Technologies candidates du E300+

Basées sur les caractéristiques de trains existants présentés à la figure 35, des technologies candidates ont été développées, représentant l'état actuel de conception d'une rame électrique pour une application de haute vitesse. Les configurations de rame pour ces trois technologies candidates sont présentées dans la figure suivante.

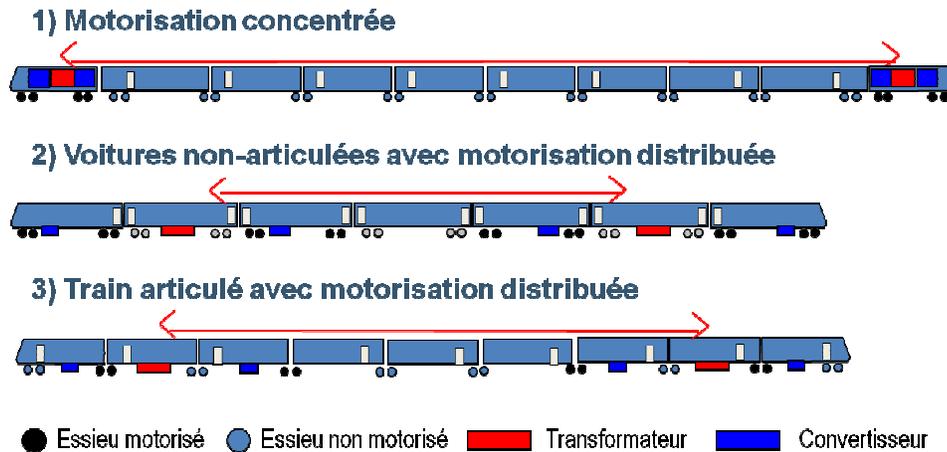


FIGURE 36 : technologies candidates e300+

La différence principale entre ces trois technologies candidates se trouve dans la distribution de l'équipement électrique soit le long du train ou concentré dans les motrices.

### 6.1.3 Le véhicule représentatif choisi pour le E300+

Ces trois technologies candidates ont été évaluées selon la procédure décrite plus haut, et les résultats de cette évaluation sont présentés dans la figure suivante. (Détails à l'annexe J)



FIGURE 37 : Résultats de l'évaluation des concepts de trains E300+

L'évaluation démontre que le concept de train 1, ayant obtenu un résultat de 71 %, est de toute évidence supérieur aux deux autres concepts ayant obtenus un score de 55 % seulement. Par conséquent, nous recommandons une évaluation plus approfondie du concept de train 1 avec motorisation concentrée pour la technologie E300+. La configuration et les caractéristiques typiques d'un tel train sont les suivantes :



- ⊕ un transformateur, un convertisseur électronique de traction et des moteurs de traction sont concentrés dans chacune des motrices à chaque extrémité de la rame ;
- ⊕ le compartiment voyageurs est concentré dans les voitures intermédiaires au nombre 6 à 7 voitures non articulées ou 8 à 9 voitures articulées.

Dans les conditions spécifiques du THV pour le Corridor Québec-Windsor, le concept de motorisation concentrée a les avantages suivants par rapport à celui de la motorisation distribuée :

- ⊕ une résistance à la collision supérieure pour les voyageurs puisqu'il n'y a aucun espace voyageurs dans la voiture de tête ;
- ⊕ moins de composantes installées sous châssis (pour une exploitation hivernale améliorée) ;
- ⊕ une configuration de la rame flexible (le nombre de voitures peut varier selon certaines limites) ;
- ⊕ le poids lourd des motrices permet une plus grande stabilité face au vent latéral ;
- ⊕ comme l'équipement de traction est séparé de l'espace voyageurs, il y a moins de bruit et de vibrations pour les voyageurs ;
- ⊕ les émissions de bruit extérieures peuvent être plus facilement atténuées puisque les sources sont concentrées dans une ou deux voitures seulement ;
- ⊕ moins de composantes dans le système de traction ;
- ⊕ une meilleure accessibilité si un changement de composante est nécessaire, puisque la plus grande partie de l'équipement est située dans les motrices et non sous châssis ;
- ⊕ la possibilité de remplacer une motrice s'il survient une panne.

Toutefois, la traction concentrée comporte aussi certains inconvénients, comparée à la motorisation distribuée, comme :

- ⊕ un taux inférieur de freinage dynamique puisque seuls les essieux des motrices sont actionnés ;
- ⊕ moins de voyageurs par longueur de train puisque l'espace dans les motrices n'est pas à la disposition des voyageurs ;
- ⊕ un plus grand nombre de bogies ;
- ⊕ des coûts d'énergie plus élevés (plus de voitures par train et plus lourd).

Comme les avantages sont de loin supérieurs aux désavantages, nous avons choisi le concept de train 1 équipé de motorisation concentrée en tant que technologie représentative E300+ ; elle constituera la base d'études approfondies. Comme un train électrique THV typique européen, la rame E300+ mesurera environ 200 m de longueur. La rame sera équipée d'une puissance de 8 000 kW, voyagera à une vitesse maximale d'exploitation de 300 km/h et pourra accueillir 400 voyageurs.



## 6.2 Autres sous-systèmes

Cette section présente les sous-systèmes autres que les véhicules qui composent cette technologie représentative. Les directives relatives aux sous-systèmes sont transmises dans le cadre des analyses faites au cours de la présente étude et ne représentent pas les recommandations définitives.

### 6.2.1 Voie

En ce qui a trait au scénario du E300+, la voie sur dalle constituera principalement la base à des fins d'analyse dans cette étude. Toutefois, afin de prendre en compte les conditions difficiles du sol, nous supposons que 50 % des voies sont sur ballast.

### 6.2.2 Source d'énergie

Les trains E300+ seront basés sur une électrification de 25 kV AC alimentée par caténaire suspendue.

### 6.2.3 Signalisation

La signalisation du E300+ sera basée sur le système de contrôle des trains ERTMS Niveau 2.

### 6.2.4 Protection du système

Le scénario E300+ suppose, qu'il y aura une dénivellation complète (c'est-à-dire aucun passage à niveau) dans les sections de lignes à haute vitesse.

### 6.2.5 Exigences géométriques

Les paramètres d'alignement pour le scénario E300+ sont basés sur une vitesse de conception de 350 km/h. La pente maximale sera de 3,5 %, le rayon recommandé de 8 500 m et le rayon minimum absolu de 6 000 m.

## 6.3 Adaptabilité aux contraintes du Corridor

Tout l'équipement et les installations du E300+ doivent être adaptés aux règlements de la FRA et aux contraintes spécifiques du Corridor tel qu'abordé à la section 3. Les risques de l'adaptabilité sont évalués dans l'annexe O. En faisant la comparaison du coût d'achat pour des systèmes de trains comparables en Amérique du Nord et en Europe, l'effort d'adaptabilité mènera à des coûts supplémentaires de l'ordre de 20 % environ.





## 7 LA ROUTE À VENIR : ANALYSES SUBSÉQUENTES

Cette section explique brièvement comment les technologies représentatives seront traitées dans les livrables à venir.

### 7.1 Tracé et alignement

Dans le cadre du Livrable 6, un alignement détaillé sera élaboré pour chacun des deux niveaux de vitesse, soit les vitesses maximales d'exploitation de 200 et 300 km/h.

Cet alignement sera basé sur ceux correspondants de l'ÉPTRQO, comportant les modifications nécessaires pour les changements survenus pendant la période de 1995 à 2009. Cela sera abordé dans le rapport du Livrable 6.

### 7.2 Les coûts de construction

Dans le cadre du livrable 6, une configuration détaillée du système sera élaborée pour chacune des deux technologies représentatives, soit le F200+ et le E300+, sur la base des tracés représentatifs choisis à la fin du Livrable 5.

Cette configuration détaillée du système constituera la base afin de développer des estimations de coûts de construction pour chaque technologie représentative.

Ces estimations incluront la conception, l'ingénierie, l'approvisionnement et les coûts d'installation pour tous les sous-systèmes requis afin que le THV offre une exploitation régulière et fiable dans le Corridor, en conformité avec les exigences exposées dans la section 3 de ce rapport.

### 7.3 Coûts d'exploitation

Dans le Livrable 6, un plan opérationnel détaillé sera élaboré pour chacune des deux technologies représentatives, basé sur les tracés représentatifs choisis à la fin du Livrable 5, et également sur de l'information préliminaire à l'égard des niveaux de service, sur la base du Livrable 7.

Ce plan opérationnel détaillé constituera la base pour le développement des estimations détaillées des coûts d'exploitation et de maintenance pour chacune des technologies représentatives.

Ces estimations comprendront les coûts de main d'œuvre, de matériaux et de fournitures, d'énergie et de tout autre élément nécessaire permettant d'offrir une exploitation régulière et fiable dans le Corridor, en conformité avec les exigences exposées dans la section 3 de ce rapport.



## 7.4 Prévisions d'achalandage

Les prévisions d'achalandage détaillées élaborées dans le livrable 7 seront fondées sur les temps de trajet calculés dans le Livrable 6 basés sur les caractéristiques de performance de chaque technologie représentative (obtenues dans ce Livrable), et sur les détails de chaque alignement (élaborés dans le Livrable 6).

Différentes prévisions d'achalandage seront élaborées pour les deux niveaux de vitesse considérés dans le présent rapport.

## 7.5 Analyse des impacts sur l'environnement

L'analyse détaillée des impacts sur les environnements naturel et social qui sera effectuée dans le cadre du Livrable 9 se basera sur les caractéristiques environnementales (bruit, émissions) de chaque technologie représentative (issue du présent Livrable) et sur les détails de chaque alignement (déterminés dans le Livrable 6).

Différentes analyses environnementales seront élaborées pour les deux niveaux de vitesse considérés dans le présent rapport.

## 7.6 Recommandation sur la technologie

À la fin du Livrable 11, après que les analyses de planification financière et économique aient été complétées, une recommandation à l'égard de la technologie sera faite au sujet du Corridor Québec - Windsor, avec toutes les mises en garde nécessaires.

## 7.7 Conception d'un système de THV canadien

Peu importe quelle recommandation aura été faite à l'égard de la technologie à la fin de la présente étude, un choix définitif de la technologie relative au Corridor Québec-Windsor ne sera fait qu'ultérieurement, pour les raisons expliquées ci-dessous.

### 7.7.1 Évolution du THV de 2009-20??

Entre 2009 (en 2010 en fait) et le moment où une décision finale aura été rendue concernant la conception d'un système pour le Corridor, la technologie de THV aura continué de se développer dans les différents secteurs, tels que véhicules, voies, énergie et systèmes de signalisation, etc.



Certains de ces développements, qui ne peuvent pas être vraiment connus en ce moment, résulteront, selon toute probabilité, en des améliorations potentielles à l'égard de la performance, de la fiabilité, des prix ou d'adaptabilité améliorée aux conditions du Corridor. Les personnes et les entreprises qui seront responsables de faire l'ingénierie du système de THV du Corridor à ce moment là incluront sans doute certains de ces développements dans leurs plans et leurs spécifications.

### 7.7.2 Spécifications canadiennes

Des spécifications canadiennes pour les différents sous-systèmes seront élaborées, comme elles l'ont été pour le métro de Toronto, le métro de Montréal et plusieurs autres systèmes de transport canadiens initialement basés sur des technologies développées ailleurs.

### 7.7.3 Fabrication canadienne

Il y a très peu de doute qu'une proportion significative des composantes d'un système futur de THV dans le Corridor peut être fabriquée au Canada avec un taux élevé de contenu canadien. Les exemples les plus pertinents sont les suivants :

- ⊕ Les premières séries de voitures du métro de Toronto ont été conçues en Angleterre par *Gloucester Car and Carriage*. Subséquemment, des voitures de conception nouvelle ont été développées et fabriquées par Canadian Car à Thunder Bay; éventuellement, les caractéristiques de ce nouveau concept ont été incorporées dans les voitures de banlieue de premières générations du GO Transit ;
- ⊕ Les premières séries de voitures du métro de Montréal ont été fabriquées à Montréal par Vickers Canada, sur la base du concept et l'assistance technique de la CIMT Lorraine. Même pour la première génération, le concept a été adapté: les côtés de caisse ont été construits dans une forme convexe pour offrir plus d'espace voyageur en hiver. Subséquemment, cette caractéristique du concept a été adoptée par le métro de Paris ;
- ⊕ Les voitures de L'Acela Express ont été créées et construites au Canada par Bombardier Transport, sur la base des spécifications développées par Amtrak et ont incorporé les modifications nécessaires aux voitures, fondées sur un concept de TGV en conformité avec les exigences du FRA et autres exigences nord-américaines.



## RÉFÉRENCES

- [1] UIC: <http://www.uic.org/spip.php?article971>
- [2] UIC: Lignes haute vitesse dans le monde - <http://www.uic.org/spip.php?article573>
- [3] Barrón, Inaki: UIC HIGHSPEED 2008, The leading world event dedicated to high speed rail, RTR 1(2008)
- [4] UIC avec ajustements fait par l'auteur
- [5] Wikipedia - [http://en.wikipedia.org/wiki/High-speed\\_rail](http://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail)
- [6] Profilidis, V.A.: A survey of operational, technical and economic characteristics of tilting trains, Rail Engineering International 1998 2
- [7] UIC: SECOND REPORT ON TILTING TRAIN TECHNOLOGY - THE STATE OF THE ART, Passenger and High Speed Department, Paris, 2004
- [8] Mißler: DB Systemtechnik – T.TZF61
- [9] Rießberger: Ballasted Track for High Speed Operation, RTR Special 03/2008
- [10] RAIL.ONE GmbH: RHEDA 2000® - La voie sur dalle avec couche de support en béton, Informations de l'exploitant
- [11] Bögl: FF – Voie sur dalle, Informations de l'exploitant
- [12] UIC: Technologie de base de données, Novembre 2008
- [13] Cook, Tim: The Day/ The New York Times – 05-09-30 -, via Associated Press
- [14] Internet: <http://www.worldclimate.com/>
- [15] Internet: <http://www.weatherbase.com>
- [16] Transrail: EXPLOITATION DE TRAIN À HAUTE VITESSE DANS UN CLIMAT HIVERNAL; 2006
- [17] IRJ: International Railway Journal, January 2009
- [18] DB AG: RIL 836.0503 (règlementation interne)



## ANNEXE A : LIGNES DE THV DANS LE MONDE AUJOURD'HUI

### High speed lines in the world / Lignes de grande vitesse sur le monde

Lines or sections of lines in operation / Lignes ou tronçons de ligne en service  $V \geq 230$  km/h

Country / Pays	Line / Ligne	$V_{\max}$ [km/h]	Opening year Année d'ouverture	Length [km] Longueur
Belgium	Brussels - French Border	300	1997	72
	Leuven - Liege	300	2002	65
	Liege - German Border	260	2008	36
China	Beijing - Tianjin	300	2008	115
France	LGV Paris - Sud Est	300	1981 / 1983	419
	LGV Atlantique	300	1989 / 1990	291
	LGV Contournement Lyon	300	1992 / 1994	121
	LGV Nord Europe	300	1994 / 1996	346
	LGV Interconnexion IDF	300	1994 / 1996	104
	LGV Méditerranée	320	2001	259
	LGV Est	320	2007	332
Germany	Fulda - Würzburg	280	1988	90
	Hannover - Fulda	280	1991 / 1994	248
	Mannheim - Stuttgart	280	1985 / 1991	109
	Hannover (Wolfsburg) Berlin	250	1998	189
	Köln - Frankfurt	300	2002 / 2004	197
	Köln - Düren	250	2003	42
	(Karlsruhe -) Rastatt - Offenburg	250	2004	44
	Leipzig - Gröbers (- Erfurt)	250	2004	24
	Hamburg - Berlin	230	2004	253
Nürnberg - Ingolstadt	300	2006	89	
Italy	Rome - Florence (section 1)	250	1981	150
	Rome - Florence (section 2)	250	1984	74
	Rome - Florence (section 3)	250	1992	24
	Rome - Naples	300	2006	220
	Turin - Novara	300	2006	94
	Milan - Bologna	300	2008	182
	Novara - Milan	300	2008	55



**Lignes de grande vitesse sur le monde**  
Lignes ou tronçons de ligne en service  $V \geq 230$  km/h

Pays	Ligne	$V_{\max}$ [km/h]	Année d'ouverture	Longueur (km)
Japon	Tokyo - Osaka (Tokaido)	270	1964	515
	Osaka - Okayama (San-yo)	270	1972	161
	Okayama - Hakata (San-yo)	300	1975	393
	Omiya - Morioka (Tohoku)	275	1982	465
	Omiya - Niigata (Joetsu)	240	1982	270
	Takasaki - Nagano (Hokuriku)	260	1997	117
	Morioka - Hachinohe (Tohoku)	260	2002	97
	Yatsushiro - Kagoshima Chuo (Kyushu)	260	2004	127
Corée du Sud	Séoul - Daegu	300	2004	330
Espagne	Madrid - Séville	270	1992	471
	Madrid - Lleida	300	2003	519
	(Madrid -) La Sagra - Toledo	250	2005	21
	Cordoba - Antequera	300	2006	100
	Lleida - Camp de Tarragona	300	2006	82
	Madrid - Segovia - Valladolid	300	2007	179
	Antequera - Malaga	300	2007	55
	Camp de Tarragona - Barcelona	300	2008	88
Suisse	Frutigen - Visp (tunnel Lötschberg)	250	2007	35
Taiwan	Taipei - Kaohsiung	300	2007	345
Turquie	Ankara - Istanbul (section 1)	250	2009	206
Royaume-Uni	Jonction Fawkham - Tunnel sous la Manche	300	2003	74
	London - Jonction Southfleet	300	2007	39
USA	Corridor Nord-Est	240	2000	362
<b>13 countries / pays 51 lines / lignes</b>				<b>9 295 km</b>

Source: UIC Département Grande Vitesse 04 June 2008, mise à jour Avril 2009

## ANNEXE B: INVENTAIRE MONDIAL DES VÉHICULES DE THV

Pays	Exploitant	Classe	Composition de la rame	Caractéristiques	Nombre de rames	Mise en service	Puissance [kW]	Effort de traction [kN]	V. max. traction [km/h]	V. max. expl. [km/h]	Masse de la rame [t]	Charge axiale maxi [t]	Longueur de la rame [m]	Largeur de la rame	Sièges			Voltage	Systèmes de signalisation	Fournisseurs	Observations
															1ère classe	2e classe	Total				
			M: Motrice T: Remorque, L: Locomotive, MB: Bogie moteur, TB: Bogie porteur	C: Motorisation, A: Articulée, T: Inclinable, D: à étage	Rames exploitées et planifiées (xx) nombre de rames en commande	(xxxx-) année de mise en service projetée			Vitesse maximale de la rame	Vitesse d'exploitation actuelle (prévue)	Sans charge	En charge		Pour la voiture voyageurs	Si 3 classes, 1ère et 2e comprises dans la 1ère						Les exploitants qui ont succédé sont indiqués au cas où le premier exploitant fermerait ses portes. Certaines filiales sont manquantes
République tchèque	CD	680	4M 3T	T	7	2003-	3 920	200	230	200	385		184,4	2 800	105	228	333	3kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz	LS, LZB/PZB	Alstom	
Danemark	DSB	MG	DMU-4 (2MB 3TB)	A	<10 (83 en commande)	2008-	1 920		200				86	3 150			196	Diesel	ATC	Ansaldo Breda	
Finlande	VR	Sm 3	4M 2T	T	18	1995-	4 000		220	220	328	14,3	159	3 200			309	25kV50Hz	EBICAB900	Alstom	Écartement large (1524)
France, Belgique, Royaume-Uni	Eurostar UK, SNCF, SNCF	Eurostar, TGV TMST tric.	2L 18T (+ 2MB)	C, A	31	1993-	12 200		300	300	752	17	394	2 814	206	544	750	0,75kV 3kV 25kV50Hz	TVM/KVB, TBL, AWS/TPWS	Alstom	
France, Belgique, Royaume-Uni	Eurostar UK	Eurostar, TGV TMST tric.	2L 14T (+ 2MB)	C, A	7	1993-	12 200		300	300		17	320	2 814	114	444	558	0,75kV 3kV 25kV50Hz	TVM/KVB, TBL, AWS/TPWS	Alstom	
France, Belgique, Allemagne, Pays-Bas	Thalys	Thalys PBA	2L 8T	C, A	9	1996-	8 800		320	300	385	17	200	2 904	120	257	377	1,5kV 3kV 25kV50Hz	TVM/KVB, TBL,ATB, ETCS	Alstom	
France, Belgique, Allemagne, Pays-Bas	Thalys	Thalys	2L 8T	C, A	17	1996-	8 800		320	300	385	17	200	2 904	120	257	377	1,5kV 3kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz	TVM/KVB, TBL/TBL2, ATB, PZB/LZB, ETCS	Alstom	
France	SNCF	TGV PSE (bic.)	2L 8T (+ 2MB)	C, A	98	1978-	6 400		300	300	385	17	200	2 904	110 69	240 276	350 345	1,5kV 25kV50Hz	TVM/KVB	Alstom	
France, Suisse	SNCF, SBB	TGV PSE (tric.) Lyria	2L 8T (+ 2MB)	C, A	9	1978-	6 400		270	270	385	17	200	2 904	110	248	358	1,5kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz	TVM/KVB, ZUB	Alstom	
France	SNCF	TGV Postal	2L 8T (+ 2MB)	C, A	4	1978-	6 400		270	270	385	17	200	2 904	N/A	N/A	N/A	1,5kV 25kV50Hz	TVM/KVB	Alstom	Train de marchandise léger pour livraison seulement
France	SNCF	TGV Atlantique	2L10T	C, A	105	1988-	8 800		300	300	435	17	237	2 904	116	364	480	1,5kV 25kV50Hz	TVM/KVB	Alstom	
France	SNCF	TGV Réseau (bic.)	2L 8T	C, A	33	1993-	8 800		320	320	383	17	300	2 904	118	257	375	1,5kV 25kV50Hz	TVM/KVB	Alstom	
France	SNCF	TGV Réseau (tric.)	2L 8T	C, A	27	1993-	8 800		320	320	383	17	200	2 904	118	257	375	1,5kV 3kV 25kV50Hz	TVM/KVB, TBL, SCMT	Alstom	
France	SNCF	TGV Duplex	2L 8T	C, A, D	89	1996-	8 800		320	320	380	17	200	2 896	182	330	512	1,5kV 25kV50Hz	TVM/KVB	Alstom	
France	SNCF	TGV Duplex Réseau	2L 8T	C, A, D	19	2006-	8 800		320	320	380	17	200	2 896	182	330	512	1,5kV 25kV50Hz	TVM/KVB	Alstom	
France, Suisse	SNCF, SBB	TGV POS	2L 8T	C, A	19	2006-	9 280		320	320	383	17	200	2 904	105	252	357	1,5kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz	TVM/KVB, PZB/LZB, ZUB, ETCS	Alstom	
France	SNCF	TGV Duplex Dasye	2L 8T	C, A, D	80	2007-	9 280		320	320		17	200	2 896	182	330	512	1,5kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz	TVM/KVB, ETCS	Alstom	

