

---

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

**Revue des technologies en utilisation commerciale - Livrable C1**

Présenté par :

**CANARAIL**

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

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

Juillet 2003  
Projet No 03-108

Présenté au :

**MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC**

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

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

---

Titre du document : Revue des technologies en utilisation commerciale  
Description : Livrable C1  
Date : 31 juillet 2003  
No. Projet : 03-108

---

Rédacteur(s) :

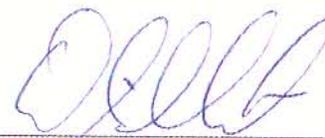
  
\_\_\_\_\_  
Jean-Luc Dupré, ing. stagiaire

  
\_\_\_\_\_  
Claude Messier, ing.

Vérificateur :

  
\_\_\_\_\_  
Don Gillstrom, ing.

Approbateur :

  
\_\_\_\_\_  
Don Gillstrom, ing  
Patron responsable

## TABLE DES MATIÈRES

|   | Page      |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUCTION .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. DONNÉES D'ACHALANDAGE .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>3. LE MATÉRIEL ROULANT .....</b>   | <b>4</b>  |
| 3.1 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES .....  | 4         |
| 3.1.1 Les manufacturiers .....  | 4         |
| 3.1.2 Sécurité .....  | 8         |
| 3.1.3 Électrification de la voie .....  | 8         |
| 3.1.4 Achalandage.....  | 9         |
| 3.1.5 Parcours .....  | 9         |
| 3.2 LE MATÉRIEL ROULANT DE LA GAMME V1 .....  | 9         |
| 3.2.1 ICE TD.....   | 9         |
| 3.2.2 Virgin Rail Classe 220 .....  | 10        |
| 3.2.3 ICN pendulaire.....   | 10        |
| 3.2.4 Matériel retenu.....  | 10        |
| 3.3 LE MATÉRIEL ROULANT DE LA GAMME V2 .....  | 11        |
| 3.3.1 JetTrain de Bombardier .....  | 11        |
| 3.3.2 Acela.....  | 12        |
| 3.3.3 ICE T .....   | 12        |
| 3.3.4 Pendolino.....  | 13        |
| 3.3.5 Venturio .....  | 13        |
| 3.3.6 Matériel retenu.....  | 13        |
| 3.4 LE MATÉRIEL ROULANT DE LA GAMME V3 .....  | 14        |
| 3.4.1 TGV .....   | 14        |
| 3.4.2 ICE 3.....  | 14        |
| 3.4.3 ETR 500 .....   | 14        |
| 3.4.4 Matériel retenu.....  | 15        |
| <b>4. SIGNALISATION.....</b>  | <b>16</b> |
| 4.1 TECHNOLOGIES DE SIGNALISATION POUR LES VITESSES<br>SUPÉRIEURES À 300 KM/H ..... | 16        |
| 4.1.1 Technologies existantes .....   | 16        |
| 4.1.2 Le système français TVM.....  | 16        |

|                 |  |           |
|-----------------|--|-----------|
| 4.2             | TECHNOLOGIES DE SIGNALISATION POUR LES VITESSES<br>INFÉRIEURES À 240 KM/H.....   | 19        |
| 4.2.1           | Le système LZB.....  | 20        |
| 4.2.2           | Les systèmes utilisant les balises et les circuits de voie comme<br>principal moyen de communication .....                                   | 21        |
| <b>5.</b>       | <b>TÉLÉCOMMUNICATION .....</b>   | <b>25</b> |
| 5.1             | EXIGENCES GÉNÉRALES.....   | 25        |
| 5.2             | REVUE DES TECHNOLOGIES ACTUELLES .....   | 26        |
| 5.2.1           | Technologie filaire .....  | 26        |
| 5.2.2           | Radio-télécommunication .....  | 26        |
| <b>6.</b>       | <b>ÉLECTRIFICATION .....</b>   | <b>28</b> |
| 6.1             | CHOIX .....  | 28        |
| 6.2             | PRINCIPE ET AVANTAGES DU SYSTÈME 2*25 KV .....   | 28        |
| <b>7.</b>       | <b>CONCLUSION.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>Annexe 1</b> | <b>Principaux systèmes de contrôle de vitesse, de commande des trains et d'annonce<br/>pour des vitesses supérieures à partir de 200km/h</b> |           |

## **1. INTRODUCTION**

Ce rapport est le deuxième à être soumis dans le cadre de l'étude d'évaluation préliminaire des tracés des technologies et des coûts d'implantation inhérents à un train à haute vitesse entre Montréal et la frontière américaine (direction New York). Il présente un résumé des données d'achalandage disponibles ainsi qu'une revue des technologies en utilisation commerciale.