Pays	Exploitant	Classe	Composition de la rame	Caractéristiques	Nombre de rames	Year in Service	Puissance [kW]	Effort de la traction [kN]	V. max. traction [km/h]	V. max. expl. [km/h]	Masse de la rame [t]	Charge axiale maxi [t]	Longueur de la rame [m]	Largeur de la rame	Sièges			Voltage	Systèmes de signalisation	Fournisseurs	Observations
															1ère classe	2e classe	Total				
				M: Motrice, T: Remorque, L: Locomotive, MB: Bogie moteur, TB: Bogie porteur	C: Motorisation, A: Articulée, T: Inclinable, D: à étage	Rames exploitées et planifiées (xx) nombre de rames en commande (xxxx-) année de mise en service projetée			Vitesse maximale d'exploitation	Vitesse d'exploitation actuelle (prévue)	Sans charge	En charge		Pour la voiture voyageurs	Si 3 classes, 1ere et 2e comprises dans la 1ere					Les exploitants qui ont succédé sont indiqués au cas où le premier exploitant fermerait ses portes. Certaines filiales sont manquantes	
Allemagne	DB AG	401 (ICE1)	2L 12T	C	59	1991-	9 600	400	280	280	782	19,5	358	3 020	197	506	703	15kV16.7Hz	LZB/PZB, ZUB	Siemens Bombardier	
Allemagne	DB AG	402 (ICE2)	1L 7T	C	44	1996-	4 800	200	280	280	410	19,5	205	3 020	105	263	368	15kV16.7Hz	LZB/PZB	Siemens Bombardier	La voiture voyageurs comprend 6 coaches and driving trailer.
Allemagne	DB AG	403 (ICE3)	4M 4T		50	2000-	8 000	300	330	300	409	16	200	2950	98	331	429	15kV16.7Hz	LZB/PZB	Siemens Bombardier	13 dernières ont été livrées en 2005 (avec 98/344 sièges)
Allemagne, Pays-Bas	DB AG, NS	406 (ICE3M)	4M 4T		11	2000-	8 000	300	330 220 (CC)	300	435	16	200	2 950	93	326	419	1,5kV 3kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz	LZB/PZB, ATB, TBL	Siemens Bombardier	
Allemagne	DB AG	406 (ICE3MF)	4M 4T		6	2000-	8 000	300	330 220 (CC)	300	435	16	200	2 950	91	322	413	1,5kV 3kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz	LZB/PZB, ATB, TBL, TVM/KVB	Siemens Bombardier	
Allemagne	DB AG	407 (ICE3M)	4M 4T		15	(2011-)	8 000		320	320	409		200				485	1,5kV 3kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz		Siemens	
Allemagne, Autriche	DB AG, ÖBB	411 (ICE-T) DB 4011 (ICE-T) ÖBB	4M 3T	T	32	2000-	4 000	2000	230	230	350	15	185	2 850	53	304	357	15kV16.7Hz	LZB/PZB, ZUB	Siemens Bombardier Alstom	D'autres se sont convertis en 411 (ICE-T2)
Allemagne	DB AG	411 (ICE-T2)	4M 3T	T	28	2005-	4 000	200	230	230	350	15	185	2 850	55	321	376	15kV16.7Hz	LZB/PZB	Siemens Bombardier Alstom	Trames ICE-T additionnelles (nommées ICE T2) avec plus grand nombre de sièges
Allemagne	DB AG	415 (ICE-T)	3M 2T	T	11	1999-	3 000	150	230	230	273	15	133	2 850	41	209	250	15kV16.7Hz	LZB/PZB, ZUB	Siemens Bombardier Alstom	Similaire à la classe 411, avec 2 trains en moins
Allemagne	DB AG	605 (ICE-TD)	4M	T	20	2001-	2 240		200	200	200		106	2 850			195	Diesel	LZB/PZB, ZUB	Siemens Bombardier Alstom	
Italie	Trenitalia	ETR 450	8M 1T	T	0	1988-?	5 000		250	250		12,5 (sans charge)	233,9	2 750	170	220	390	3kV	SCMT/BACC	Alstom	
Italie	Trenitalia	ETR 460	6M 3T	T	10	1995-	5 880		250	250	445	13,5 (sans charge)	237	2 800	139	341	480	3kV	SCMT/BACC	Alstom	
Italie, Suisse	Cisalpino	ETR 470	6M 3T	T	9	1996-	5 880		200	200		15,1	236,6	2 800	151	324	475	3kV 15kV16.7Hz	SCMT/BACC, ZUB	Alstom	
Italie	Trenitalia	ETR 480	6M 3T	T	15	1997-	5 880		250	250	422	13,5 (sans charge)	237	2 800	139	341	480	3kV 25kV50Hz	SCMT/BACC	Alstom	
Italie	Trenitalia	ETR 500	2L 12T	C	59	1995-	8 800		300	300	640 (en charge)		328	2 860	39+156	476	671	3kV 25kV50Hz	SCMT/BACC	Ansaldobreda Alstom Bombardier	
Italie	Trenitalia	ETR 600	4M 3T	T	12	2008-	5 600		250	250	443		187,4	2 840			432	25kV50Hz	SCMT/BACC, ETCS	Alstom	
Italie, Suisse	Cisalpino	ETR 610	4M 3T	T	(14)	(2009-)	5 600		250	250	450		187,4	2 840			431	3kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz	SCMT/BACC, ZUB, ETCS	Alstom	
Italie	NTV	AGV	EMU-11 (6MB 6TB)	A	(25)	(2011-)			360	300	410		200	2985			483	3kV 25kV50Hz		Alstom	
Pays-Bas	NS	V 250	4M 4T		(19)	(2010-)	5 500	300	250	250	423		200	2 870	127	419	546	1,5kV 3kV 25kV50Hz	ATB, TBL, LZB ETCS	Ansaldobreda	
Norvège	Flytoget	BM 71	3M		16	1997-	1 950		210	210	158		82,1		0	168	168	15kV16.7Hz	EBICAB 700	Bombardier	
Norvège	NSB	BM 73 (Signatur)	4M	T	22	1999-	1 950		210	210	212	16,5	108		56	151	207	15kV16.7Hz	EBICAB 700	Bombardier	
Portugal	CP	CPA 4000	4M 2T	T	10	1999-	3 920	210	220	220	299	14,4	158,9	2 920	96	205	299 (+2hp)	25kV50Hz	EBICAB 700	Alstom	Écartement large (1668)

Pays	Exploitant	Classe	Composition de la rame	Caractéristiques	Nombre de rames	Mise en service	Puissance [kW]	Effort de la traction [kN]	V. max. traction [km/h]	V. max. expl. [km/h]	Masse de la rame [t]	Charge axiale maxi [t]	Longueur de la rame [m]	Largeur de la rame	Sièges			Voltage	Systèmes de signalisation	Fournisseurs	Observations
															1ère classe	2e classe	Total				
			M: Motrice T: Remorque, L: Locomotive, MB: Bogie moteur, TB: Bogie porteur	C: Motorisation, A: Articulée, T: Inclinable, D: à étage	Rames exploitées et planifiées (xx) nombre de rames en commande	(xxxx-) année de mise en service projetée			Vitesse maximale de la rame	Vitesse d'exploitation actuelle (prévue)	Sans charge	En charge		Pour la voiture voyageurs	Si 3 classes, 1ere et 2e comprises dans la 1ere					Les exploitants qui ont succédé sont indiqués au cas où le premier exploitant fermerait ses portes. Certaines filiales sont manquantes	
Russie, Finlande	Karelian Railways	(Pendolino)	4M 3T	T	(4)	2009-	5 500		220	220			184,8	3 200	42+6	304	352	3kV 25kV50Hz		Alstom	Écartement large (1522)
Russie	RZD	ER 200	8M 2T		2	1974-	7 680		200	200	557,4		260	3 130			544	3kV		RVR	Écartement large (1520)
Russie	RZD	(Velaro)	EMU-10		(60)	2008	8 000		300	250	678 (en charge)	18,3	250	3 265			604	3kV 25kV50Hz		Siemens	Écartement large (1520)
Slovénie	SZ	ETR 310	2M 1T	T	3	2002-	1 980		200	200		14,8	81,2	2 800	30	136	166	3kV	SCMT/BACC, PZB	Alstom	
Espagne	Renfe Operadora	S 100	2L 8T	C, A	18	1992-	8 800	220	300	300	392	17,2	200,15	2 904	38+78	213 (+1hp)	329 (+1hp)	3kV 25kV50Hz	ASFA/LZB	Alstom	
Espagne	Renfe Operadora	S 101	2L 8T	C, A	6	1996-	5 400		200	200	392	17,2	200,15	2 904	112	202 (+2hp)	316 (+2hp)	3kV	ASFA, EBICAB 900	Alstom	Écartement large (1668)
Espagne	Renfe Operadora	S 102	2L 12T	C, A, T	16 (+30 in 2011)	2005-	8 000		330	300	324		200,24	2 960	45+78	196	319	25kV50Hz	ASFA, LZB, ETCS	Talgo Bombardier	
Espagne	Renfe Operadora	S 103	4M 4T		26	2007-	8 800	283	350	300	439	17	200	2 950	37+103	264 (+2hp)	404 (+2hp)	25kV50Hz	ASFA, LZB, ETCS	Siemens	
Espagne	Renfe Operadora	S 104	4M		20	2005-	4 000	212	250	250	222		107,1	2 920	30	206 (+1hp)	236 (+1hp)	25kV50Hz	ASFA, LZB, ETCS	CAF Alstom	Écartement large (1668)
Espagne	Renfe Operadora	S 114	4M		(13)	(2009-)	4 000	212	250	250	248		107,9	2 920		236	236 (+2hp)	25kV50Hz	ASFA, LZB, ETCS	Alstom	
Espagne	Renfe Operadora	S 120	4M		2	2006-	4000 (2700)	150	250 220 (CC)	250 220 (CC)	256	16,2	107,3	2 920	82 (+1hp)	156	238 (+1hp)	3kV 25kV50Hz	ASFA, LZB, ETCS	CAF Alstom Bombardier	Écartement double (1668, 1435)
Espagne	Renfe Operadora	S 121	4M		(29)	(2010-)			250 220 (CC)	250 220 (CC)			107,3	2 920			281	3kV 25kV50Hz	ASFA, LZB, ETCS	CAF Alstom	Écartement double (1668, 1435)
Espagne	Renfe Operadora	S 130	2L 11T	C, A, T	45	2007-	4800 (4000)		250 220 (CC)	250 220 (CC)			185,2	2 960	62 (+1hp)	236	298 (+1hp)	3kV 25kV50Hz	ASFA, LZB, EBICAB 900, ETCS	Talgo Bombardier	Écartement double (1668, 1435)
Espagne	Renfe Operadora	S 490	2M 1T	T	10	1999-	2 200	130	220	220	159			3 282	49	111	160 (+1hp)	3kV	ASFA	Alstom	Écartement large (1668)
Suède	SJ	X 2 (X 2000)	1L 5T	C, T	7	1990-	3 260	160	200	200		17,5	140	3 080	48	213	261 (+2hp)	15kV16.7Hz	EBICAB 700	Bombardier	
Suède	SJ	X 2 (X 2000)	1L 6T	C, T	36	1990-	3 260	160	200	200	360	17,5	165	3 080	96	213	309 (+2hp)	15kV16.7Hz	EBICAB 700	Bombardier	
Suède	SJ	X 40	2M	D	16	2005-	1 600		200	200	140		55,1	2 960			180	15kV16.7Hz	EBICAB 700	Alstom	
Suède	SJ	X 40	3M	D	27	2005-	2 400		200	200	205		81,5	2 960			288	15kV16.7Hz	EBICAB 700	Alstom	
Suède	Arlanda Express	X 3	2M 2T		7	1999-	2 240		200	200	193			3 063	0	190	190	15kV16.7Hz	EBICAB 700	Alstom	
Suisse	SBB	RABDe 500 (ICN)	4M 3T	T	44	2000-	5 200	210	220	200	355		188	2 830	125	326	451	15kV16.7Hz	ZUB	Bombardier Alstom	
Royaume-Uni	FGW, NEEC, EM	IC 125	2L 7T		20	1976-	3 360		200	200			197	2 740				Diesel	AWS/TPWS		FGW: First Great Western, NEEC: National Express East Coast, EM: East Midland
Royaume-Uni	FGW, NEEC, EM	IC 125	2L 8T		60	1976-	3 360		200	200			220	2 740				Diesel	AWS/TPWS		FGW: First Great Western, NEEC: National Express East Coast, EM: East Midland
Royaume-Uni	National Express East Coast	IC 225	1L 9T	C	30	1989-	4 350		225	200				2 740				25kV50Hz	AWS/TPWS		
Royaume-Uni	FGW, HT, NR etc.	180	5M		13	2000-	2 800		200	200	252,5		116,5	2 730	42	226	268	Diesel	AWS/TPWS	Alstom	HAT: Hull Trains, NR: Northern Rail
Royaume-Uni	Cross Country	220	4M		34	2001-	2 200		200	200	185,6		93,34	2 730	26	162	188	Diesel	AWS/TPWS	Bombardier	"Voyager"
Royaume-Uni	Virgin, Cross Country	221	4M	T	4	2002-			200	200				2 730				Diesel	AWS/TPWS	Bombardier	"Super Voyager"
Royaume-Uni	Virgin, Cross Country	221	5M	T	44	2002-	2 800		200	200	281,9		116,16	2 730	26	224	250	Diesel	AWS/TPWS	Bombardier	"Super Voyager"

Pays	Exploitant	Classe	Composition de la rame	Caractéristiques	Nombre de rames	Mise en service	Puissance [kW]	Effort de la traction [kN]	V. max. traction [km/h]	V. max. expl. [km/h]	Masse de la rame [t]	Charge axiale maxi [t]	Longueur de la rame [m]	Largeur de la rame	Sièges			Voltage	Systèmes de signalisation	Fournisseurs	Observations
															1ère classe	2e classe	Total				
			M: Motrice T: Remorque, L: Locomotive, MB: Bogie moteur, TB: Bogie porteur	C: Motorisation, A: Articulée, T: Inclinable, D: à étage	Rames exploitées et planifiées (xx) nombre de rames en commande	(xxx-) année de mise en service projetée			Vitesse maximale de la rame	Vitesse d'exploitation actuelle (prévue)	Sans charge	En charge		Pour la voiture voyageurs	1ère classe	2e classe	Total				Les exploitants qui ont succédé sont indiqués au cas où le premier exploitant fermerait ses portes. Certaines filiales sont manquantes
Royaume-Uni	East Midlands Trains, Hull Trains	222	4M		4	2004-			200	200				2 730				Diesel	AWS/TPWS	Bombardier	"Meridian"
Royaume-Uni	East Midlands Trains, Hull Trains	222	5M		17	2004-			200	200				2 730				Diesel	AWS/TPWS	Bombardier	"Meridian"
Royaume-Uni	East Midlands Trains, Hull Trains	222	7M		6	2004-	3 920		200	200			181,8	2 730	106	236	342	Diesel	AWS/TPWS	Bombardier	"Meridian"
Royaume-Uni	Virgin	390	6M 3T	T	52 (+4)	2002-	5 500	204	225	200	458 (en charge)	16,1	217	2 730	145	294	439	25KV50Hz	AWS/TPWS	Alstom	A décidé d'augmenter la taille de la rame à 11 wagons pour 31 rames et de créer 4 nouvelles de 11 wagons.
Royaume-Uni	Southeastern	395	4M 2T		(29)	(2009-)	3 360		225	225		11 (sans charge, moy.)	121,8	2 810	0	348	348	0.75KV 25kV50Hz	TVM/KVB AWS/TPWS	Hitachi	
Royaume-Uni	Ministère du Transport	Super Express	10M			(2013-)	4 000	400	225	200	438		250	2700			581	Diesel	ATC	Agility Train (Hitachi)	
Chine	CR	CRH 1	5M 3T		40 (80 en 2010)	2007-(2009-)	5 500	320	200	200	420		214	3 328	144	523	667	25kV50Hz		Bombardier Sifang Power	Des rames supplémentaires de type 10M 6T.
Chine	CR	CRH 2 A	4M 4T		60	2007-	4 800		250	250	360		201	3 380		559	610	25kV50Hz		Kawasaki CSR Sifang	
Chine	CR	CRH 2 B	8M 8T		1	2008-	9 600		250	250			401	3 380			1230	25kV50Hz		Kawasaki CSR Sifang	
Chine	CR	CRH 2 C	6M 2T		10	2008-	7 342		300	300			201	3 380		559	610	25kV50Hz	CTCS	CSR Sifang	
Chine	CR	CRH 3	4M 4T		60	2008-	8 800	300	350	350	447		200	3 265			557	25kV50Hz	CTCS	Siemens CNR Tangshan	
Chine	CR	CRH 5	5M 3T		60	2007-	5 500	300	200	200	421	17	212	3 200	112	474	586	25kV50Hz		Alstom Changchun Car	
Taiwan	THSRC	700 T	9M 3T		30	2007-	10 260		300	300	503		304	3 380	66	923	989	25kV60Hz	ATP	H, KHI, NS*	
Japon	JRW	0	6M		3 (0 en 2008)	1964-2008	4 440		220	220	970 pour l'original 16 trames (En charge)		150	3 380	0	400	400	25kV60Hz	ATC	H, KHI, KS, NS, TCC*	Premier THV du monde. Passage de 16 wagons à 6 wagons pour le transport local; abandonné en nov. 2008
Japon	JRW	100	4M		12	1985-	3 680		230	220	925 pour l'original 16 trames (En charge)		102	3 380	0	250	250	25kV60Hz	ATC	H, KHI, KS, NS, TCC*	Passage de 16 wagons à 6-4 wagons pour le transport local
Japon	JRW	100	6M		10	1985-	5 520		230	220	925 for original 16-car set (Loaded)		152	3 380	0	394	394	25kV60Hz	ATC	H, KHI, KS, NS, TCC*	Passage de 16 wagons à 6-4 wagons pour le transport local
Japon	JRE	200	10M		11	1982-	9 200		240	240	688 pour l'original 12 trames (En charge)	16,1	250	3 380	52	710	762	25kV50Hz	ATC DS-ATC	H, KHI, KS, NS, TCC*	Rame à 12 wagons lorsqu'elle débute
Japon	JRC JRW	300 300-3000	10M 6T		70	1992-	12 000		270	270	710 (En charge)		402,1	3 380	200	1123	1323	25kV60Hz	ATC ATC-NS	H, KHI, KS, NS*	
Japon	JRE	400	6M 1T		12	1992-(2009)	5 040		240	240	318 (En charge)	12,9	149	2 947	20	379	399	25kV50Hz 20kV50Hz	ATC DS-ATC ATS-P	KHI, TCC*	Pour l'exploitation de la ligne Shinkansen line et l'amélioration de la ligne traditionnelle (ligne Yamagata line). À remplacer par le E3-2000 en 2009
Japon	JRW	500	16M		9	1996-	18 240		300	300	688 (En charge)	11,7	404	3 380	200	1124	1324	25kV60Hz	ATC ATC-NS	H, KHI, KS, NS*	Passage à 8 wagons pour le transport local

Pays	Exploitant	Classe	Composition de la rame	Caractéristiques	Nombre de rames	Mise en service	Puissance [kW]	Effort de la traction [kN]	V. max. traction [km/h]	V. max. expl. [km/h]	Masse de la rame [t]	Charge axiale maxi [t]	Longueur de la rame [m]	Largeur de la rame	Sièges			Voltage	Systèmes de signalisation	Fournisseurs	Observations
															1ère classe	2e classe	Total				
			M: Motrice T: Remorque, L: Locomotive, MB: Bogie moteur, TB: Bogie porteur	C: Motorisation, A: Articulée, T: Inclinaison, D: à étage	Rames exploitées et planifiées (xx) nombre de rames en commande	(xxxx-) année de mise en service projetée			Vitesse maximale de la rame	Vitesse d'exploitation actuelle (prévue)	Sans charge	En charge		Pour la voiture voyageurs	Si 3 classes, 1ère et 2e comprises dans la 1ère					Les exploitants qui ont succédé sont indiqués au cas où le premier exploitant fermerait ses portes. Certaines filiales sont manquantes	
Japon	JRW	700 700-3000	14M 2T	T	24 (96 en 2011)	2007-	17 080		300	300	715	Approx 11	404,7	3360	200	1123	1323	25kV60Hz	ATC ATC-NS	H, KHI, KS, NS*	
Japon	JRW	700-7000	6M 2T		16	2000-	6 600		285	285	356 (En charge)	11,4	204,7	3 380	0	571	571	25kV60Hz	ATC ATC-NS	H, KHI, KS, NS*	
Japon	JRC JRW	N 700 N 700-3000	14M 2T	T	24 (96 en 2011)	2007-	17 080		300	300	Approx 700 (En charge)	Approx 11	404,7	3 360	200	1123	1323	25kV60Hz	ATC ATC-NS	H, KHI, KS, NS*	
Japon	JRW JRK	N 700	8M		(29)	(2011-)	9 760		300	300			204,7	3 360	24	522	546	25kV60Hz			
Japon	JRK	800	4M 2T		6	2004-	6 600		260	260	276 (En charge)	11,4	154,7	3 380	0	392	392	25kV60Hz	KS-ATC	H*	
Japon	JRE	E 1	6M 6T	D	6	1994-	9 840		240	240	693 (En charge)	17	302	3 380	102	1133	1235	25kV50Hz	DA ATC	H, KHI*	
Japon	JRE	E 2	6M 2T		14	1997-	7 200		275	275	352 (En charge)	13,2	201,4	3 380	51	579	630	25kV50Hz 25k00 Hz	ATC DS-ATC	H, KHI, NS, TCC*	
Japon	JRE	E 2 E 2-1000	8M 2T		33	1997- 2002-	9 600		275	275	492 (En charge)	13,2	251,4	3 380	51	763	814	25kV50Hz	ATC DS-ATC	H, KHI, NS, TCC**	
Japon	JRE	E 3	4M 2T		26	1997-	4 800		275	275	259 (En charge)	12,2	128,2	2 945	23	315	338	25kV50Hz 20kV50Hz	ATC DS-ATC ATS-P	KHI, TCC*	Pour exploitation sur la ligne de Shinkansen et la ligne originale améliorée (ligne Akita).
Japon	JRE	E 3-1000	5M 2T		3	1999-	6 000		275	275	311 (En charge)	12,2	148,7	2 945	23	379	402	25kV50Hz 20kV50Hz	ATC DS-ATC ATS-P	KHI, TCC*	Pour exploitation sur la ligne de Shinkansen et la ligne originale améliorée (ligne Yamagata).
Japon	JRE	E 3-2000	5M 2T		12	2008-	6 000		275	275			148,7	2 945	23	371	394	25kV50Hz 20kV50Hz	ATC DS-ATC ATS-P		
Japon	JRE	E 4	4M 4T	D	26	1997-	6 720		240	240	428 (En charge)	16	201,4	3 380	54	763	817	25kV50Hz	DS-ATC	H, KHI*	
Japon	JRE	E 5	EMU-10	T		(2011-)			320	300 (320 en 2013)								25kV50Hz	DS-ATC		
Corée du Sud	KORAIL	KTX	2L 18T (+ 2MB)	C, A	46	2004-	13 560		300	300	701	17	388	2 904	127	808	935	25kV60Hz	ATC (TVM)	Alstom HyundaiRotem	
Corée du Sud	KORAIL	KTX II	2L 8T	C, A	(10)	(2009-)	8 800	210	330	300	434		201		30	333	363	25kV60Hz	ATC (TVM)	HyundaiRotem	
Arabie Saoudite	SRO		1L 5 T			(2010-)	3 600		200									Diesel		CAF	
Turquie	TCDD	HT 65000	4M 2T		10	2008	4 800	200	250	250			158,5	2 920	55	364	419	25kV50Hz		CAF	
Etats-Unis	Amtrak	Acela	2L 6T	C, T	20	2000-	9 200		241	241	566	23	203	3 175	44	260	304	25kV60Hz 12kV60H 12kV25Hz	ATP	Bombardier Alstom	

Base de données : UIC novembre 2008, mise à jour en juin 200

 \*Fournisseurs japonais : KS: Kinki Sharyo  
 H: Hitachi NS: Nippon Sharyo  
 KHI: Kawasaki Heavy Industry TCC: Tokyu Car Corporation

## ANNEXE C : COMPARAISON TECHNIQUE DES VOIES FERRÉES SUR BALLAST ET SUR DALLE

	Voie sur ballast		Voie sur dalle	
	avantage	inconvénient	avantage	inconvénient
<b>Construction</b>				
Expérience en haute vitesse	La voie sur ballast est une technique bien connue et éprouvée, dont la configuration a été optimisée à l'expérience des dernières décennies.		La voie sur dalle est une technique perfectionnée. Sa configuration est en voie d'être optimisée suite aux expériences effectuées dans les dernières décennies.	Plusieurs variétés sur le marché. DB utilise des spécifications fonctionnelles dans ses appels d'offres.
Procédures de construction	Fortement mécanisées, (progrès des travaux / coûts des travaux)  vitesse de pose jusqu'à 350 m/h		Fortement mécanisées et procédures de construction en voie d'amélioration. (progrès des travaux / coûts des travaux)  vitesse de pose de 500 m à 700 m / jour	Niveau d'effort plus élevé pour la compaction et l'obtention d'une fondation sans tassement Plus de temps requis
Erreurs durant la construction	Sensibilité relativement basse aux erreurs en cours de construction; les erreurs sont faciles à corriger.			Supervision plus délicate  Les défauts de construction sont «coulés dans le béton»
Coûts de construction (terrassement)	Si le coût de construction de la voie sur ballast est de 1, celui de la voie sur dalle varie de 1,3 à 1,7, selon les intervalles de maintenance prévus.	La voie doit être construite dans une direction, car les machines de pose de voie sont guidées sur les rails.  Nombreux transports de matériel sur les rails nouvellement posés.	Potentiel de temps de construction plus court, car les travaux peuvent se faire indépendamment sur plusieurs sites	Exigences poussées de stabilité et d'homogénéité pour réduire les tassements
Coûts de construction (ponts de grande longueur)	Le rapport des coûts est de 1 (sur ballast) à 1,09-1,13 (sur dalle)	Des mesures spéciales doivent être prises (ex. : tapis à ballast) pour prévenir la détérioration rapide du ballast sur la structure du pont.		Les forces horizontales et latérales doivent être transférées à la structure du pont, ce qui exige une conception de voie spéciale.
Coûts de construction (tunnels de grande longueur, >500m)		Des mesures spéciales doivent être prises (ex. : tapis à ballast) pour prévenir la détérioration rapide du ballast sur la structure du tunnel.  Le drainage doit pouvoir évacuer la glace qui tombe des trains.	Coûts de construction moins élevés que voie sur ballast. Le rapport des coûts de construction est de 1 (voie sur ballast) à 0,88 – 0,95 (voie sur dalle)	Production importante de poussière au cours de la construction.
<b>Maintenance</b>				
Niveau d'effort pour la maintenance	Procédures de maintenance fortement mécanisées  (progrès des travaux / coûts des travaux)		Coûts présumés être de 20 à 30 % de ceux d'une voie sur ballast.	Procédures de maintenance spéciales et coûteuses doivent être effectuées aux endroits de déraillement et de défauts majeurs.
Adaptabilité aux tassements du terrain	Élevée			Adaptabilité très restreinte dans les fixations seulement

	Voie sur ballast		Voie sur dalle	
	avantage	inconvénient	avantage	inconvénient
Maintenance en cours d'année		La maintenance du ballast et de la géométrie de la voie ne peut se faire que dans une plage restreinte de température ; ballast gelé : risque de résistance latérale faible après bourrage sous température élevée	Permanence de la bonne géométrie de la voie	
Résistance aux déviations de la géométrie		Résistance latérale limitée et détérioration constante de la géométrie et de la qualité de la voie ;  bourrage pour replacer la géométrie	Résistance très élevée aux déviations géométriques ; la qualité de la voie est constante	
Détérioration des composantes		Détérioration du ballast  Détérioration du rail  Détérioration des joints de rail		Fréquence plus grande de meulage des rails?
Niveau d'effort pour l'inspection		Très important de faire des inspections fréquentes de la géométrie et de la qualité de la voie, de la détérioration du ballast	Important d'inspecter le rail	
Déraillement	Selon l'importance des dommages, toutes les traverses et fixations doivent être remplacées.			Effort de réparation important si la dalle est endommagée par un peu probable déraillement.
Renouvellement		Renouvellement total après 30 ou 40 ans  Impact sur la disponibilité de la voie pour l'exploitation	Seuls les rails et les fixations doivent être renouvelés. La durée de vie est de 60 ans.	
Frais pour la non disponibilité de la voie pour l'exploitation, pour cause de travaux de maintenance, ou restrictions de vitesse		Périodes de non disponibilité pour le bourrage et le renouvellement. Selon la condition et la maintenance de la voie, des restrictions de vitesse seront nécessaires.	Demande significativement plus basse de temps pour la maintenance	

	Voie sur ballast		Voie sur dalle	
	avantage	inconvénient	avantage	inconvénient
<b>Principales caractéristiques du système</b>				
Planification de l'alignement		Dévers maximal = 180 mm (EBO)	Potentiel d'économie dans les coûts de construction en l'absence de ponts et de tunnels.  Varie selon l'environnement  Dévers pour le confort des voyageurs : 200 mm(TSI)	
Durée de vie prévue	Le renouvellement total de la voie se fait avec des machines qui permettent une mécanisation poussée. On peut ainsi exploiter le service sur la deuxième voie.	Rails : 20 ans Fixations : 40 ans Traverses : 40 ans Ballast : 40 ans	Rails : 20 ans Fixations : 40 ans Dalle : 60 ans	Aucune expérience à date de renouvellement total. On présume que la ligne devra être entièrement fermée pour un certain temps.
			Le prix kilométrique de la voie sur dalle baisse en utilisant des sections plus longues.	
Réflexion du bruit	Faible réflexion du bruit			Faute de mesures, la voie réfléchira environ 3 db (A) de plus que la voie sur ballast.
Géométrie et qualité de la voie	Exactitude adéquate de l'alignement de la voie et durabilité de la voie	Résistance latérale limitée	Résistances latérale et longitudinale élevées:  Pas de risque de gondolage de la voie;  Dévers plus élevé possible (voir l'alignement)	
Vibrations		Transmission élevée des vibrations		
Hauteur de la structure de voie			Moins élevée	
Accessibilité en tunnel pour les véhicules de secours			Les véhicules routiers peuvent accéder, spécialement dans les tunnels	

	Voie sur ballast		Voie sur dalle	
	avantage	inconvénient	avantage	inconvénient
Chute de glace de la rame		Problème de déformation du ballast et destruction de pièces de la rame	Aucun ballast à ramasser – Il faut examiner attentivement la résistance à la chute de glace	
Risque de gel des eaux d'écoulement Risque de mauvais fonctionnement du drainage		Le drainage peut être bloqué suite à la détérioration du ballast, problèmes particuliers aux aiguillages	Aucun effet sur la géométrie de la voie	
Distance entre les liaisons et aiguillages		La distance est reliée aux travaux de maintenance de la voie et à leur effet sur l'exploitation : habituellement de 25 à 30 km	Comme on n'a qu'à meuler le rail, la distance entre les voies de croisement peut être plus grande.	
<b>Interface avec le matériel roulant</b>				
Utilisation de freinage par courants de Foucault en exploitation		Impossible, pour les urgences seulement	Possible	
Interface rail - roue		L'impact des forces verticales résultant de la masse dynamique non suspendue du véhicule doit être compensée pour minimiser la détérioration du ballast.  C'est un des principaux facteurs de coûts de la maintenance		
Ramassage de ballast suite aux chutes de glace du véhicule		Le ramassage de ballast est un risque pour l'exploitation et le dommage aux véhicules	Aucun ramassage de ballast	

#### Aspects généraux de la voie et des équipements de voie :

Rail de profil UIC 60 E 1, grade Standard (éprouvé en haute vitesse): ou norme nord-américaine pour charge lourde

Conception des aiguillages; glace entre les pointes; machines d'aiguillage spéciales, chauffage;

Conception particulière pour les tranchées afin de les protéger des chutes de neige importantes

Changement de voie possible sur un segment de la ligne.

Les dénivellations sont bien plus coûteuses mais on évite les passages à niveau; moins de problèmes prévus en hiver ; les mauvais sols (ex. : marécages) demandent cette solution pour la voie sur dalle ; minimisation de l'impact sur l'environnement.



## ANNEXE D : VUE D'ENSEMBLE DES SYSTÈMES EXISTANTS DE SIGNALISATION ET CONTRÔLE DES TRAINS POUR LES THV

### AWS/TPWS du Royaume-Uni

par Alstom et Bombardier

Le Système d'alerte automatique (AWS pour: *Automatic Warning System*) est une forme limitée de signalisation de cabine et de système de protection de train qui a été introduit en 1956 en Grande-Bretagne afin d'aider les conducteurs de train à observer et à suivre la signalisation.

Le Système de protection automatique des trains (TPWS pour : *Train Protection & Warning System*) est un système de protection de train qui a été déployé à travers tout le réseau ferroviaire voyageurs du Royaume-Uni, tout comme à Victoria, en Australie. Il active automatiquement les freins de n'importe quel train qui franchirait un signal de danger ou qui roulerait à une vitesse excessive. Il est monté aux endroits choisis, incluant sur les lignes où la protection automatique des trains est activée.

Selon la réglementation «Arrêt et Procéder», AWS/TPWS ne peut régulariser la vitesse d'un train après qu'il ait passé un signal d'arrêt.

Le système fonctionne de façon intermittente seulement et n'est pas recommandé pour les lignes hautement sophistiquées, donc il n'est pas approprié pour le projet de THV Québec-Windsor.

Recommandation comme technologie représentative : Non

Raison : N'est pas extensible pour de hautes vitesses et de basses performances



**EBICAB de Suède, Norvège, Portugal, Bulgarie, Espagne, Finlande** par Bombardier

L'EBICAB est un système de protection de train qui a été conçu originalement en Suède et qui utilise des paires de balises montées sur les traverses.

Le système est offert en deux versions : EBICAB 700 pour la Suède, la Norvège, le Portugal et la Bulgarie et EBICAB 900 installé dans le Corridor espagnol méditerranéen ( $V_{max} = 220$  km/h) et en Finlande. La principale différence entre le EBICAB 900 et le EBICAB 700 est l'utilisation de 12 Bits au lieu de 32 Bits pour le EBICAB 900 afin d'obtenir cinq balises contrôlées par un seul signal.

Le système espagnol ASFA / EBICAB 900 est compatible avec plusieurs systèmes de signalisation. L'utilisation de l'ETCS Niveau STM-Mode permet l'ajustement vers la nouvelle norme du système ERTMS-standard. L'EBICAB 900 est applicable à l'ERTMS à l'aide d'un léger ajustement.

Concernant son utilisation dans le cadre du projet THV Québec-Windsor, des ajustements particuliers devront être faits au sujet du système de signalisation.

Recommandation comme technologie représentative : Non

Raison :

La norme actuelle ERTMS-standard a remplacé ce système pour les nouveaux projets THV



**ZUB de Suisse, Danemark, Allemagne**

par Siemens

ZUB est offert dans les versions ZUB 121, ZUB 122 et ZUB 123.

ZUB 121 est un système de contrôle intermittent de trains qui offre l'option de supervision continue pour certains segments. Des balises et des antennes s'occupent de la transmission de renseignements. ZUB 122 est utilisé sur des lignes mineures sur lesquelles des trains pendulaires roulent à des vitesses jusqu'à 160 km/h. ZUB 123 est utilisé pour les lignes du Danemark.

La technologie ZUB n'est pas appropriée dans le cadre du projet THV Québec-Windsor, vu son manque d'expérimentation sur les lignes haute vitesse.

Recommandation comme technologie représentative Non

Raison :

N'est pas extensible pour de hautes vitesses et de basses performances

Note : C'est pour cette raison qu'on a introduit le DS-ATC.



## ATC Japon

par Hitachi, Kawasaki

ATC est un système de contrôle automatique des trains et est utilisé sur toutes les lignes à haute vitesse Shinkansen du Japon. ATC a également été introduit sur de nombreuses lignes à titre de remplacement de la commande d'arrêt automatique des trains.

La technologie ATC se base sur le contrôle embarqué, permettant au freinage de se répartir dans chacun des trains et ainsi améliorer le confort et la sécurité des passagers. Le fait qu'il peut également contribuer à l'augmentation de vitesse et offrir des horaires plus denses est déterminant pour l'exploitation efficace des voies. Pour les nouvelles voies à haute vitesse du Japon, un système numérique amélioré (DS-ATC) a été conçu. Vous trouverez également des informations additionnelles sur le DS-ATC ci-après. Les systèmes ATC et du DS-ATC offrent des solutions très spécifiques à ce pays et s'adaptent difficilement aux autres systèmes de signalisation.

Recommandation comme technologie représentative

Non

Raison : ATC Japon n'est pas extensible pour de hautes vitesses et de basses performances

Note : C'est pour cette raison qu'on a introduit le DS-ATC.



### ATP d'Amtrak, États-Unis

par Bombardier et Alstom

L'ATP est un système de protection automatique des trains qui s'assure de l'exploitation sécuritaire et régulière des trains. Cet ATP est utilisé par Amtrak aux États-Unis depuis 2000 sous le nom d'«ACELA».

Le système ACELA d'Amtrak se fonde sur les principes du système français TVM/KVB d'Alstom, tel que décrit ci-après. Le système ATP/Acela est compatible avec la technologie F200+ et pourrait toujours être mis à niveau pour la technologie E300+, si les connaissances pour la modification de cet ancien logiciel sont toujours disponibles.

Les installations de train ATP d'Amtrak, ou TVM/KVB, peuvent s'adapter à l'ERTMS Niveau 2. Toutefois, la complexité et les coûts s'y rattachant sont très élevés. Le système ATP/Acela comprend seulement le système de protection automatique des trains, comparativement à l'ERTMS Niveau 2 qui comprend le système ATP, le RBC et le système radio GSM-R utilisé pour la communication vocale et la transmission de données.

Recommandation comme technologie représentative

Non

Raison :

Pour un système autonome en vue de nouveaux projets de trains à haute vitesse, la norme ERTMS actuelle a remplacé le système TVM/KVB. Le système ATP / Acela utilise des circuits de voie à fréquence radio, transmettant ainsi des informations de signalisation par les voies. Les circuits de voie sont plus sensibles aux conditions climatiques, comme la pluie, la neige et le givre.



## SCMT/BACC d'Italie

par Ansaldo

Le Sistema Controllo Marcia Treno (SCMT) est un système discontinu de signalisation de cabine de train qui est utilisé sur les lignes haute vitesse en Italie.

Il partage plusieurs caractéristiques avec le système Ripetizione Segnali (RS) puisque les deux systèmes coexistent et travaillent conjointement. La fonction principale du SCMT est d'assurer le respect de la limite de vitesse régie par le type de signalisation et l'état de la ligne.

Le SCMT est composé d'un ensemble de balises nommées "Punto informativo" (PI dorénavant) qui sont placées sur les voies, près des signaux, des zones de vitesse réduite et d'autres endroits stratégiques le long de la ligne. Lorsqu'un train traverse un PI, un ensemble «d'antennes» monté devant le premier bogie active le PI par induction. Par la suite, le PI transmet l'information au sujet de l'aspect du prochain signal par les antennes embarquées du SCMT.

Ce système s'adapte à la norme ERTMS.

Le SCMT/BACC n'est pas appropriée dans le cadre du projet THV Québec-Windsor à cause des caractéristiques spécifiques au pays.

Recommandation comme technologie représentative

Non

Raison :

Solutions très spécifiques à ce pays. La norme ERTMS actuelle a remplacé le système SCMT/BACC pour de nouveaux projets de trains à haute vitesse.



**ATC (TVM), Corée du Sud** par Alstom

Le système de contrôle automatique de train (ATC) de la ligne haute vitesse sud-coréenne, se fonde sur le système français TVM/KVB, qui est utilisé sur les lignes de TGV.

Recommandation comme technologie représentative Non

Raison :

Solutions très spécifiques à ce pays. La norme ERTMS existante a remplacé le système TVM/KVB comme système autonome en vue de nouveaux projets de trains à haute vitesse.



**DS-ATC / ATP du Japon et Taiwan**

par Hitachi, Kawasaki

Ce système a été conçu au Japon afin d'exploiter les trains à haute vitesse Shinkansen 700 T. Ce système est également utilisé par la Corporation haute vitesse de Taiwan (THSRC) depuis 2007 pour l'exploitation de trains à 300 km/h.

Recommandation comme technologie représentative

Non

Raison :

Solutions très spécifiques à ce pays.



**TVM/KVB, France**

par Alstom

La transmission Voie-Machine (TVM) est une forme de signalisation de cabine utilisée sur les lignes haute vitesse du TGV français et diffère de façon considérable de la signalisation sur les lignes ferroviaires conventionnelles.

Parce que les trains TGV circulent trop rapidement, les opérateurs ne peuvent pas voir les signaux traditionnels en bordure de voie, le système automatisé TVM est utilisé pour la signalisation sur les lignes de TGV.

L'information est transmise aux rames au moyen d'impulsions électriques transmises par les voies. Une antenne sous la rame capte le signal et le transmet à l'ordinateur embarqué qui décode les signaux et fournit directement à l'opérateur, par les instruments du tableau de bord des indications sur la vitesse actuelle, la vitesse cible et les ordres d'arrêt et de marche.

Ce système s'adapte à la norme ERTMS.

Recommandation comme technologie représentative

Non

Raison :

Solutions très spécifiques à ce pays. La norme ERTMS actuelle a remplacé le système TVM/KVB comme système autonome en vue de nouveaux projets de trains à haute vitesse.



**LZB, PZB, ZUB Allemagne, Autriche et Espagne**

par Siemens et Thales

LZB (Linien-Zug-Beeinflussung – signifiant le contrôle de trains en continu) est un système de signalisation de cabine et un système de protection automatique de trains qui est utilisé sur les lignes haute vitesse en Allemagne et en Autriche ainsi que sur les lignes haute vitesse AVE en Espagne. La transmission des données est faite à haute fréquence de façon réciproque au moyen d'un câble coaxial monté entre les rails.

Une caractéristique particulière du système est le contrôle automatique de la conduite et du freinage qui permet à l'opérateur d'activer le pilote automatique, qui lui stabilisera la conduite du train à la vitesse maximale permise par le LZB. Cette fonction permet à l'opérateur de simplement se concentrer sur la supervision de la rame et ainsi être à l'affut des obstacles imprévisibles sur les voies.

Ce système s'adapte à la norme ERTMS.

Recommandation comme technologie représentative

Non

Raison :

Solutions très spécifiques à ce pays. La norme ERTMS actuelle a remplacé le système LZB comme système autonome pour les nouveaux projets de trains à haute vitesse.



**Système de gestion de trafic ferroviaire européen (ERTMS)** par les six membres de l'UNIFE

Depuis la publication des études précédentes du projet de train rapide Québec-Windsor, une toute nouvelle technologie de contrôle de train a vu le jour et a été mise en service en Europe.

Le système de gestion de trafic ferroviaire européen (ERTMS) est un projet industriel d'ampleur qui a été conçu par six membres de l'UNIFE, tels qu'Alstom Transport, Ansaldo STS, Bombardier Transport, Groupe ferroviaire Invensys, Siemens Mobility et Thales. Ces membres travaillent en étroite collaboration avec les parties prenantes ferroviaires de l'Union européenne et l'industrie du GSM-R (Système global de communications ferroviaires mobiles).

L'ERTMS comprend deux composantes de base :

- ETCS (qui signifie le système européen de contrôle des trains), un système de protection automatique des trains (ATP), et
- GSM-R, un système radio qui permet la communication vocale et la transmission de données entre les voies et le train et qui utilise le système GSM normal à l'aide de fréquences spécialement réservées à l'application ferroviaire et de certaines fonctions avancées et spécifiques.

En tant que système de contrôle de train normalisé en Europe, l'ERTMS a été conçu pour remplacer à travers l'Europe de façon graduelle les systèmes nationaux de contrôles des trains qui sont incompatibles. Cela sous-entend que l'ERTMS est caractérisé par une grande flexibilité et s'adapte aux différents environnements de signalisation.

L'ERTMS est actuellement le système de contrôle de trains le plus performant au monde et offre des avantages marqués au niveau des économies de coûts de maintenance, de la sécurité, de la fiabilité, de la ponctualité et du volume de trafic. Ceci explique le succès croissant de l'ERTMS en dehors de l'Europe. Ce système est sur le point de devenir le système de contrôle des trains de référence dans des pays comme la Chine, l'Inde, le Taiwan, la Corée du Sud et l'Arabie saoudite.

L'ERTMS Niveau 2 réduit au minimum les équipements de voie et, par conséquent, la maintenance sur le terrain. Ce système réduit également de façon considérable les coûts de maintenance et les problèmes reliés aux conditions hivernales.

Recommandation comme technologie représentative Oui

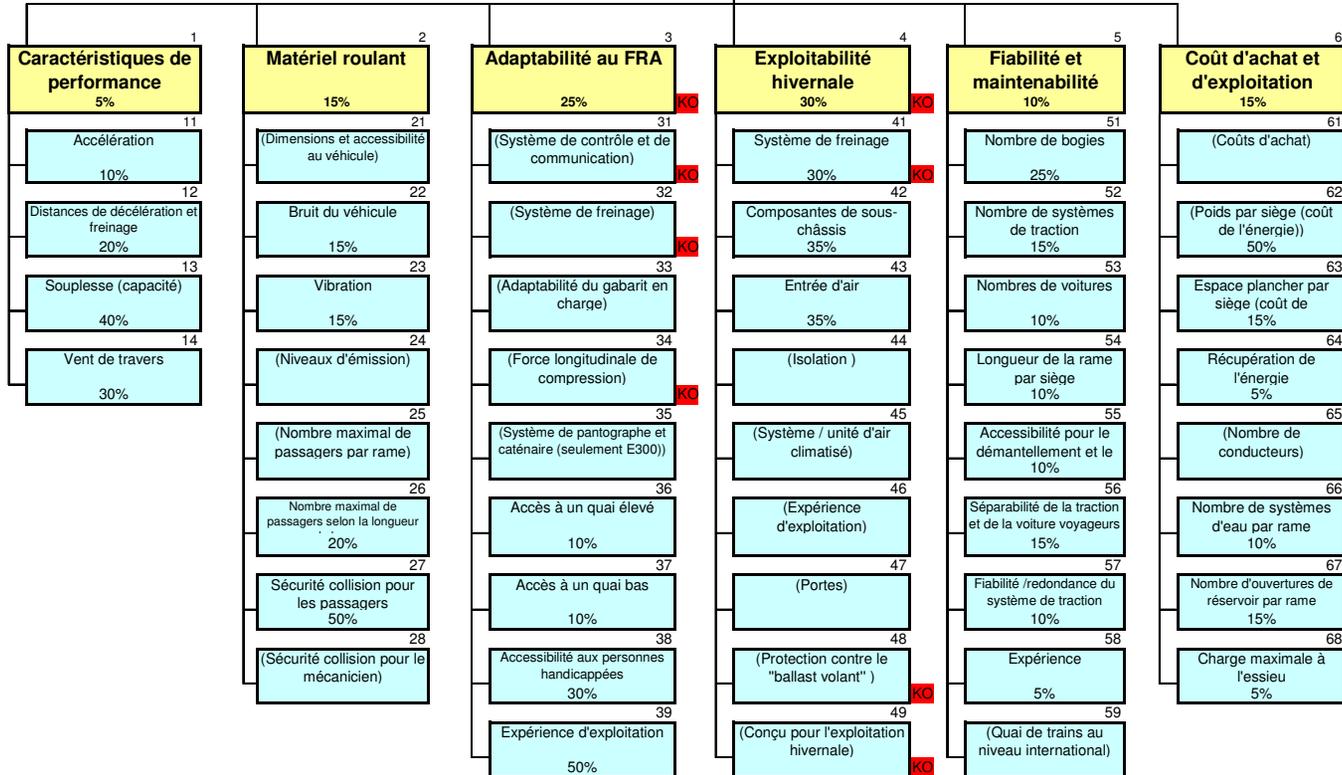
Raison :

Système le plus efficace et le plus économique.

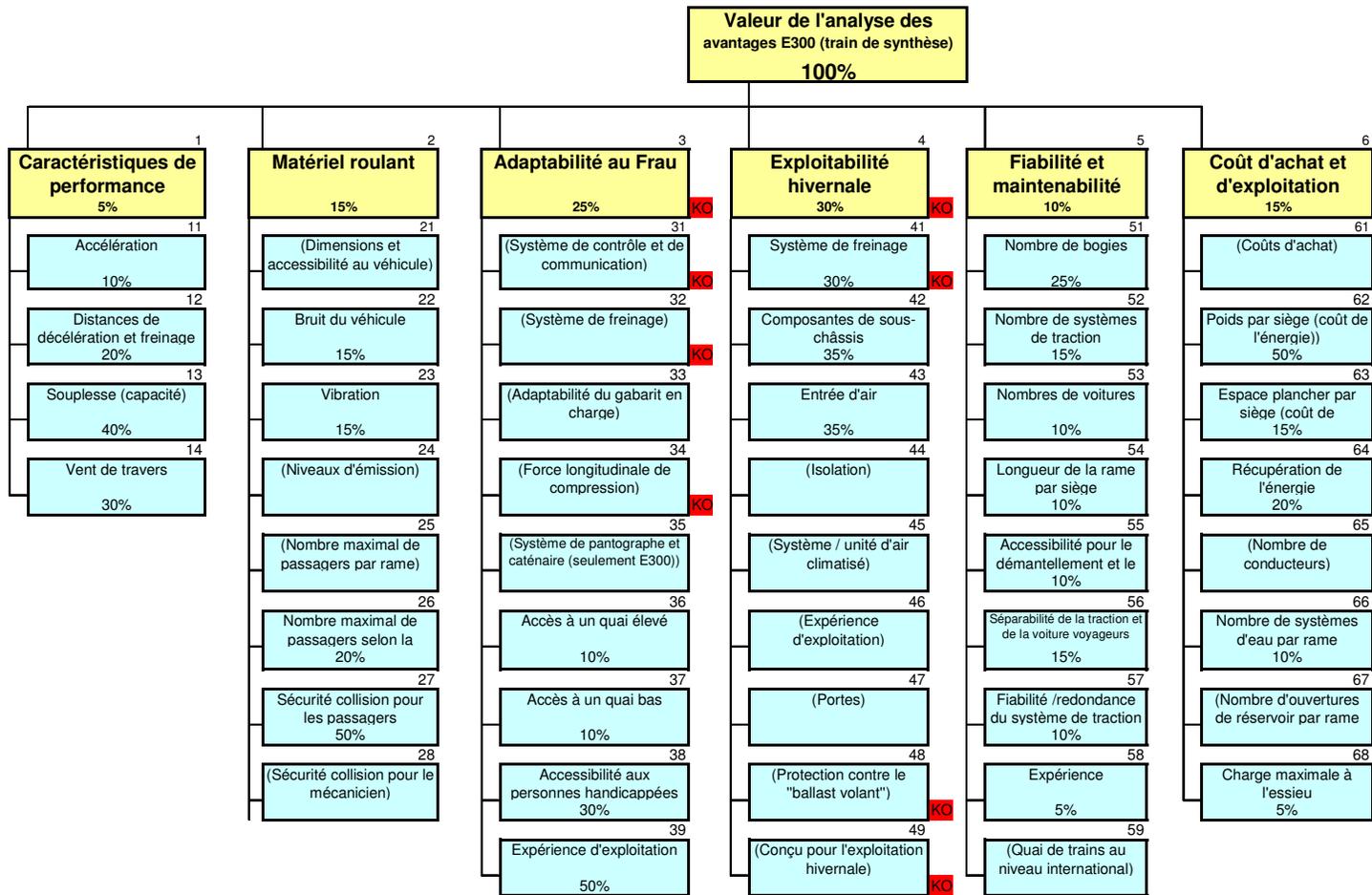
## ANNEXE E : CRITÈRES SECONDAIRES POUR L'ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES F200+



Valeur de l'analyse des avantages E200 (train de synthèse) 100%



## ANNEXE F : CRITÈRES SECONDAIRES POUR L'ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES E300+

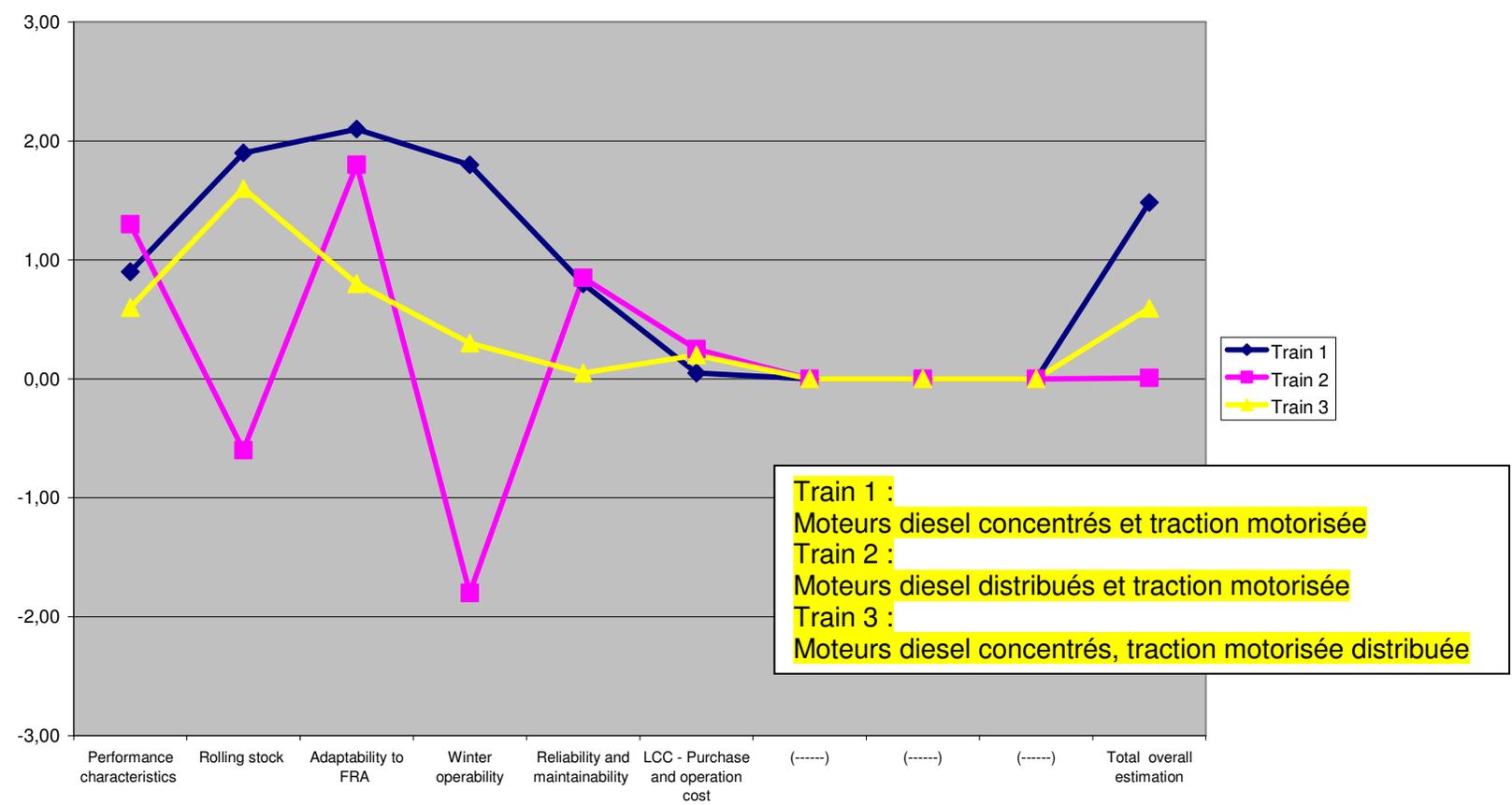


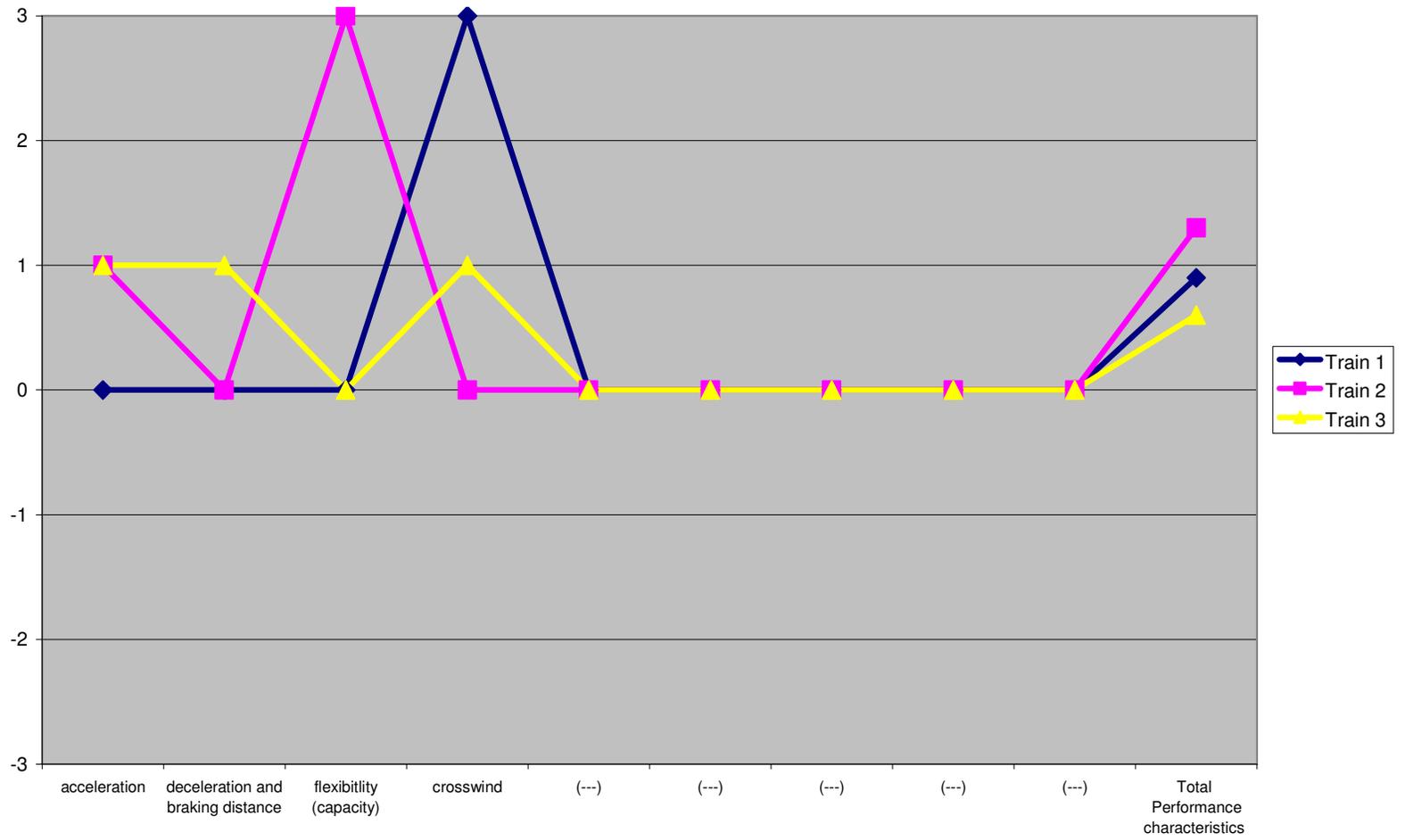
**ANNEXE G : TECHNOLOGIES CANDIDATES POUR LE F200+**

Constructeur	Classe	Propriétaire	Description	Renseignements additionnels
CAF	n.d.	Chemins de fer saoudiens	Motorisation concentrée Train à haute vitesse avec 8 voitures voyageurs et une motrice de 3600 kW (diesel-électrique)	Conçu pour être en service en 2010. Huit rames sont présentement en commande.
Rames Agilité (Hitachi)	“Super-Express“	Ministère des Transports (Royaume-Uni)	Moteurs diesel concentrés et moteurs de traction électrique distribués Train à haute vitesse avec 8 voitures voyageurs, 2 motrices diesel de 2000 kW chacune aux extrémités (sans places assises). Les systèmes d'alimentation électrique sont répartis sous les voitures voyageurs (même technologie que pour la version électrique)	Plateforme choisie pour les parcours de longues distances au Royaume-Uni en versions diesel, électrique et bimodale. Conçues pour être en service en 2013, 150 rames sont en commande. La technologie est basée sur celle du train communément appelé “Mini Shinkansen” en exploitation au Japon.
Vossloh	334 (Euro 3000)	RENFE (Espagne)	Motorisation concentrée Locomotive de 2390 kW (basée sur la technologie EMD DC). Conçue pour tracter des voitures voyageurs normales à 200 km/h	En fonction depuis 2008 (28 unités). Cette plateforme se compare à celle de la classe 76 au Royaume-Uni qui est en service depuis 2000.
Bombardier Transport	Classe 220, 221 et 222, Meridian, Voyager	Divers exploitants en G-B	Motorisation distribuée Autorail diesel (500 kW) à transmission électrique. Rames de 4 à 9 voitures en service	Exploitée en grand nombre depuis 2002
Ansaldo Breda	MG, IC 4	DSB (Danemark)	Motorisation distribuée Autorail diesel (500 kW) à transmission électrique. Rame articulée de 4 voitures	Plateforme désignée pour les parcours de longues distances au Danemark Début de l'exploitation retardé depuis 2003

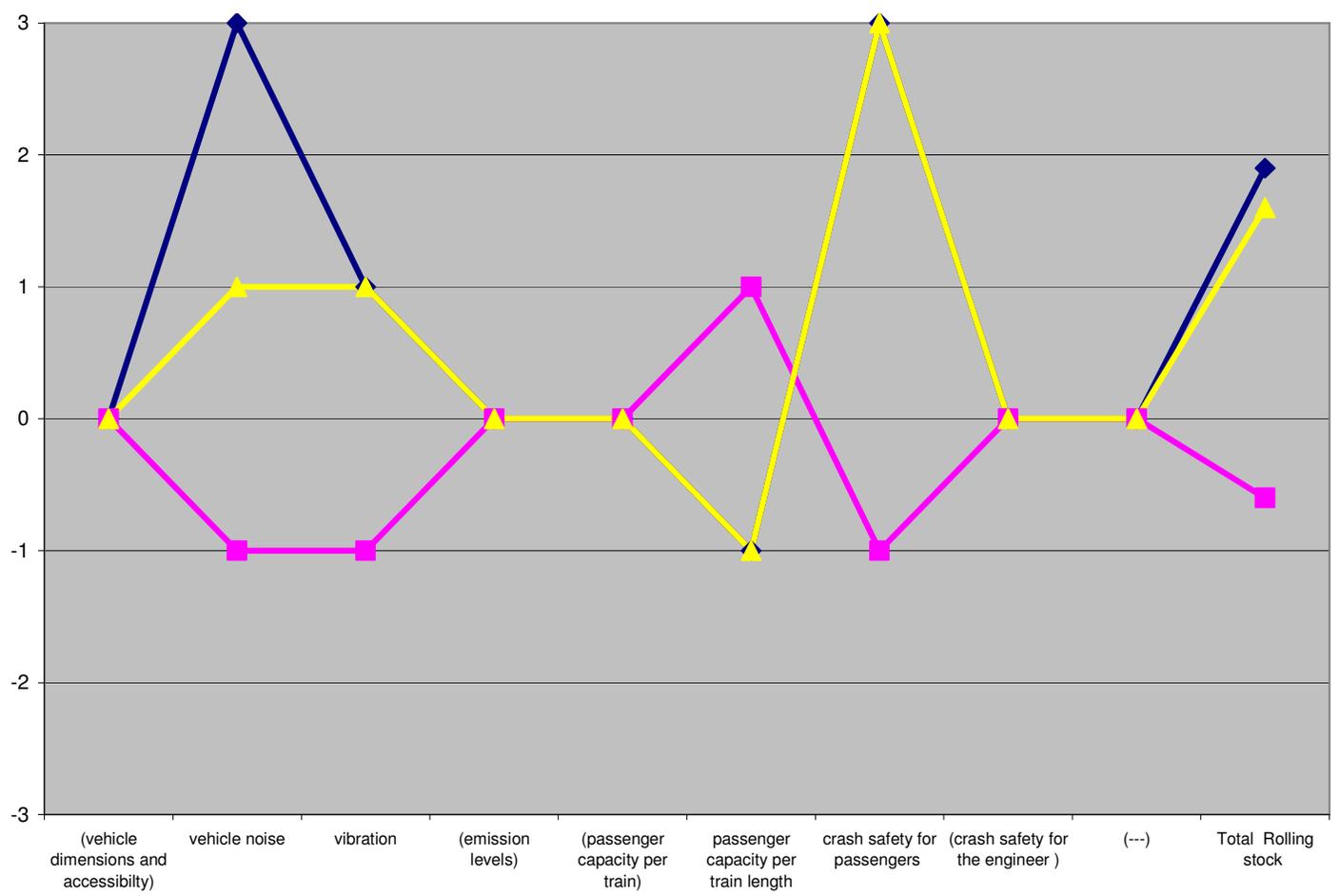
## ANNEXE H : RÉSULTATS D'ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES CANDIDATES F 200+

Résultat global pour F 200+

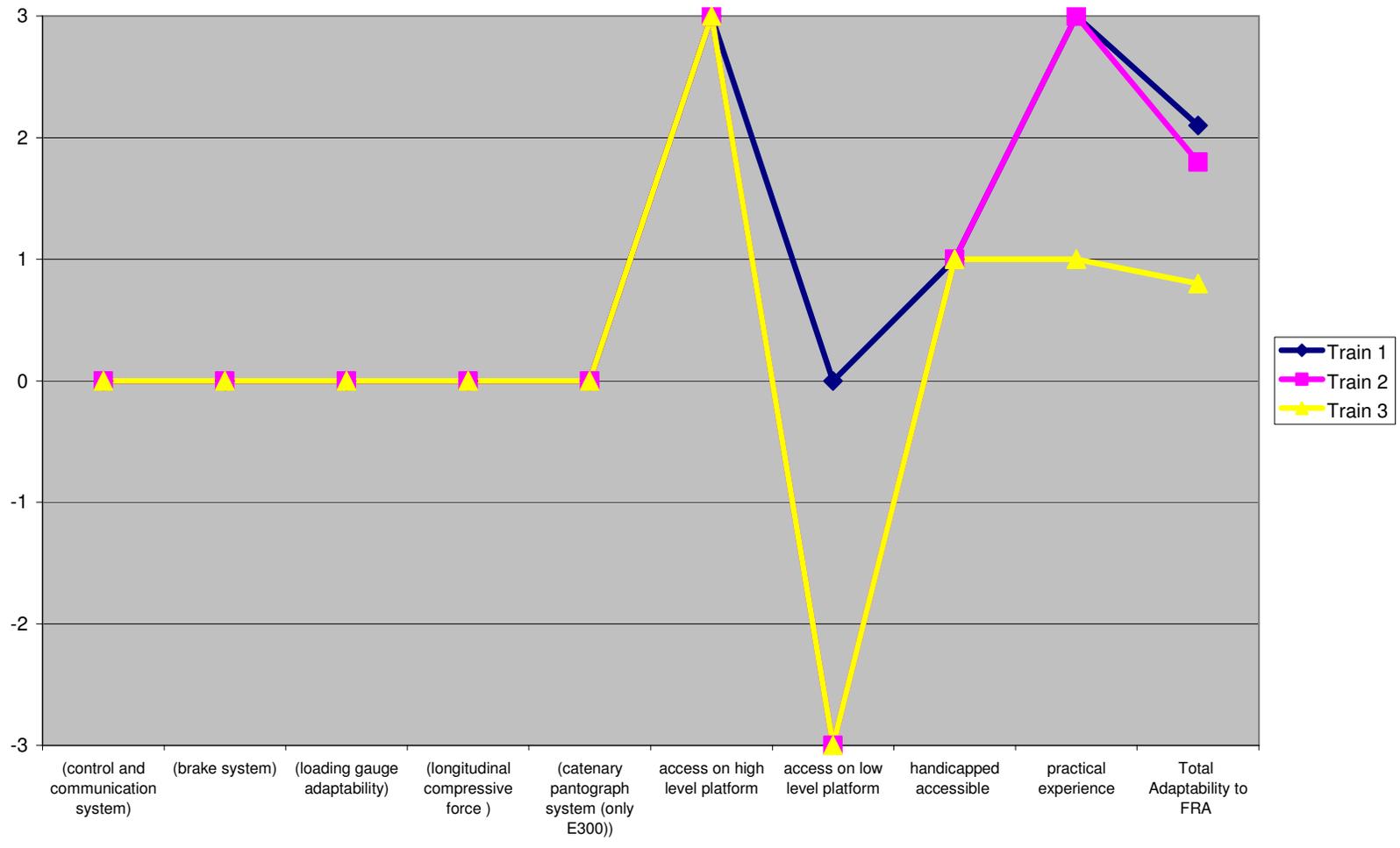


**Caractéristiques de performance pour F 200+**


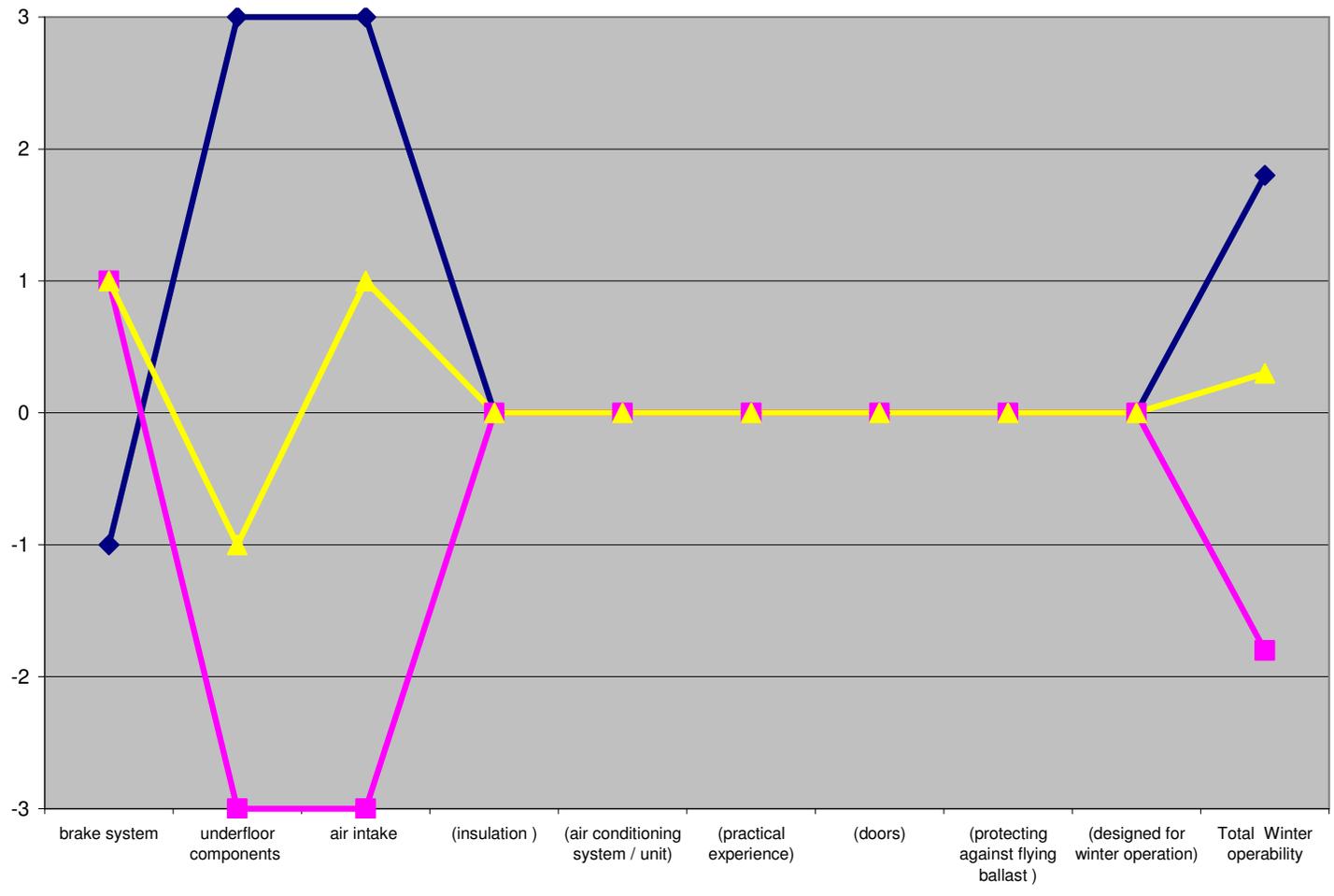
### Matériel roulant pour F 200+



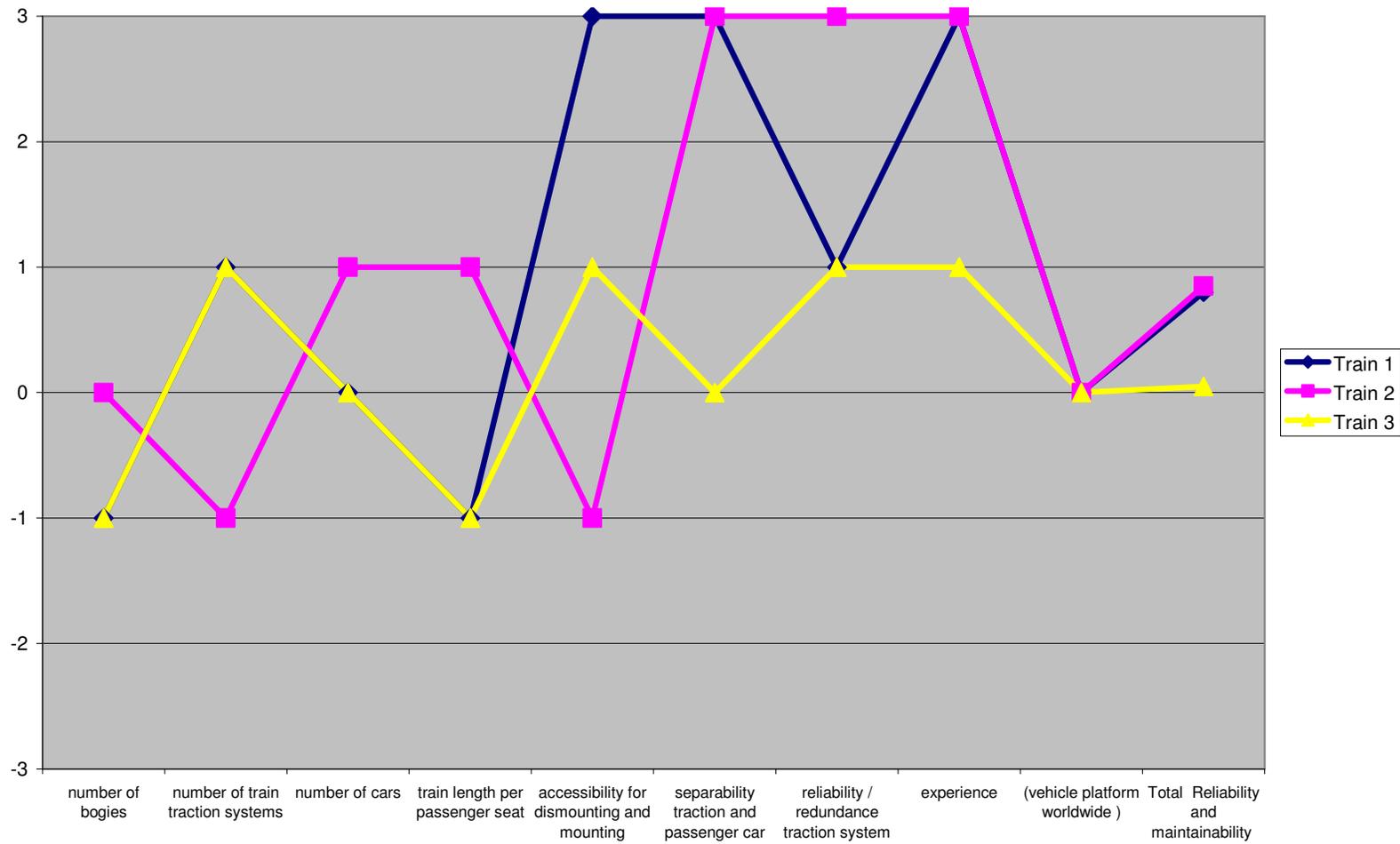
## Adaptabilité aux normes FRA pour F 200+



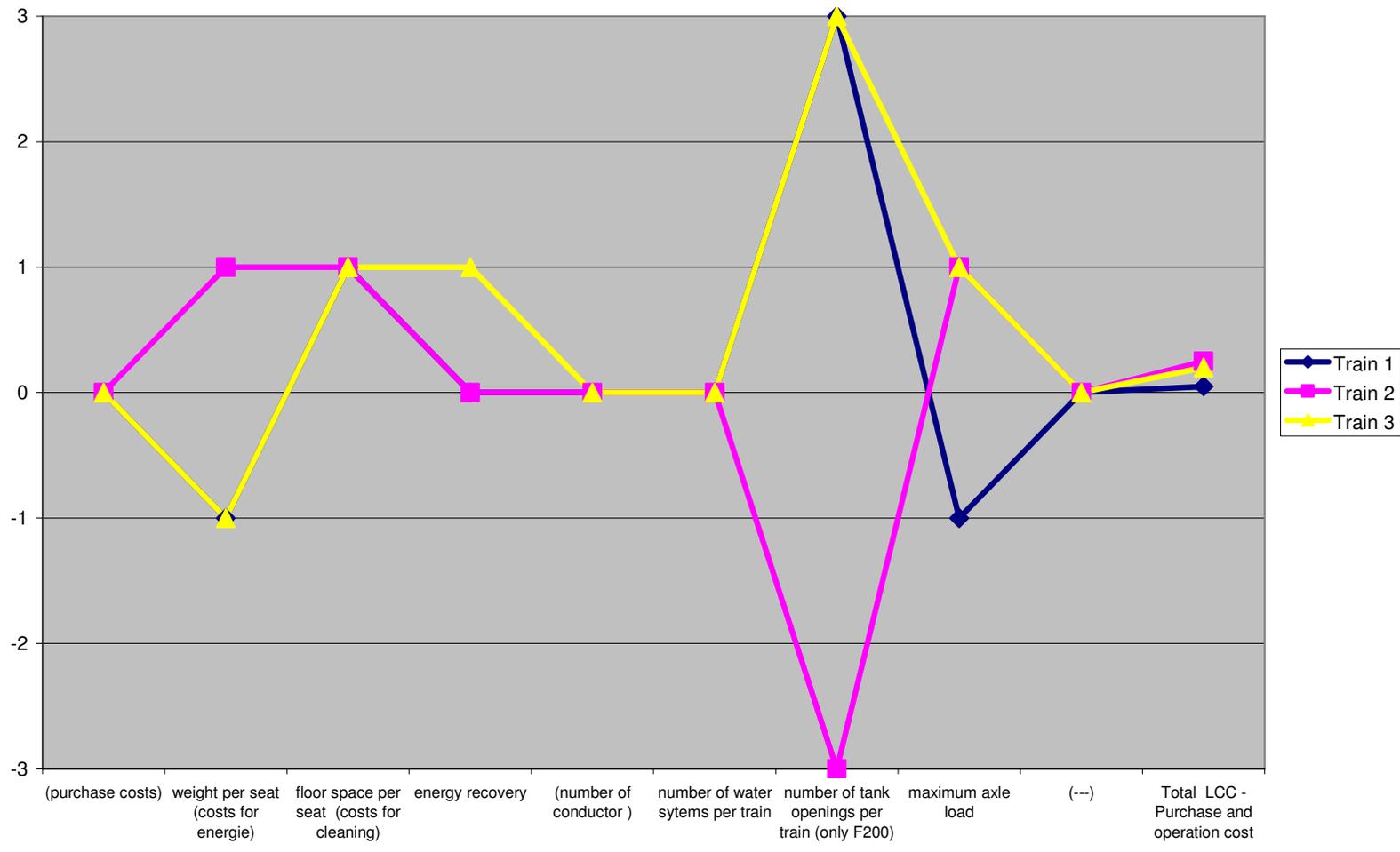
## Opérabilité en hiver pour F 200+



## Fiabilité et entretien du F 200+



## LCC – Coût d’achat et d’exploitation pour F 200+





## ANNEXE I : TECHNOLOGIES CANDIDATES POUR LE E300+

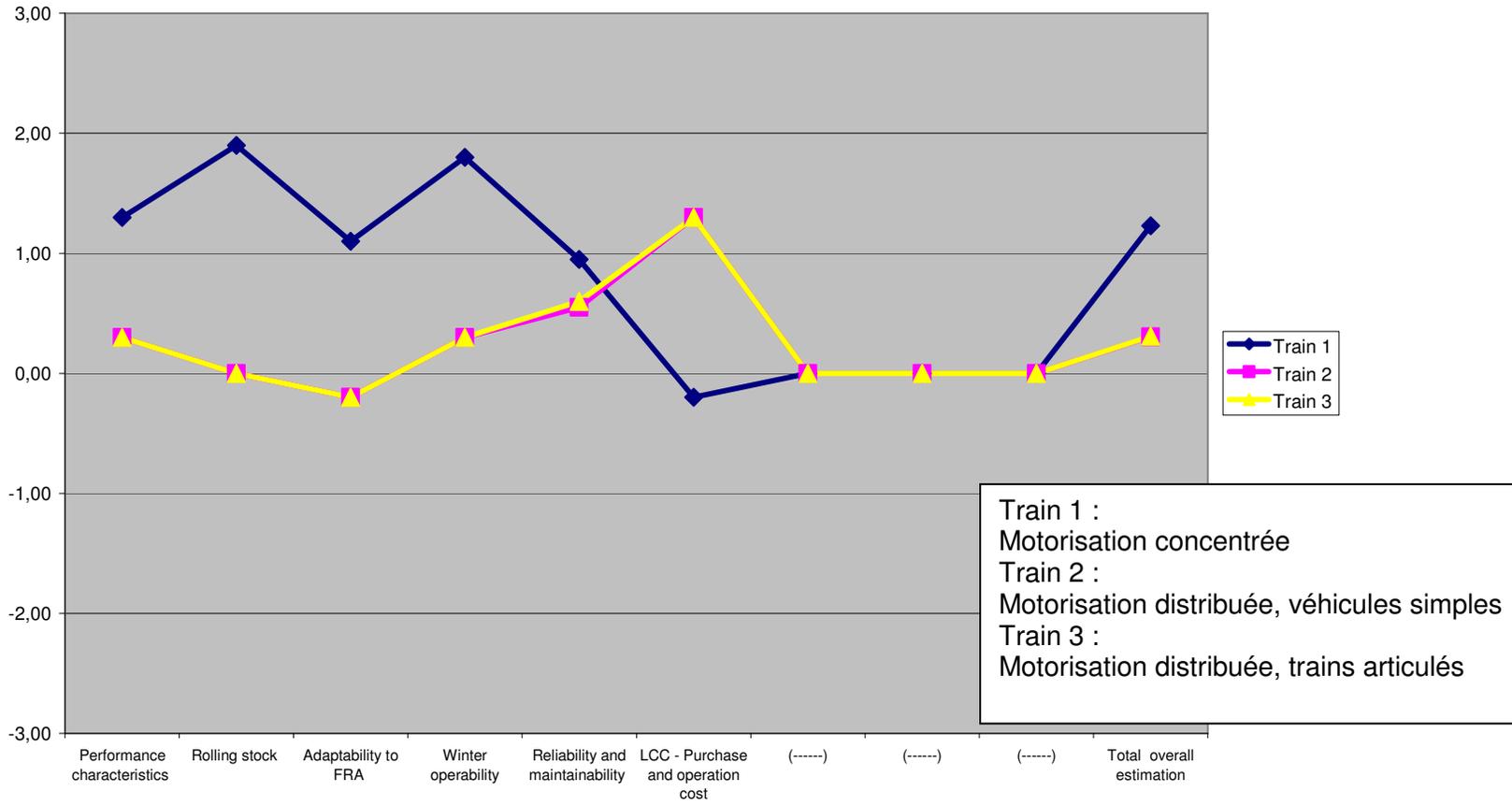
Constructeur	Classe	Propriétaire	Description	Renseignements additionnels
Alstom	TGV POS	SNCF GL (France), CFF (Suisse)	Motorisation concentrée Deux motrices de 6000 kW attelées en rame articulée à un niveau	Technologie des motrices actuelle de la famille des TGV. En exploitation régulière depuis 2007 et peut atteindre jusqu'à 320 km/h
Talgo, Bombardier	S 102, "Talgo 350"	RENFE LD (Espagne)	Motorisation concentrée Deux motrices de 4000 kW attelées en rame articulée à un niveau de type "Talgo" (voitures courtes avec essieu simple).	Technologie des motrices basée sur la norme ICE 1/2. Conçu pour atteindre 350 km/h. 16 unités en exploitation régulière depuis 2008 et peuvent atteindre jusqu'à 300 km/h.
ROTEM	KTX II	KORAIL (Corée du Sud)	Motorisation concentrée Deux motrices attelées en rame articulée à un niveau	Train conçu de façon indépendante par ROTEM HYUNDAI. Le concept ressemble à celui de TGV POS. 10 rames mises progressivement en service depuis 2008
Siemens	Velaro RUS	RZD (Russie)	Motorisation distribuée Rames de 10 voitures, toutes avec espace voyageurs. Équipements de traction distribués dans 2 groupes de 3 voitures (chacun comprenant un transformateur, deux convertisseurs et 8 essieux motorisés). Puissance par rame de 8000 kW. La technologie a été adaptée aux exigences des régions nordiques. La largeur de la rame est adaptée au	Le Velaro RUS est basé sur la technologie ICE 3/Velaro (Allemagne, Pays-Bas, Espagne et Chine). 10 unités sont progressivement mises en fonction en Russie depuis 2008 et avec vitesse maximale de 250 km/h. Cette technologie peut être mise au niveau 350 km/h.

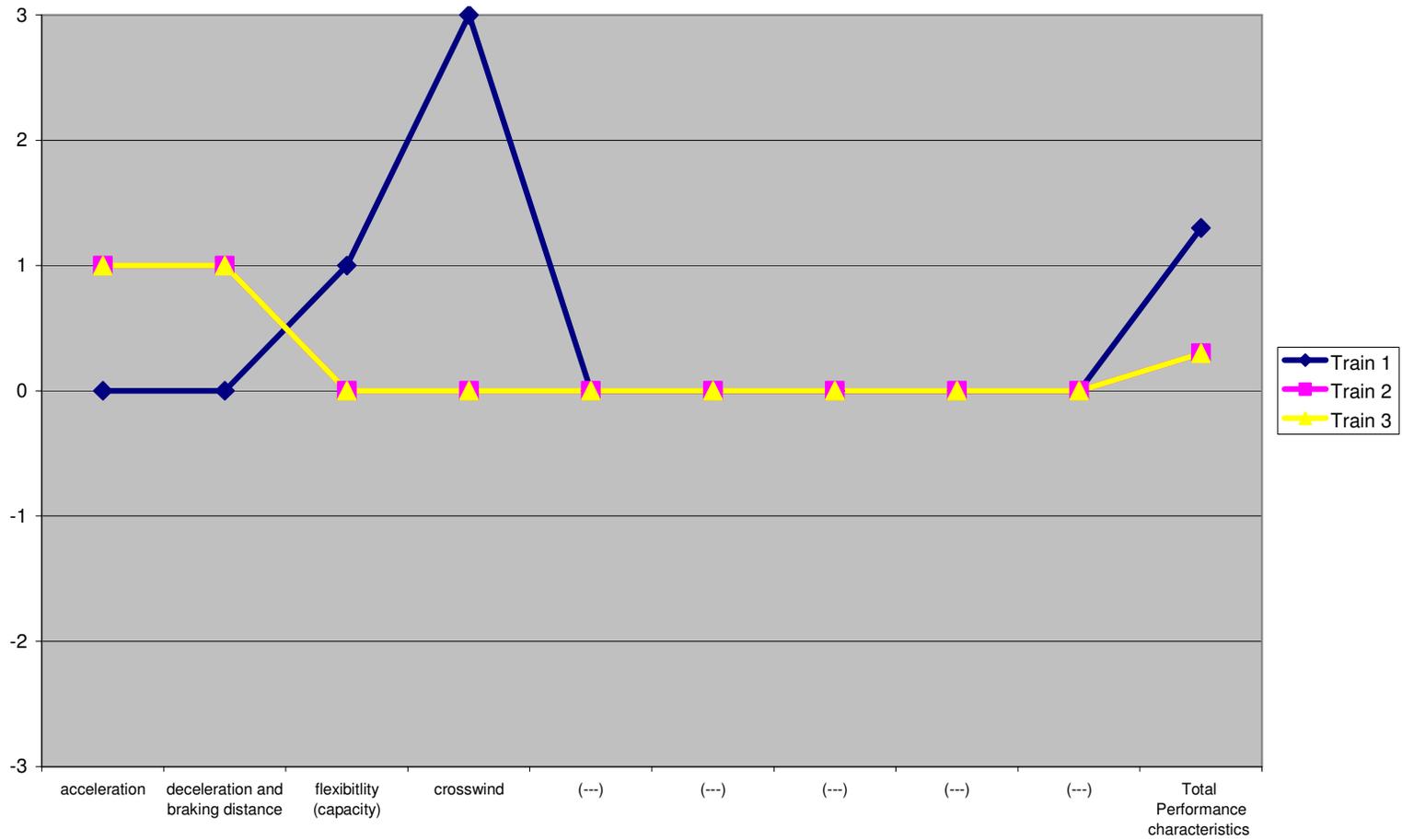


			gabarit des véhicules russes (3,20 m)	
Hitachi	N 700	Japan Central Railway	Motorisation distribuée Rames de 10 voitures, toutes avec espace voyageurs. Équipements de traction distribués dans 2 groupes de 3 voitures (chacun comprenant un transformateur, trois convertisseurs et 12 essieux motorisés). Puissance par rame de 6600 kW. La technologie a été adaptée aux exigences des régions nordiques. La largeur de la rame est adaptée au gabarit des véhicules Shinkansen (3,60 m).	Type actuel de la plateforme Shinkansen. Présentement en exploitation à 285 km/h et est en voie d'être mise à niveau pour atteindre 300 km/h.
Alstom	AGV	NTV (Italie)	Motorisation distribuée Rames de 11 voitures, toutes avec espace voyageurs. Équipements de traction distribués dans 3 groupes de 3 voitures (chacun comprenant un transformateur, deux convertisseurs et 12 essieux motorisés).	Nouvelle rame Alstom à haute vitesse conçue pour rouler jusqu'à 360 km/h. Un prototype terminé en 2007. 25 rames commandées par NTV en vue d'un service régulier en Italie en 2011.

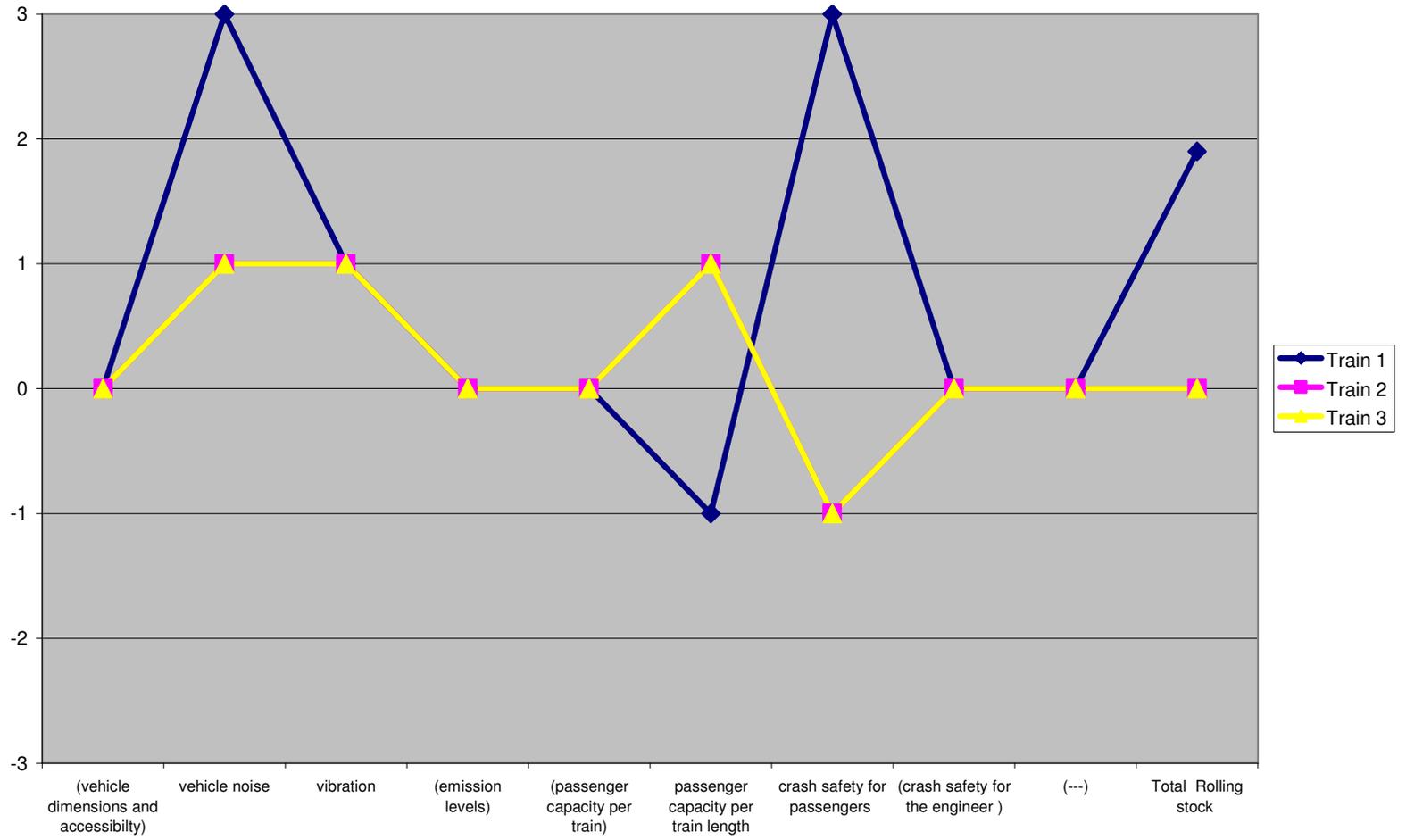
## ANNEXE J : RÉSULTATS D'ÉVALUATION POUR LES TECHNOLOGIES CANDIDATES E300+

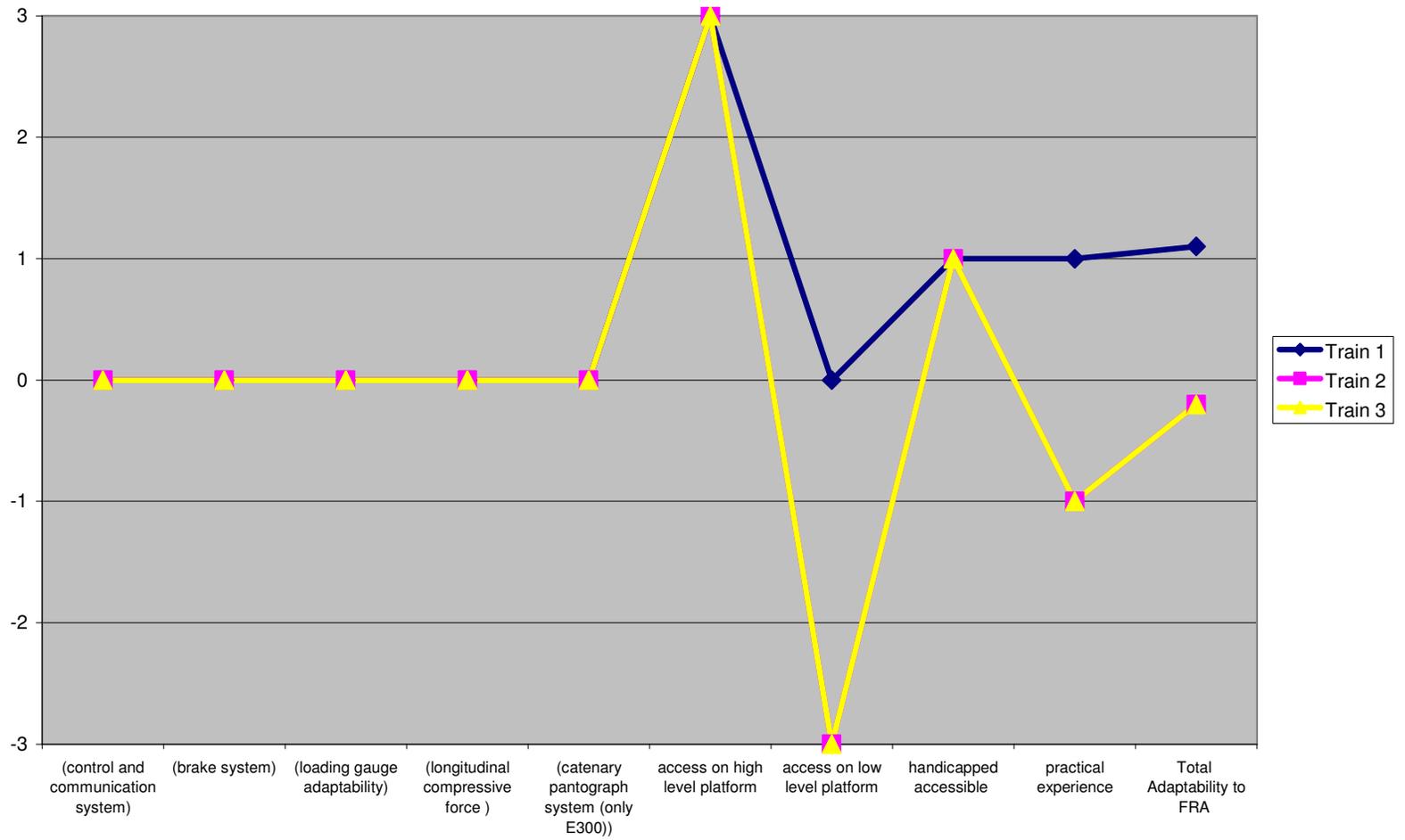
Résultat global pour E 300+

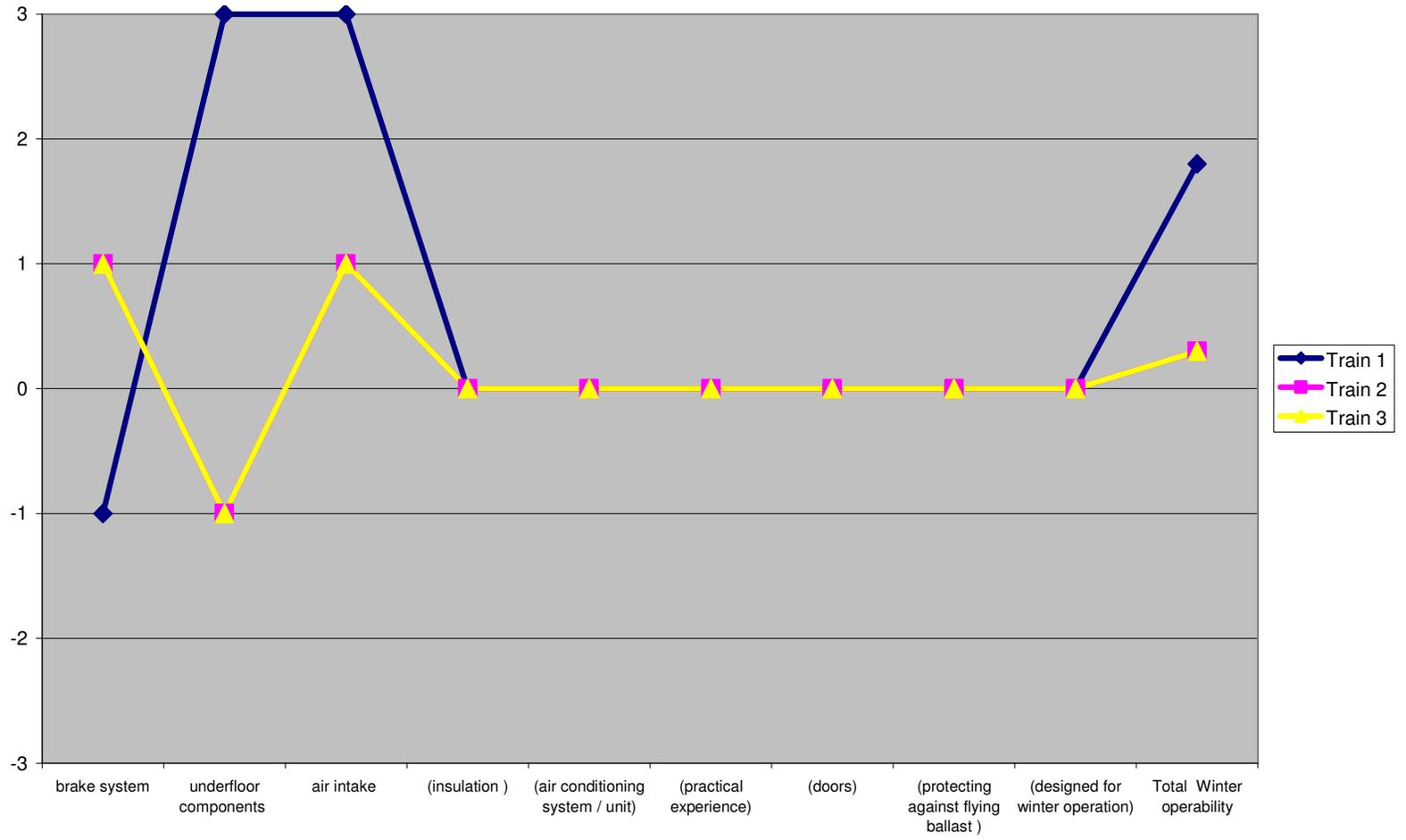


**Caractéristiques de performance pour E 300+**


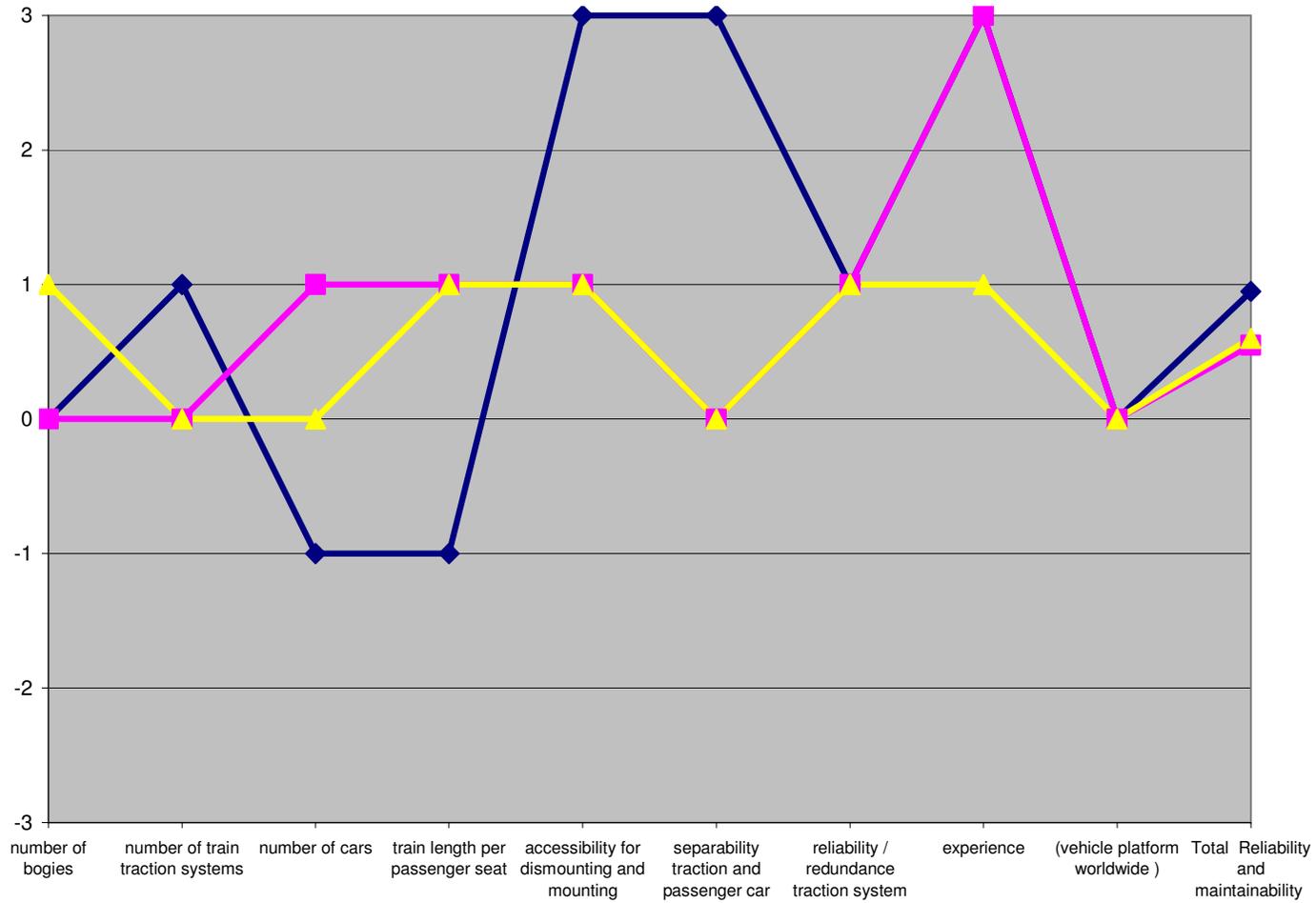
### Matériel roulant pour E 300+

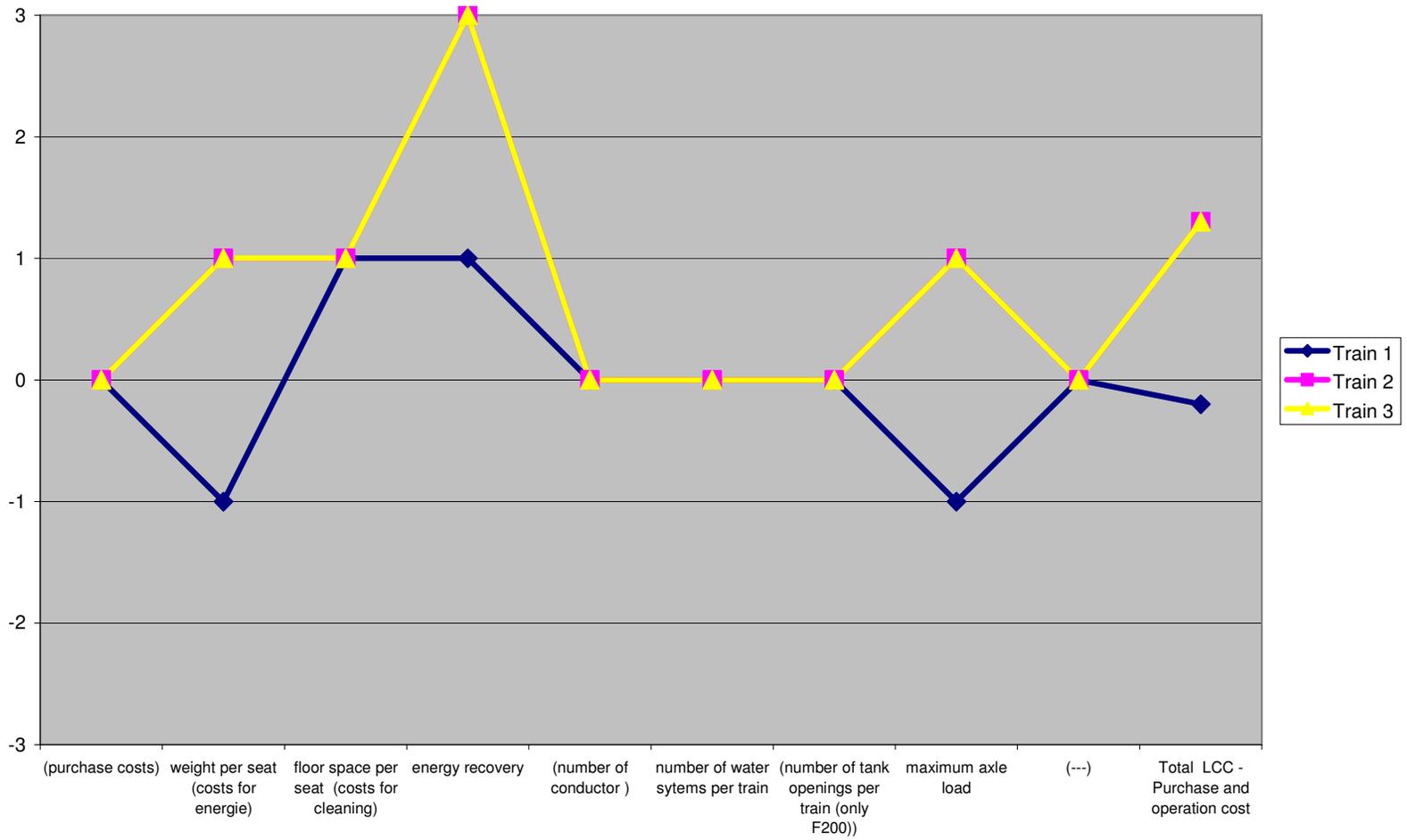


**Adaptabilité aux normes FRA pour E 300+**


**Opérabilité en hiver pour E 300+**


## Fiabilité et entretien pour E 300+



**LCC – Coût d’achat et d’exploitation pour E 300+**






## ANNEXE K : GLOSSAIRE DE TERMES FERROVIAIRES

Termes	Description
AEIF	Association européenne d'interopérabilité ferroviaire
AFE	Agence ferroviaire européenne
CA	Courant alternatif
CAF	<i>Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles S.A.</i> (Manufacturier espagnol de matériel roulant)
CBR	Centre de bloc radio
CC	Courant continu
CCT	Contrôle centralisé du trafic
CE	Commission européenne
CEM	Compatibilité électromagnétique
CRH	<i>China Railways High Speed</i> (Train à haute vitesse de Chine)
CTRL	Channel Tunnel Rail Link (Lien ferroviaire du tunnel sous la Manche)
EN	Euronorme
ÉPTRQO	Étude du projet de train rapide Québec-Ontario
ERTMS	<i>European Railway Traffic Management System</i> (Système de gestion de trafic ferroviaire européen)
ETCS	European Train Control System (Système de contrôle des trains en Europe)
FRA	Federal Railroad Administration (Administration américaine des chemins de fer)
GSM-R	<i>Global Standard for Mobile Communication - Rail</i> (Norme standard de communication ferroviaire mobile)
Hz	Hertz (fréquence de courant électrique)
ICE	InterCity Express (train à haute vitesse allemand)
KTX	Korea Train Express (train à haute vitesse sud-coréen)
kV	Kilovolt (tension de courant électrique)
LRC	Léger, Rapide, Confortable (Train pendulaire canadien)
LRT	Light Rail Transit (Métro léger)
LZB	<i>Linienzugbeeinflussung</i> (contrôle en continu de train)
Maglev	Lévitiation magnétique
MORANE	Mobile Radio for Railway Networks in Europe (Radio mobile pour réseaux ferroviaires en Europe)
NEC	Northeast Corridor (Corridor nord-est)
RARFIE	Réseau Amélioré de Radiocommunication Ferroviaire Intégré Européen
SCADA	Supervision Control and Data Acquisition (Télésurveillance et acquisition de données)
TGV	Train à grande vitesse français
THV	Trains à haute vitesse
TSI	Technical specification for interoperability (Spécification technique d'interopérabilité)
UIC	Union Internationale des Chemins de fer





## ANNEXE L : PRINCIPALES NORMES INTERNATIONALES DE CEM

EN 50121-1 Compatibilité électromagnétique des applications ferroviaires, Partie 1 : Généralités

EN 50121-2 Compatibilité électromagnétique des applications ferroviaires, Partie 2 : Émission par le système ferroviaire entier vers le monde extérieur

EN 50121-3-1 Compatibilité électromagnétique des applications ferroviaires, Partie 3-1 : Matériel roulant, rame et véhicule complet

EN 50121-3-2 Compatibilité électromagnétique des applications ferroviaires, Partie 3-2 : Matériel roulant, appareil

EN 50121-4 Compatibilité électromagnétique des applications ferroviaires, Partie 4 : Émission et immunité des appareils de signalisation et de télécommunication

EN 50121-5 Compatibilité électromagnétique des applications ferroviaires, Partie 5 : Émission et immunité des installations et des dispositifs d'alimentation fixes

EN 50122-1 Installations fixes des applications ferroviaires, Partie 1 : Mesures de protection reliées à la sécurité électrique et la mise à la terre

EN 50122-2 Installations fixes des applications ferroviaires, Partie 2 : Mesures de protection contre les effets de courant vagabond causés par des systèmes de traction CC

prEN 50122-3 Installations fixes des applications ferroviaires, sécurité électrique, mise à la terre et liaison, Partie 3 : Interaction réciproque des systèmes de traction CA et CC

EN 50351 Norme de base concernant les méthodes de calcul et de mesure reliées à l'influence de systèmes d'alimentation électrique sur les systèmes de télécommunication

prEN 50352 Limites liées à l'influence de l'alimentation électrique et des systèmes de traction sur les systèmes de télécommunication

EN 62305-1 Protection contre les éclairs Partie 1 : Principes généraux

EN 62305-2 Protection contre les éclairs Partie 2 : Gestion des risques

EN 62305-3 Protection contre les éclairs Partie 3 : Dommages physiques à la structure et danger pour les vivants



EN 62305-4 Protection contre les éclairs Partie 4 : Systèmes électriques et électroniques à l'intérieur des structures

DIN VDE 0848-1 Sécurité des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques, Partie 1 : Définitions, méthodes de calcul et de mesure

ICNIRP Lignes directrices limitant l'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques qui varient dans le temps (jusqu'à 300 GHz). Commission internationale sur la protection de la radiation non ionisante

EN 50162 Protection contre la corrosion provenant du courant vagabond des systèmes de courant continu

DIN VDE 0228-1 Marche à suivre en cas d'interférence sur les installations de télécommunication par les installations d'alimentation électrique. Généralités

DIN VDE 0228-3 Marche à suivre en cas d'interférence sur les installations de télécommunication par les installations d'alimentation électrique. Interférence des systèmes de traction en courant alternatif.

DIN VDE 0228-4 Marche à suivre en cas d'interférence sur les installations de télécommunication par les installations d'alimentation électrique. Interférence des systèmes de traction en courant continu



## ANNEXE M : PRINCIPES FONDAMENTAUX POUR LES RAILS SOUDÉS EN CONTINU (RSC)

Source DB AG (RIL 824.5010; 824.5020; 824).

### Principes fondamentaux

Ce paragraphe traite des normes de travail pour les rails soudés en continu et le soudage des aiguillages. Cela comprend le travail de maintenance fait sur les rails soudés en continu et les aiguillages afin de prévenir le gondolement.

- ⊕ Les soudeurs doivent avoir suivi et réussi une formation dans le processus approprié.
- ⊕ Au moins un ingénieur en soudure doit superviser le soudage des rails qui est effectué sur les installations des voies. Le superviseur sera responsable de l'opération de soudage.
- ⊕ Seuls les soudeurs possédant une certification valide pertinente seront affectés aux travaux. L'ingénieur devra vérifier leur certification avant que le travail de soudure ne débute.

### Définition de rails soudés en continu (RSC)

Des rails soudés en continu comprennent des liaisons et des aiguillages et n'ont aucune éclisse ou autre trou. Les changements de longueur des rails soudés en continu causés par les variations de température sont évités et convertis en pression ou compression.

### Conditions générales

Les rails et les aiguillages construits sur des bases fermes de voies sur ballast doivent être soudés en continu. La résistance latérale et longitudinale doit être assurée. Pour ce faire, les pré requis suivants doivent toujours être respectés :

- ⊕ Les traverses doivent être liées solidement aux rails par un chargement approprié des fixations ;
- ⊕ Le ballast doit être consolidé en conformité stricte avec le profil transversal recherché.

Là où des lignes secondaires convergent vers la ligne principale, du matériel permanent spécifique à la ligne principale soudée en continu devrait être utilisé pour une distance de  $\geq 60$  mètres sur la voie secondaire à partir du point de rencontre.

En général, des joints d'expansion ne devraient pas être à l'intérieur des rails soudés en continu. On recommande plutôt l'utilisation de joints isolés et collés pour ce type de rails.



### Exigences particulières des rails soudés en continu

Les rails soudés en continu doivent être inspectés et surveillés de façon régulière par la personne responsable de ce segment.

Avant le début de l'été (soit avant la période chaude), l'alignement de la voie, le profil du ballast et les fixations des rails soudés en continu doivent être inspectés de façon complète, particulièrement aux endroits fragiles et critiques, tels que les zones de tassement, les joints temporaires, etc.

La température de la voie devra être prise à partir d'une section exempte de saletés. Le point de mesure devra être à l'ombre. Les mesures de température du rail devront être soumises à l'ingénieur en soudure.

### Définition d'une température neutre

Le point de température neutre du rail (td) est défini comme la température à laquelle la tension et la pression dans la voie sont maintenues au point le plus bas par rapport à l'augmentation et diminution maximale de température. La pression du rail est un facteur plus critique que celui de la tension.

Afin de maintenir les forces de pression à l'intérieur de la voie à un niveau bas, la température neutre (td) se calculera de la façon suivante :

Établir la différence  $\Delta t$  entre le total de température maximum et minimum du rail et diviser ce nombre par deux.

Additionner cette valeur à la température minimum du rail ( $t_{min}$ ) et ajouter 5°C.

$$td = \Delta t/2 + t_{min} + 5^\circ C$$

### Procédures de relaxation des contraintes en lien avec la température du rail

La tolérance permise pour souder du rail sans relaxation est de  $\pm 3^\circ C$  à partir de la température neutre (td).

### Tolérance à une température du rail inférieur à la température neutre



Si une voie ou un rail doivent être posés à une température sous la plage de température neutre permmissible (td) (-3°C) :

- ⊕ Seule de la soudure continue est permise jusqu'à une longueur maximale de 126 mètres dans les courbes et de 180 mètres dans les lignes droites. Une relaxation immédiate des contraintes des rails soudés est essentielle ;
- ⊕ La relaxation des contraintes doit être faite par un tenseur de rail, de la chaleur artificielle ou naturelle.

#### Tolérance à une température du rail au-dessus de la température neutre

Si une construction de voie ou réfection doit se faire à une température excédant la plage de température neutre permmissible (td) (+3°C), une relaxation des contraintes sera requise dans la zone de température neutre :

Le processus de relaxation des contraintes ne devra débuter que lorsque la température du rail sera sous la température neutre.

#### Travail fait sur rails soudés en continu

Le responsable de ce segment devrait organiser sur une base annuelle une formation pour le personnel travaillant sur les voies au sujet des règles applicables au travail fait sur les rails soudés en continu et documenter une telle formation.

L'ingénieur en soudure devra être informé à l'avance pour tout travail à faire à proximité ou sur des rails soudés en continu qui pourrait affecter l'équilibre des forces dans le rail. Il doit décider si oui ou non et à quel endroit les rails doivent être coupés et éventuellement soudés et relaxés à nouveau.

Puisque le bourrage et le revêtement de la voie par de la machinerie lourde diminue temporairement la résistance latérale et longitudinale, ce travail est considéré comme crucial vu le risque de gondolement de la voie.

Ainsi, le bourrage et le revêtement devront toujours respecter les restrictions suivantes. Le bourrage est permis seulement aux températures de rails de :

- ⊕ au-dessus de + 3°C ; et
- ⊕ au-dessous +35°C.

Le bourrage est interdit au-delà de cette plage de température.



Mais si, malgré tout, la manœuvre de bourrage est requise durant les périodes de restriction nommées précédemment, alors les directives suivantes devront être suivies :

- ⊕ Le bourrage et le revêtement peuvent être exécutés à des températures élevées.
- ⊕ Le bourrage et le revêtement exécutés à température élevée seront permis que lorsque la température du rail ne dépasse pas + 35°C.

Dans l'éventualité où la température du rail escomptée dépasse cette température durant la journée, le travail ne devra pas débuter ou doit être arrêté immédiatement.

Concernant les rails soudés en continu, tout travail qui pourrait diminuer la résistance latérale n'est pas permis.

Par exemple, le travail manuel sur rail suivant peut être exécuté à condition que les restrictions mentionnées soient respectées à la lettre :

- ⊕ Les traverses relâchées sur la voie et ceux dans la voie de croisement doivent être tassées manuellement. L'utilisation de cric de levage est défendue ;
- ⊕ Ajustement et remplacement des fixations ;
- ⊕ Ballastage des voies.

#### Travail de bourrage et revêtement à basse température

Si un travail sur rail doit être effectué à une température sous + 3 °C dans une courbe de moins de 1 000 mètres de rayon, alors la distance à partir du point de référence jusqu'au bord extérieur du rail doit être vérifiée avant et après le travail de bourrage et de revêtement.

Si les valeurs sont mesurées après le travail de bourrage et de revêtement ne correspondent pas à celles prises avant, alors les directives suivantes doivent être suivies :

- ⊕ Les rails devraient être coupés ;
- ⊕ Les rails devraient être positionnés selon les mesures prises avant l'exécution du travail de bourrage et de revêtement ;
- ⊕ Les rails devraient être soudés et relaxés de leurs contraintes immédiatement après positionnement.

Après l'exécution du bourrage et du revêtement, la vitesse d'exploitation doit se limiter à 90 km/h. La vitesse maximale permise peut être de nouveau en vigueur suite au passage d'un chargement dynamique de 100 000 tonnes sur la voie tassée. Si le poids spécifique pour cette ligne n'a pas été défini, une limite de vitesse doit généralement prévaloir durant la semaine suivant les travaux de bourrage.

L'application d'un stabilisateur dynamique de voie peut remplacer la limite de vitesse.



### La séparation de rails soudés en continu

Si la stabilité de positionnement d'un rail soudé en continu ne peut plus être garantie, les deux segments de rails doivent être séparés sans égard à leur température. Cette décision doit être prise par l'ingénieur de ce segment et un ingénieur en soudure senior.

Les points de séparation doivent être à la même distance du joint soudé suivant que la longueur minimale des rails doit être de  $\geq 10$  m.

Les points de séparation doivent être installés et sécurisés au moyen d'éclisses d'urgence.

Si des forces de compression sont découvertes sur le rail lorsqu'il est coupé, la coupe doit se poursuivre jusqu'à ce qu'il soit libéré de sa tension.

### Responsabilité de l'ingénieur en soudure

L'ingénieur en soudure est responsable de la réalisation professionnelle et compétente de compensation de tension. Dans ce contexte précis, il est responsable des résultats suivants :

- # Mesurer la température initiale au moyen d'un thermomètre approuvé à adhérence ou numérique ;
- # Vérifier le relâchement de tension des rails selon la température initiale ;
- # Définir la température neutre et calculer les changements au niveau de la longueur des rails et l'écart nécessaire ;
- # Identifier l'allongement requis aux points de contrôle et vérifier le changement au niveau de la longueur des rails durant le processus d'allongement.

### Registres

Un registre de compensation de tension doit toujours être tenu pour les travaux effectués sur des rails soudés en continu. Les pré requis cités dans les sections ci-jointes doivent être approuvés avant le début des travaux de compensation de tension.

Les registres doivent être conservés et classés selon les voies et le nombre de kilomètres jusqu'à ce que les travaux de compensation soient à recommencer.



Température de pose

La température de pose représente la température du rail mesurée lors de sa juxtaposition. Cette donnée est cruciale en ce qui concerne la position des interstices. Selon la température de pose, les rails ayant un interstice doivent être installés comme suit :

Selon la procédure de pose des rails, si on ne peut installer les interstices nécessaires immédiatement, il faut le faire dès que possible. La distance minimale de l'interstice à la prochaine traverse doit être de 10 cm. Les composantes de fixation doivent être resserrées immédiatement. Pour des raisons de sécurité, la voie doit être munie d'éclisses.

Longueur des rails m	Température de pose			
	< 10°C mm	10°C-20°C mm	20°C-25°C mm	>25°C mm
126	20	15	10	0
180	30	20	10	0

Température initiale des rails

La température initiale est la température des rails mesurée durant la compensation de tension après le relâchement des fixations des rails. Elle est nécessaire au calcul du changement de la longueur des rails.

Température de tension

La température de tension est la température du rail définie lors de la compensation de tension en vue de leur tension finale à leurs fixations.

Étendue de température neutre

L'étendue de la température neutre, dans laquelle les rails ne doivent contenir aucune tension, inclut une tolérance de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  à partir de la température neutre.

Température neutre

La température neutre est décrite dans la section de la température neutre.



### Mesure de la température des rails

La température des rails se mesure au moyen d'un thermomètre magnétique adhérent aux rails exempts de saleté. La mesure doit être prise à l'ombre.

Seul un thermomètre calibré doit être utilisé et doit s'agripper fermement au rail durant la prise de mesure. Les thermomètres doivent être inspectés régulièrement et calibrés par un organisme autorisé.

Les données du thermomètre à adhérence des rails doivent être comparées et enregistrées sur une base annuelle au moyen d'un thermomètre de contrôle certifié.



## ANNEXE N : COMPARAISON DES VOIES SUR BALLAST ET SUR DALLE

Les systèmes de voie sur dalle affichent des coûts d'investissement plus élevés pour leur construction initiale comparativement aux systèmes de voie sur ballast. Ces coûts seront compensés avec le temps puisque les voies sur ballast se détériorent sous le poids des trains à haute vitesse. Le bourrage correctif est nécessaire pour restaurer les paramètres géométriques. Au tout début, le bourrage doit être effectué tous les deux ou trois ans. Ces intervalles raccourciront avec la détérioration du ballast.

Le tableau suivant démontre les résultats d'une étude de coûts de cycle de vie réalisée par DB AG (DE-Consult) en 1999, qui se base sur les données réelles au niveau des coûts et de la maintenance. Trois applications différentes ont été étudiées :

- ⊕ Voie sur terrassement ;
- ⊕ Voie dans les tunnels ;
- ⊕ Voie sur pont.

Pour ce qui est des systèmes de voie sur dalle, leur durée de vie est estimée à 60 ans (ceci est une donnée théorique puisque aucun système de voie sur dalle n'a atteint cet âge à ce jour). Les voies sur ballast doivent être remplacés à tous les 40 ans environ, de la fondation jusqu'aux traverses. Les rails doivent être changés après 20 ans d'utilisation pour les deux systèmes.

Après le coût initial, la fréquence de maintenance complète des voies (bourrage de la voie entière) s'avère être le facteur le plus important pour l'évaluation. Selon l'expérience de DB AG, une période de trois ans a été choisie comme option de base.

Les flux de trésorerie ont été calculés sur une période de 40 ans incluant les valeurs résiduelles, tout en utilisant un taux d'escompte de 6 % et un taux d'inflation de 3 %.

Les résultats avantagent légèrement les voies sur ballast sur le terrassement et sur les ponts. Pour leur part, les voies sur dalle semblent être la solution la plus économique en tunnel.

Cette étude s'est limitée qu'aux coûts directs de construction et de maintenance. Des caractéristiques difficilement quantifiables doivent aussi être prises en considération, telles que :

- ⊕ Perturbation de l'exploitation suite à des opérations de maintenance
- ⊕ Impact des conditions hivernales où les voies sur dalle sont supposément avantagées au niveau de l'exploitation mais doivent prouver leurs aptitudes à basse température
- ⊕ Aspects de qualité de roulement à long terme



Voie 1000 \$ / km	Voie sur ballast B75a - loarv300	Voie sur dalle Rheda - loarv300	Ratio dalle / ballast
Les valeurs sont en \$ CDN (2009)	Sur terrassement		
	Incluant les coûts d'investissement et de maintenance pour les aiguillages		
Coût initial	957	1 379	1.44
Maintenance de la voie complète prévue après	Total des coûts de réduction incluant les coûts résiduels après 40 ans		
5 ans	-1 218	-1 452	1.19
4 ans	-1 249	-1 452	1.16
<b>3 ans</b>	<b>-1 288</b>	<b>-1 452</b>	<b>1.13</b>
2 ans	-1 376	-1 452	1.06
	Dans un tunnel		
	Incluant des contingences pour travail en tunnel		
Coût initial	920	1 095	1.19
Maintenance de la voie complète prévue après	Total des coûts escomptés incluant la valeur résiduelle après 40 ans		
5 ans	-1 155	-1 166	1.01
4 ans	-1 187	-1 166	0.98
<b>3 ans</b>	<b>-1 227</b>	<b>-1 166</b>	<b>0.95</b>
2 ans	-1 318	-1 166	0.88
	Sur un pont		
	Incluant les tapis de sous-ballast	Construction dispendieuse	
Coût initial	1 990	2 680	1.35
Maintenance de la voie complète prévue après	Total des coûts escomptés incluant la valeur résiduelle après 40 ans		
5 ans	-2 219	-2 579	1.16
4 ans	-2 249	-2 579	1.15
<b>3 ans</b>	<b>-2 286</b>	<b>-2 579</b>	<b>1.13</b>
2 ans	-2 372	-2 579	1.09



## ANNEXE O : RISQUES D'ADAPTATION DE LA TECHNOLOGIE AUX CONDITIONS SPÉCIFIQUES DU CORRIDOR

Élément	Adaptation	Raison	Risque / Effort
Accès (hauteur et distance du quai)	Changement au niveau de la zone d'accès de la rame	Les trains européens sont conçus pour des hauteurs de quai de 55 ou de 76 cm. Si la hauteur du quai est inférieure à 55 cm, les rames devront être adaptées (escaliers pour l'embarquement)	Bas - si les quais des lignes de trains à haute vitesse sont utilisés exclusivement par des THV, ils seront conçus (pour les nouvelles gares) ou mis à niveau (pour les gares existantes) selon les conditions géométriques des rames.
Gabarit en charge canadien	Changement de la largeur de la rame ou du resserrement de la distance entre la rame et le quai au moyen d'un système qui fait le pont automatiquement	Le gabarit en charge canadien est plus large que la plupart des systèmes THV.	Moyen – s'il y a adaptation des rames au gabarit local (Ex : élargissement des rames pour le THV russe). Bas – lors de l'utilisation de rames existantes qui n'entrent pas dans le gabarit normal et au moyen d'un système de pontage automatisé
Capacité de sièges	Changement au niveau de la capacité de sièges. Nombre de sièges par voiture. Nombre de voitures par rame. Rames supplémentaires	Adaptation selon les exigences de l'exploitant : • Offre totale des sièges disponibles • Confort des sièges  Infrastructure : • Longueur des quais existants  Technologie des rames • Limite de voitures par rame • Limite de la charge utile	Bas – La capacité des rames de THV est flexible en général
Attelage avant	L'attelage avant doit respecter les normes nord-américaines (mécanique,	Normes nord-américaines diffèrent des normes européennes.	Élevé – les forces doivent être redirigées et par conséquent le châssis de



	électrique)	Hauteur des attelages nord-américains : 862 mm, hauteur des attelages européens : 1 020 mm Le point de convergence des forces est plus profond que dans les normes européennes.	la caisse devra être renforcé.
Alimentation d'urgence	Production d'énergie d'urgence pour les rames électriques (indépendantes du caténaire)	Capacité de la batterie doit être suffisante pour alimenter l'air climatisé / chauffage des compartiments voyageurs selon un concept de sécurité donné (température minimum jusqu'à l'arrivée des secours)	Moyen – La norme est une source d'énergie indépendante au moyen de batteries, qui se rechargent durant l'exploitation habituelle. La taille des batteries dépendra des exigences liées à la sécurité et au coût de cycle de vie ainsi que l'espace disponible
Conditions hivernales	Adaptation technique et opérationnelle afin de respecter les exigences d'exploitation dans des conditions hivernales	Des applications de THV dans des conditions équivalentes ont été implantées en Suède et en Russie. Néanmoins, les problèmes ne devraient jamais être sous-estimés. Ainsi, l'UIC effectue présentement une étude au sujet des problèmes des systèmes THV allant à plus de 200 km/h par rapport aux conditions hivernales.	Élevé – Aucun risque technique important  Les mesures techniques et opérationnelles traitées dans la section doivent être considérées dans l'analyse des coûts de cycle de vie
Exigences du FRA en matière de collision	Mise à niveau de la structure de la rame afin de respecter les exigences du FRA en matière de collision	Selon les réglementations du FRA, les rames doivent pouvoir tolérer de plus grandes forces de collision que celles divulguées par la norme TSI. Les points de convergence des forces diffèrent selon les	Élevé – Diverses exigences peuvent mener à des changements importants au niveau de la construction des rames à forte masse. Selon le concept du train, cela peut mener à une construction entièrement nouvelle. Cela concerne spécifiquement



		règlementations du FRA et celles du TSI.	les concepts de rame à motorisation distribuée et par conséquent avec des voitures de tête plus légères.
Vent de travers	Mesures techniques pour assurer la stabilité par rapport aux vents de travers	La force des vents de travers peut être plus importante au Canada qu'en Europe.	Bas – Les concepts des rames à motorisation concentrée proposent des voitures d'extrémité plus lourdes pour ainsi obtenir une plus grande résistance aux vents de travers. Les risques sont relativement faibles lorsque les rames sont liées à un système d'avertissement des vents.
Système de freinage	A) Le système de freinage doit respecter les normes nord-américaines B) Les THV n'ont pas à être jumelés à des véhicules du FRA	A) Le système de freinage doit respecter les demandes du système de train et aussi doit s'adapter aux exigences du FRA B) Un système de freinage disponible pour les THV peut être utilisé	A) Moyen – des efforts substantiels seront déployés s'il y a modification du système de contrôle des trains (conduite et freinage automatique). B) Bas- sans effort
Système de signalisation	Adaptation aux nouveaux systèmes de signalisation et de contrôle des trains et aux systèmes existants si on les utilise	Les rames peuvent être équipées de systèmes (nouveaux ou inconnus). Cela peut générer des modifications au niveau du système de contrôle des trains (conduite et freinage automatique).	Moyen – Effort relatif au niveau de changement du système de contrôle des trains (conduite et freinage automatique)



## ANNEXE P : DÉTAILS TECHNIQUES DES INSTALLATIONS D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE ET LE PROBLÈME RELIÉ À LEUR COMPATIBILITÉ

### Équipement d'énergie de traction

Avec un système de traction monophasée CA 50/60Hz, la puissance de traction provient directement du réseau d'électricité public. L'alimentation électrique requise pour l'exploitation du système ferroviaire CA 50/60 Hz est obtenue à partir d'une des trois phases du réseau.

Les composantes principales des équipements d'énergie de traction sont :

- ⊕ Câbles pour la haute et la basse tension, le retour du courant et les lignes de contrôle ;
- ⊕ Les transformateurs de traction de type monophasé pour installation intérieure, qui convertit la haute tension du réseau public à la tension de traction de 25 kV. Le transformateur de puissance sera dimensionné conformément suite à une simulation de demande de traction motorisée ;
- ⊕ L'appareillage de commutation intérieur 27,5 kV (par exemple le disjoncteur et l'interrupteur) alimentera les différentes parties de la caténaire et commutera les liens entre les sous-stations d'alimentation de traction et la caténaire ;
- ⊕ L'édifice de la sous-station loge l'équipement 27,5 kV, l'équipement de contrôle, l'alimentation électrique secourue pour le contrôle de l'équipement, un panneau de contrôle local pour l'appareillage de commutation, les systèmes d'alarme et de sécurité ainsi qu'un espace de bureau pour l'opérateur ;
- ⊕ Alimentation d'urgence de traction motorisée.

Chaque sous-station dédiée à l'alimentation électrique sera conçue (selon les simulations de demande en électricité) pour prendre le contrôle de la charge d'une sous-station voisine, en cas de panne. Chaque regroupement possible de sous-station devra être alimenté par une série de câbles à haute tension / lignes de transmission de la part d'une des sous-stations du réseau d'électricité public dans le secteur. Afin d'assurer une réserve active en cas de panne de l'un des équipements d'alimentation haute tension ou de l'une des sous-stations, chaque groupe de deux sous-stations consécutives sur la ligne devra s'approvisionner de sources différentes.

Afin d'assurer la disponibilité et la fiabilité de l'alimentation électrique du système ferroviaire, l'alimentation vers les sous-stations au niveau de la traction motorisée devra garantir que :



- ⊕ Le réseau d'alimentation électrique du THV doit pouvoir maintenir des conditions d'exploitation normales en cas de panne de l'une des sources publiques d'électricité vers le réseau à moyenne tension et/ou de l'un des câbles d'alimentation vers la sous-station, de dommages dans la ligne d'alimentation du réseau public d'électricité ou même de panne ou d'interruption volontaire causée par des travaux de maintenance dans la sous-station ;
- ⊕ Le réseau entier doit pouvoir maintenir les conditions d'exploitation à un niveau inférieur à la norme en cas d'une deuxième panne du système.

### Équipements de distribution d'énergie

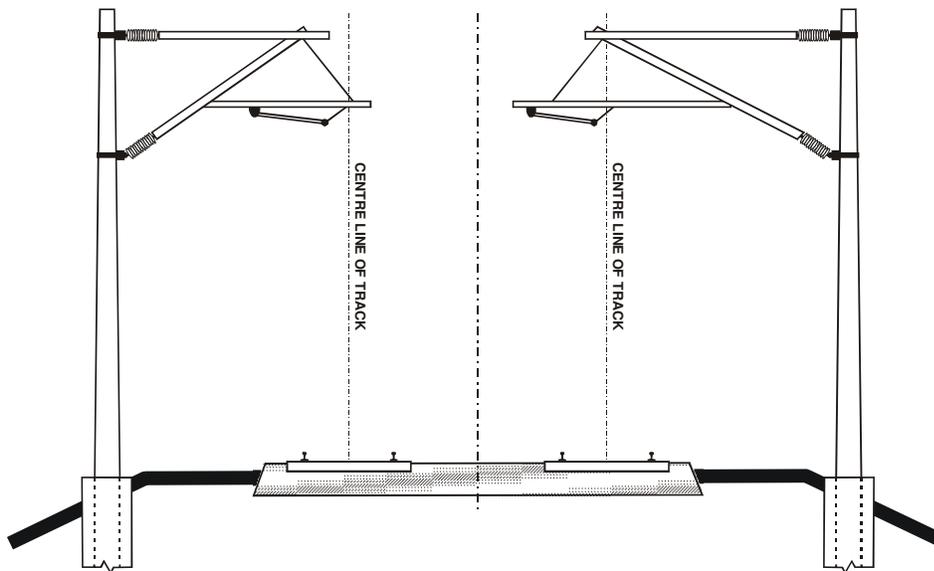
Tel qu'il a été cité auparavant, le système d'approvisionnement en électricité à traction alimente le système de distribution communément appelé caténaire. Celui-ci devra être conçu selon les critères généraux de conception d'électrification. La caténaire doit approvisionner le matériel roulant électrique en énergie au moyen des pantographes.

Le système de caténaire est composé principalement des éléments suivants :

- ⊕ Les supports de caténaire et les mâts, (qui supportent le fil d'alimentation ou de mise à la terre, les dispositifs tendeurs) avec leurs fondations ;
- ⊕ Des porte-à-faux (anti-cheminant du haut, tube de porte-à-faux, anti-balançant, bras de rappel, griffes de jonction et butées isolantes) ;
- ⊕ Des caténaires (fils de contact, les câbles porteurs, les câbles pendule et les connecteurs électriques).

La figure suivante illustre une section transversale typique d'une ligne à double voie avec les supports caténaires et les porte-à-faux.





Traduction de cette illustration n'a pas été fournie

#### Section transversale typique d'une ligne à double voie

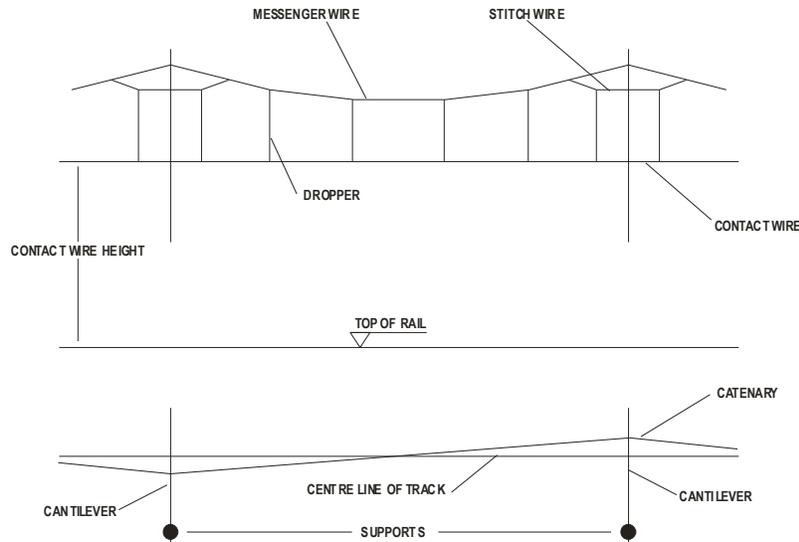
Les types de support de construction suivants sont recommandés pour l'installation de la caténaire :

- ⊕ Mât simple, le plus loin possible, de chaque côté de la voie ;
- ⊕ Mât avec des porte-à-faux à deux voies, là où le mât simple ne peut être érigé, aux croisements et branchements ;
- ⊕ Structures de portiques / suspension transversale souple ou travée principale, là où les mâts simples et les mâts avec porte-à-faux à deux voies ne peuvent être érigés (ex. dans les gares, là où la distance entre les voies est trop petite).

Les mâts sont normalement conçus comme des pylônes d'acier en treillis, des mâts d'acier en forme de H ou des mâts de béton. Les structures de portiques sont normalement fabriquées en acier. Les intervalles entre les mâts sont de 50 à 70 m.

Les porte-à-faux doivent être attachés aux supports de façon à permettre la rotation du porte-à-faux autour d'un axe parallèle à l'axe longitudinal du mât. C'est pour adapter la position du porte-à-faux aux variations de longueur de la caténaire résultant de l'influence de la température<sup>36</sup>.

La figure suivante représente une travée de caténaire entre deux mâts avec un arrangement des câbles dans la caténaire vue en élévation (partie haute de la figure) et le tracé horizontal de la caténaire vu en plan.



**Traduction de cette illustration n'a pas été fournie**

### **Travée typique entre deux mâts**

36 La longueur longitudinale du fil de caténaire et du câble porteur change avec les variations de température. Ce changement de longueur longitudinale est compensé par des dispositifs de tensionnement automatiques, mais le mouvement doit être rendu possible par la construction du porte-à-faux.

Le captage permanent du courant continu est le critère requis pour l'exploitation du matériel roulant électrique (spécialement avec la haute vitesse). Déjà le mouvement court vertical / les bonds du pantographe créent des interruptions de courant, causant des pertes de puissance de traction par des arcs électriques entre les pantographes et le fil caténaire (créant de petits dégâts au fil de contact). Pour obtenir un fonctionnement en douceur du pantographe au contact du fil sans interruption, la hauteur du fil de contact doit être la plus constante possible (hauteur nominale de 5,00 – 5,50 m). Pour y arriver, un câble porteur (avec certaines flèches entre les deux mâts dû à la gravité) transporte le fil de contact, qui y est relié par l'utilisation de câble pendule (ex. en Allemagne) et par des porteurs auxiliaires. De plus, les caténaires sont conçues pour que leur flèche soit pleinement compensée par tensionnement automatique.



**Mât avec dispositif de tensionnement**

La figure ci-dessus présente un mât de distribution avec les poids d'un dispositif de tension compensé entièrement automatique, la construction de la console, un isolateur de section au-dessus du croisement et un fil d'alimentation sur isolateur sur le dessus du mât.

Le système de caténaire est composé de fils de contact et de câbles porteurs, relié par des pendules et des porteurs auxiliaires. La moyenne des longueurs de section de tensionnement est principalement définie par la plage de température et la force de tension. La caténaire devra être fixée dans le milieu des longueurs de section et compensée (par des dispositifs de tension automatiques) aux deux extrémités.

Pour minimiser l'usure des bandes de frottement du pantographe, le fil de contact dévie de l'axe de la voie à chaque support soit à la gauche soit à la droite, le décalage ou "zigzag" étant normalement 30 cm de chaque côté. De cette façon, la bande de frottement du pantographe s'use de façon égale.

La caténaire pour la haute vitesse a principalement été développée en France, au Japon, en Allemagne, avec de légères différences dans le modèle. Tous les systèmes sont à la fine pointe, éprouvés, testés et fiables pour divers matériels roulants, vitesses et conditions climatiques. Les systèmes de caténaires utilisés pour la ligne principale des voies ferrées sont conçus et testés pour toutes les conditions climatiques (comme la température et le vent) et les applications inhérentes. Les systèmes de caténaires existent pour les limites de vitesse principales suivantes : 75 km/h, 100 km/h, 160 km/h, 200 km/h, 250 km/h, 280 km/h, 300 km/h, 330 km/h et 350 km/h.



## Compatibilité électromagnétique

La compatibilité électromagnétique (CEM) est définie comme la capacité pour l'équipement électrique et électronique de coexister sans interférence mutuelle. Le problème de la CEM est apparu dans les 30 dernières années lorsque la performance des systèmes s'est accrue pour les trains électriques à haute puissance pendant que l'immunité à l'interférence des autres systèmes a diminué (i.e. les systèmes de signalisation, les systèmes électroniques dans les maisons adjacentes à la voie ferrée). Pour le secteur ferroviaire en général et pour le THV au Canada, la CEM signifie ce qui suit :

- ⊕ Le chemin de fer alimenté en CA ne devra ni générer ni transmettre des signaux électromagnétiques qui peuvent déranger ou endommager d'autres systèmes externes en autant que ces derniers ont une immunité normale à l'égard des signaux brouilleurs ;
- ⊕ Le chemin de fer canadien ne devra pas être vulnérable aux ondes électromagnétiques externes (i.e. ondes électromagnétiques des stations radio ou TV) en autant que ces dernières sont dans une plage commune ;
- ⊕ L'alimentation électrique de traction CA ne devra pas interférer avec la signalisation ferroviaire et les systèmes de télécommunications de façon à occasionner du dérangement ou du dommage ;
- ⊕ L'alimentation électrique de traction CA ne devra pas interférer avec les télécommunications publiques ou privées ni avec les systèmes de transmission de données de façon à occasionner du dérangement ou du dommage ;
- ⊕ L'alimentation électrique de traction CA ne devra pas générer de champs électriques ni magnétiques au-delà des limites de sécurité pour les êtres humains dans les secteurs accessibles aux personnes.

Ces exigences font l'objet de normes internationales et nationales (Annexe L).

Les sources d'interférence électromagnétique sont le couplage galvanique, le couplage de champ électrique, le couplage de champ magnétique et le couplage de champ électromagnétique.

## Couplage galvanique

Le courant de retour de traction circule dans les rails et en partie dans la terre. D'autres systèmes, qui sont aussi mis à la terre (i.e. alimentation électrique publique, chemins de fer CC), peuvent capter une partie de ce courant ou la baisse de tension causée par ce courant de terre. De tels systèmes peuvent être :

- ⊕ Des conducteurs adjacents avec mise à la terre, comme des pipelines métalliques ;



- # Des tuyaux métalliques destinés à l'approvisionnement en eau ;
- # Des barres d'armature de béton ;
- # Des gaines de câble métalliques ;
- # Des systèmes d'alimentation électrique à traction CC – si la mise à la terre n'est pas parfaite.

### Couplage de champs électriques

Le champ électrique de la caténaire à haute tension peut produire des tensions indésirables dans des conducteurs adjacents non mis à la terre. Parce que la plupart des installations métalliques dans les alentours de la voie ferrée CA sont mises à la terre pour des raisons de sécurité, l'influence électrique a peu d'importance. Dans certains cas, les câbles d'antennes peuvent être influencés si la distance des conducteurs à haute tension est trop petite.

### Couplage de champs magnétiques

Les conducteurs transportant le courant à traction du système d'alimentation électrique génèrent des champs magnétiques dans leur entourage. Dans tous les conducteurs métalliques des alentours de la voie ferrée, formant une boucle, une tension sera induite. Les collecteurs typiques sont toutes sortes de câbles métalliques (télécommunications, signalisation, alimentation électrique à basse tension), mais aussi des voies parallèles alimentées en CC.

### Couplage de champs électromagnétiques

Les champs électromagnétiques dans une plage de fréquence moyenne et élevée peuvent être générés dans les systèmes de traction CA par des courants harmoniques d'impulsions modulées d'alimentation électrique ou par étincelage à cause des rebondissements du pantographe. D'autres sources sont les émetteurs-transmetteurs radio pour communication par voix et les équipements de signalisation sans fil.

### Dispositions de protection



Les mesures de protection pour la mise en terre, la métallisation et pour la régulation du courant vagabond réduisent le danger de l'influence d'un champ électrique et le couplage galvanique sur les chemins de fer CC. Pour réduire le couplage galvanique et le couplage de champs magnétiques, les mesures suivantes sont envisageables :

- ⊕ Réduire le courant de retour dans la terre en minimisant l'impédance du cheminement du courant de retour (rail, conducteurs de retour supplémentaires, utilisation d'auto transformateurs) ;
- ⊕ Réduire le champ magnétique du système de traction en ajoutant des conducteurs de retour ou par l'utilisation d'auto transformateurs ;
- ⊕ Réduire les tensions induites dans les câbles de signalisation et de communication par l'usage de câbles ayant un facteur de réduction élevé, de câbles à paire torsadée de câbles de fibre optique pour des lignes de communication interurbaines et de câbles métalliques d'une longueur limitée.

Un soin particulier doit être apporté au système de signalisation pour prévenir l'interférence provenant du courant à traction CA sur les circuits de voie des chemins de fer CC. Pendant la planification détaillée, des calculs d'interférence spéciaux doivent être faits pour vérifier que des câbles normaux de télécom ou de signalisation peuvent être utilisés. Autrement, il faut utiliser des câbles spéciaux, ou d'autres mesures de réduction sont nécessaires.

### Sécurité des personnes

La limite sécuritaire des champs électromagnétiques, dans le cas présent des champs électriques et magnétiques à CA et à CC, est définie dans plusieurs directives et dans différentes normes nationales. Des tests et des calculs pour divers chemins de fer ont démontré que les niveaux de référence maximum pour l'exposition du public en général ne sont atteints nulle part dans des secteurs d'accès public (voitures voyageurs, quais d'embarquement). Ainsi, aucune mesure supplémentaire n'est nécessaire.

## ANNEXE Q : ATELIER SUR LES TECHNOLOGIES PENDULAIRES



### Livrable 4 Technologie pendulaire Atelier sur les enjeux en suspens

12 octobre 2009  
Montréal, Québec

Atelier sur la technologie pendulaire :  
problématique

Devrions-nous considérer un train pendulaire pour le  
Corridor Québec-Windsor ?



## Atelier sur la technologie pendulaire : aperçu

1. Situation actuelle
2. Exigences géométriques
3. Avantages possibles
4. Coût d'acquisition et de construction
5. Coût d'exploitation et de maintenance
6. Qualité du service
7. Impacts environnementaux
8. Recommandation

3



EcoTrain

## Atelier sur la technologie pendulaire :

### 1. Situation actuelle

Les systèmes d'inclinaison ont été conçus pour accélérer le trafic sur les lignes conventionnelles et non pas sur les nouvelles lignes.

Le succès au niveau de la réduction du temps de roulement dépend fortement du nombre de courbes et de leurs rayons. Aucun avantage ne sera soutiré d'un tracé droit.

Ainsi, les trains pendulaires sont exploités sur des lignes existantes qui longent, par exemple, de petites vallées ou des rivières et qui ont par le fait même des courbes accentuées.

Même dans ces circonstances, la réduction du temps de trajet est minime.

4



EcoTrain



## Atelier sur la technologie pendulaire : 1. Situation actuelle

La réduction du temps de trajet peut résulter de la vitesse plus élevée de trains pendulaires (même sur les tracés droits) et d'autres mesures de mises à niveau.  
Source : Ingénierie ferroviaire International, 1988

5



## Atelier sur la technologie pendulaire : 1. Situation actuelle

En principe, deux mécanismes d'inclinaison sont offerts :  
L'inclinaison active à déclenchement hydraulique, comme le ICE-T (train pendulaire électrique de DB AG), ou à déclenchement électrique, telle qu'utilisée par le ICE-TD (train pendulaire diesel de DB AG);  
L'inclinaison passive à déclenchement activée par la force centrifuge, telle qu'utilisée par le train Talgo en Espagne

6





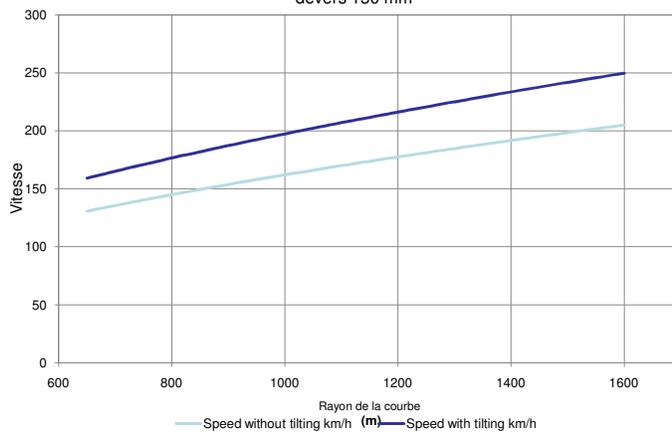
Atelier sur la technologie pendulaire :  
2. Exigences géométriques

7



Atelier sur la technologie pendulaire :  
2. Exigences géométriques

Vitesse en fonction du rayon de la courbe horizontale  
Dévers de 160 mm, manque du dévers 150 mm, manque additionnel du  
dévers 150 mm



8





### Atelier sur la technologie pendulaire : 3. Avantages possibles

L'utilisation de la technologie pendulaire dans le Corridor Québec – Windsor pourrait être avantageuse dans le cas où :

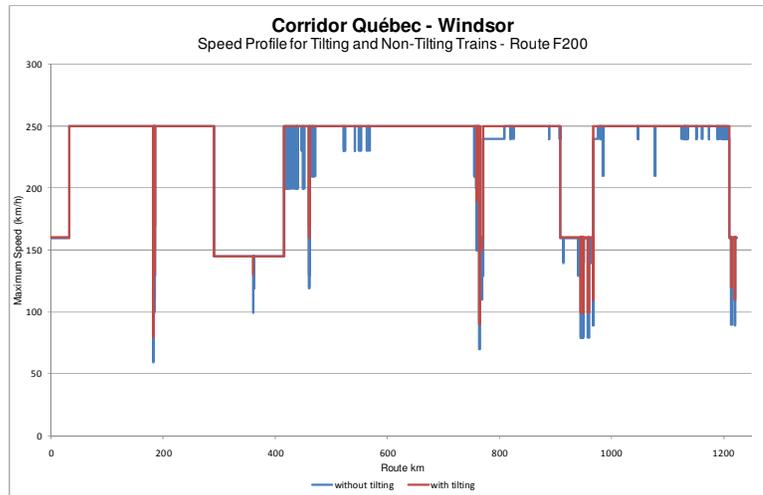
L'économie de temps de déplacement pour les tracés existants, près des grands centres, qui ne peuvent être modifiés vu les changements faits sur la voie, se chiffre autour de 5 minutes pour le trajet complet.

Des économies potentielles sur les coûts d'investissement, en raison des rayons de courbe rétrécis (2500 m à 2000 m) dans les campagnes sans augmenter le temps de trajet.

9



### Atelier sur la technologie pendulaire : 3. Avantages possibles



10



Profil de vitesse pour les trains pendulaires et non-pendulaires – Tracé F200

Vitesse maximale

Route



### Atelier sur la technologie pendulaire : 3. Avantages possibles

L'impact des économies de coûts d'investissement grâce à la diminution des rayons de courbes sur un nouveau tracé ne peut être quantifié sans une analyse détaillée.

Il est présumé que le tracé de l'étude précédente, servant de référence pour le présent établissement de tracé ait été modifié par rapport au tracé existant dont les rayons sont inférieurs à 1 000 m.

Ainsi, l'impact du changement additionnel de 2 000 m à 2 500 m ne pourrait être que minime.

11



EcoTrain

### Atelier sur la technologie pendulaire : 4. Coût d'acquisition et de construction

Coût d'investissement pour le matériel roulant

Les coûts d'investissement des trains pendulaires sont réputés être plus élevés de 15 % par rapport aux trains à haute vitesse conventionnels offrant le même nombre de sièges.

(Source : Rail Engineering International, 1998 2 et UIC 2004)

12



EcoTrain



## Atelier sur la technologie pendulaire : 4. Coût d'acquisition et de construction

Coût d'investissement des infrastructures (utilisation des voies existantes)

Coût de mise à niveau des lignes (source DB AG) :

Environ 15 M \$ pour chaque segment de 100 km

(Vitesse maximale en inclinaison : 160 km/h)

Cela comprend :

Ajustement des courbes de transition

Améliorations des conditions géométriques de la voie et de la caténaire selon l'augmentation de la vitesse

Ajustement des systèmes de protection de passages à niveau

Intégration d'une deuxième surveillance de vitesse dans le système

de signalisation dans la mesure où les trains conventionnels

utilisent toujours la même voie.

13



EcoTrain

## Atelier sur la technologie pendulaire : 5. Coût d'exploitation et de maintenance

Il n'y aucune différence dans les coûts d'exploitation entre les trains pendulaires et non-pendulaires mis à part ceux liés à la vitesse telle la consommation énergétique.

14



EcoTrain



## Atelier sur la technologie pendulaire : 5. Coût d'exploitation et de maintenance

Des calculs concernant des trains pendulaires (ICE-T) dénotent :

15 % de coûts de maintenance des rames additionnelles dont 8 % provient de la technologie d'inclinaison elle-même et 7 % provient de la maintenance plus complexe de diverses composantes;

Coûts de maintenance additionnels reliés aux voies (dû à des forces latérales plus importantes), à la caténaire et à la supervision de vitesse (signalisation).

15



EcoTrain

## Atelier sur la technologie pendulaire : 6. Qualité du service

Si la neige ou la glace commence à s'accumuler sous les véhicules, le mécanisme d'inclinaison peut être bloqué de sorte qu'on ne peut exploiter entièrement l'angle d'inclinaison. À cause de cela, il faut réduire la vitesse du train ou, si on choisit de ne pas le faire, dégrader le confort des passagers.

Il est essentiel de sceller le mécanisme d'inclinaison afin de prévenir l'intrusion de la neige. Également, le système hydraulique doit être conçu pour fonctionner pour des variations de température importantes.

L'inclinaison peut dégrader le niveau de confort des passagers.

16



EcoTrain



## Atelier sur la technologie pendulaires : 7. Impact environnementaux

La technologie pendulaire n'a aucun impact au niveau de l'environnement.

Toutefois, des vitesses de roulement élevées peuvent augmenter la pollution sonore.

17



## Atelier sur la technologie pendulaire : 8. Recommandation

Même si des économies de coût reliées à l'élaboration d'un nouveau tracé comprenant des rayons de courbes réduits ne peuvent être quantifiées, EcoTrain considère que les avantages générés par la technologie pendulaire dans le Corridor Québec – Windsor sont faibles par rapport aux dépenses additionnelles reliées à l'achat de matériel roulant ainsi qu'à la maintenance des rames et de l'infrastructure.

La technologie pendulaire ne devrait pas être considérée dans la présente étude.

Mais elle ne devrait pas être exclue pour autant des études plus poussées prévues dans le futur. <sup>18</sup>





## ANNEXE R : ATELIER SUR L'EXPLOITATION HIVERNALE



EcoTrain

### Livable 4 Exploitation hivernale Atelier sur les enjeux en suspens

12 octobre 2009  
Montréal, Québec

Atelier sur l'exploitation hivernale :  
problématique

Est-ce le train rapide sera une option envisageable  
vu les conditions hivernales canadiennes?

Exploitation de train à haute vitesse lors de  
conditions hivernales





## Atelier sur l'exploitation hivernale : aperçu

1. Expérience de l'exploitation hivernale
2. Voie
3. Signalisation
4. Électrification
5. Matériel roulant
6. Fiabilité du service
7. Recommandation

3



### Atelier sur l'exploitation hivernale : 1 . Expérience de l'exploitation hivernale

- Il existe une expérience considérable dans l'exploitation ferroviaire l'hiver au Canada
- Les premières applications THV furent implantées dans les régions où les conditions climatiques sont relativement douces.
- De nouvelles lignes THV ont été implantées ou sont prévues dans des pays ayant des conditions climatiques similaires à celles du Canada, tels le nord de la Chine, la Corée du Sud, la Russie et la Suède.
- La plupart des problématiques hivernales ne sont pas spécifiques au THV mais peuvent affecter également les chemins de fer conventionnels.
- Ainsi l'expérience canadienne sera entièrement mise à profit.

4





## Atelier sur l'exploitation hivernale : 2 . Voie

Les problèmes hivernaux reliés aux voies sont :

- Enlèvement de la neige
- Voies desservant les quais
- Ramassage du ballast
  - Aucun problème en suspens à cet égard
- Les cycles gel-dégel du sous-sol
- Les aiguillages

5



## Atelier sur l'exploitation hivernale : 2 . Voie

Les cycles gel-dégel

Les techniques de réduction des impacts du gel-dégel sont connues : elles consistent notamment à prévenir des accumulations (et du regel) des eaux de ruissellement et de fonte

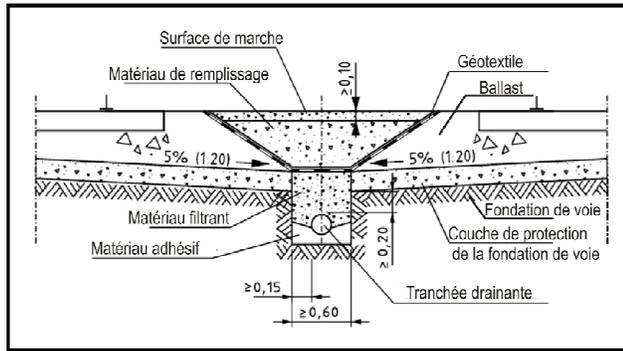
Pour les voies sur ballast : écoulement de l'eau à travers le ballast jusqu'à la couche protectrice située entre le ballast et la fondation, dirigée ensuite vers un drain situé sous la ligne de gel

Pour les voies sur dalle : écoulement de l'eau à travers la dalle et envoyée vers un drain situé sous la ligne du gel

6



## Atelier sur l'exploitation hivernale : 2 . Voie



Couche protectrice et système de drainage (Source : DB AG, RIL 836.0503)

7

## Atelier sur l'exploitation hivernale : 2 . Voie

### Les aiguillages

Problèmes liés à la chute de neige, aux congères et à la glace peuvent être évités grâce à des dispositifs qui réchauffent les aiguillages, des clôtures, des brosses et des déflecteurs

Gel de composants du mécanisme évité grâce au :

- Scellage approprié des moteurs d'aiguille
- Drainage efficace des moteurs d'aiguille et de leur tringlerie.

8



## Atelier sur l'exploitation hivernale : 2 . Voie

*Les brosses et les défecteurs*



9



## Atelier sur l'exploitation hivernale : 3 . Signalisation

Le système ERTMS – 2 ne comporte aucune composante mobile exposée aux intempéries

Les balises, les compteurs d'essieux etc. sont :

Scellés adéquatement

Protégés contre la neige et le gel

Exploitable à de très basses températures

Aucun problème de signalisation liés à l'hiver n'est prévu

10





## Atelier sur l'exploitation hivernale : 4. Électrification (E300+)

Les problèmes hivernaux possibles du réseau public d'alimentation n'a aucun lien avec les THV.  
Le fil de contact peut être affecté par le gel et le verglas. Les mesures possibles, utilisées avec succès dans le cas de l'exploitation THV, sont les suivantes :

- Le train circule lorsqu'il n'y a pas de service régulier (nettoyage mécanique fait par le pantographe)
- Chauffage du fil de contact (par courant de traction)

11



## Atelier sur l'exploitation hivernale : 5 . Matériel roulant

Les bogies, la suspension, les dispositifs de freinage, les attelages, les portes ainsi que l'équipement sous le châssis peuvent être affectés par la neige et la glace.

Ceci peut être prévenu en :

- Scellant les véhicules au maximum;
- Protégeant les pièces fragiles au moyen de couvercles flexibles;
- Remplissant les trous et les coins avec un matériau élastique;
- Déglaçant à intervalles réguliers.

12





## Atelier sur l'exploitation hivernale : 5 . Matériel roulant

### Dégivrage



13



## Atelier sur l'exploitation hivernale : 6. Fiabilité du service

La fiabilité du service THV est assurée si :

Toutes les installations et équipement sont conçus pour faire face aux conditions hivernales

Les procédures d'exploitation et de maintenance sont conçues pour faire face aux conditions hivernales

Mesures de prévention contre la neige et la glace sont soigneusement préparées et de l'équipement en quantité suffisante et du personnel sont prêts à intervenir.

Les conditions météorologiques sont constamment surveillées et l'action appropriée est déclenchée à temps

Les coûts de construction, d'exploitation et de maintenance ont été estimés en se basant sur la mise en place des mesures requises

14





## Atelier sur l'exploitation hivernale : 6. Fiabilité du service

Les mesures implantées :

- 228 dispositifs de chauffage pour les aiguillages
- 39 souffleuses à neige
- Du personnel présent dans 19 centres de maintenance tout au long de la ligne

15



## Atelier sur l'exploitation hivernale : 7. Recommandation

Compte tenu de :

- L'expérimentation canadienne de l'expérience hivernale des systèmes ferroviaires conventionnels
  - Niveau de maturité des systèmes THV actuels
  - L'objectif et de l'envergure de la présente étude
  - Des études complémentaires qui seront réalisées
- éventuellement à même la conception du système
- Eco Train considère que l'exploitation de la technologie du THV dans des conditions hivernales propres au Canada ne pose aucun problème technique pouvant compromettre la faisabilité de ce projet.

16





## ANNEXE S : ATELIER SUR LA SIGNALISATION



EcoTrain

### Livrable 4 Signalisation Atelier sur les enjeux en suspens

12 octobre 2009  
Montréal, Québec

#### Atelier sur la signalisation : enjeu

Est-ce que l'ERTMS Niveau 2 pourrait être une technologie représentative appropriée dans le cadre de l'étude portant sur le Corridor ?

ERTMS = Système de gestion du trafic ferroviaire européen





## Atelier sur la signalisation : aperçu

1. Nécessité d'une signalisation haute vitesse
2. Options de signalisation haute vitesse
3. Système utilisé pour l'estimation des coûts
4. Pourquoi utiliser le même système pour le F200+ et le E300+ ?
5. Impacts des trains à basse vitesse qui utilisent les voies à haute vitesse
6. Recommandation

3



## Atelier sur la signalisation :

### 1. Nécessité d'une signalisation haute vitesse

La signalisation conventionnelle est basée sur le transfert d'informations du sol au train au moyen de signaux en bordure de voie.

Cela fonctionne bien pour des trains circulant à des vitesses allant jusqu'à 160 km/h.

À des vitesses dépassant les 160 km/h, les opérateurs ne peuvent observer la signalisation de voie de façon fiable. C'est pourquoi la signalisation à bord s'avère nécessaire pour les systèmes THV.

4





## Atelier sur la signalisation : 2. Options de la signalisation haute vitesse

Plusieurs systèmes de signalisation ont été développés  
Séparément pour chaque chemin de fer  
Et améliorés selon les progrès de la technologie

Les mêmes systèmes couvrent les vitesses de 200 km/h et plus.  
Par exemple, le système allemand LZB est utilisé sur les lignes mises à niveau à 200 km/h et aussi sur les nouvelles lignes à haute vitesse pouvant atteindre 300 km/h.

5



## Atelier sur la signalisation : 2. Options de la signalisation haute vitesse

Systèmes de signalisation THV présentement sur le marché

Système ATC disponible	Manufacturier	Système en Service dans le pays depuis	Vitesse max. d'exploitation (km/h)	
AWS/TPWS	Bombardier	Royaume-Uni	2002	200
EBICAB 700	Bombardier, Montréal	Norvège, Suède, Portugal, Bulgarie	1990	220
EBICAB 900	Bombardier	Finlande, Espagne	1997	220
ZUB	Alstom	Suisse	2000	220
ATC	Hitachi, Kawasaki	Japon	1964	220
ATP / ACELA	Bombardier, Alstom	É.U., Amtrak	2000	241
SCMT/BACC	Ansaldo	Italie	2002	200
ATC (TVM)	Alstom	Corée	2004	300
DS-ATC / ATP	Hitachi, Kawasaki	Japon, Taiwan	2007	300
TVMKVB	Alstom,	France	1978	430
TVMKVB - ETCS	Alstom,	France	2007	430
LZB/PZB, ZUB	Siemens/Thales	Allemagne	1991	300
ETCS niveau 2(ERTMS)	Alstom, Ansaldo, Bombardier, Invensys, Siemens, Thales,	Mondialement i.e. France, Allemagne, Italie, Suisse, Chine, Inde, Arabie Saoudite, Mexique et plus	2002	300

6





## Atelier sur la signalisation : 2. Options de la signalisation haute vitesse

La plupart des systèmes existants pourraient être utilisés pour l'exploitation à haute vitesse dans le Corridor Québec – Windsor. La majorité de ces systèmes ont été conçus il y a plusieurs années.

La plupart sont spécifiques à un pays donné et coordonnés avec le système existant de signalisation de voie (par exemple, le Corridor nord-est).

Ils nécessitent plusieurs équipements de voie (câble, joints isolants, etc.)

Les systèmes anciens ne sont plus sur le marché.

7



## Atelier sur la signalisation : 3. Système utilisé pour l'estimation des coûts

L'ERTMS a été choisi à titre de technologie représentative pour l'évaluation des coûts parce que :

Il est fabriqué par les plus grands manufacturiers

Il est basé sur une technologie radio

Ainsi, il ne comporte pas beaucoup de dispositifs sur les voies, se limitant à quelques balises

Il est presque devenu une norme mondiale au cours des dernières années

C'est un système qui a été testé, approuvé et éprouvé en service

8





## Atelier sur la signalisation : 4. Pourquoi utiliser le même système pour le F200+ et le E300+ ?

Contrairement à tous les autres systèmes de signalisation haute vitesse, l'ERTMS Niveau 2 ne se limite pas à une certaine vitesse.

La conception du système n'est que légèrement influencée par la vitesse maximale (logiciel)

Les coûts du système ne sont pas influencés par la vitesse.

9



## Atelier sur la signalisation : 5. Impacts des trains à basse vitesse qui utilisent les voies à haute vitesse

Il existe deux possibilités de partage des voies :

Les trains à haute vitesse exploités sur les voies existantes

Les trains à basse vitesse exploités sur les nouvelles voies à haute vitesse

10





## Atelier sur la signalisation : 5. Impacts des trains à haute vitesse exploités sur des voies existantes

Les trains à haute vitesse exploités sur les voies existantes  
Les voies existantes sont équipées de systèmes de signalisation conventionnels

Les trains à haute vitesse doit avoir l'équipement approprié à bord afin de communiquer au moyen de ces systèmes, en plus du ERTMS

Par exemple, les trains Thalys qui circulent en Belgique, en France, en Allemagne et aux Pays-Bas sont équipés avec les systèmes des quatre pays ainsi que l'ERTMS Niveau 2.

11



## Atelier sur la signalisation : 5. Impacts des trains à basse vitesse exploités sur les nouvelles voies à haute vitesse

Les trains à basse vitesse exploités sur les voies à haute vitesse :

Les nouvelles voies sont équipées du système ERTMS Niveau 2 seulement

Les trains à basse vitesse doivent respecter les caractéristiques des voies à haute vitesse (charge axiale, signalisation, etc.)

Les trains à basse vitesse doivent posséder l'équipement ERTMS à bord en plus des autres systèmes déjà en place.

12





## Atelier sur la signalisation : 6. Recommandation

L'ERTMS Niveau 2 servira de technologie représentative de signalisation et de référence pour les calculs éventuels des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance.