Les données d'achalandage disponibles dans les études antérieures ont d'abord été analysées afin de permettre une meilleure définition du type de service à offrir, tant en termes de fréquence que de capacité des trains. Les résultats de cette analyse sont présentés au chapitre 2. Le chapitre 3 est consacré à une revue du matériel roulant disponible pour chacune des gammes de vitesse retenues. Les différentes technologies de signalisation et de communications disponibles sont présentées au chapitres 4 et 5 respectivement. Finalement, le chapitre 6 traite des différentes approches qui peuvent être considérées pour l'électrification de la voie.

## 2. DONNÉES D'ACHALANDAGE

Suite à la revue des études passées, deux sources d'information fournissent des données d'achalandage pour une liaison ferroviaire à grande vitesse entre Montréal et New York.

La première est le rapport de Peat Marwick intitulé « Prefeasability Study of Very High Speed Rail Intercity Passenger Service Between Montréal and New York Via Vermont », produit en 1985. Ce rapport fournit des projections de trafic pour le corridor Montréal-New York pour les années 1995 et 2005 en fonction d'un trajet comportant 6 gares desservant Montréal, Burlington, Rutland, Albany, Poughkeepsie et New York. Le tableau suivant présente un sommaire des résultats prévus.

| Origine-Destination                     | Trafic prévu (milliers) |              |
|---|-------------------------|--------------|
|   | 1995                    | 2005         |
| New York - Montréal                     | 530                     | 591          |
| Poughkeepsie - Montréal                 | 4                       | 4            |
| Albany - Montréal                       | 52                      | 58           |
| Rutland - Montréal                      | 4                       | 21           |
| Burlington - Montréal                   | 75                      | 114          |
| <b>Sous-total : États-Unis - Québec</b> | <b>665</b>              | <b>788</b>   |
| New York - Albany                       | 1,120                   | 1,462        |
| Autres paires O/D aux États-Unis        | 512                     | 818          |
| <b>Corridor total</b>                   | <b>2,297</b>            | <b>3,068</b> |

Ces données ont été utilisées dans le rapport « *Projet de liaison ferroviaire à très grande vitesse Montréal/New York* » de 1982 pour évaluer le nombre de trains par jour. Dans ce cas, le matériel roulant étudié est le TGV GEC-Alstom qui permet d'effectuer le trajet en 3 heures approximativement.

La seconde source d'information est le rapport intitulé « *Détermination de l'achalandage potentiel d'un train à haute vitesse sur les liaisons entre les villes de Québec/Montréal et Boston/New York* » préparé par Transurb en 1996 et s'inspirant, entre autres, du rapport de Peat Marwick. Ce rapport évalue l'achalandage total (détourné et induit) d'un train à haute vitesse à 589 511 voyageurs en 2005 dans le cas d'une croissance économique maximale. Ce chiffre représente uniquement la clientèle effectuant un voyage dont l'origine première et la destination sont Montréal ou New York avec un temps de parcours de l'ordre 2 heures et 10 minutes. Il est consistant avec l'achalandage prévu entre les villes de Montréal et New York de l'étude de Peat Marwick (voir tableau précédent).

Les événements du 11 septembre ainsi que les fluctuations du dollar canadien ont sans aucun doute eu un impact sur les habitudes des voyageurs. Par exemple, le rapport estime la clientèle aérienne entre Montréal et New York à 378 655 pour 2005. Considérant la crise aérienne actuelle, si la durée du trajet Montréal/New York est compétitive par rapport à l'avion, la clientèle détournée de l'avion vers le train pourrait augmenter l'achalandage.

À défaut de chiffres plus à jour, CANARAIL retient le chiffre de 788 000 voyageurs par an pour 2005 sur la partie du corridor située entre Montréal et la frontière américaine (Burlington) afin de déterminer la capacité et la fréquence des trains.

Si on considère des trains d'environ 400 places et un coefficient de remplissage (pourcentage des sièges vendus) de 70 %, 8 voyages par jour (4 par direction) seraient nécessaires. Ceci ne permettrait pas, à notre avis, d'offrir un service suffisamment attrayant pour garantir et idéalement augmenter cet achalandage. CANARAIL propose donc l'utilisation de rames de plus faible capacité afin de permettre une augmentation de la fréquence des trains. Différentes configurations sont présentées au tableau suivant.

CANARAIL recommande l'utilisation de trains offrant entre 240 et 300 places initialement, puisqu'ils permettraient d'offrir une fréquence de trains attrayante, avec 5 à 7 trains par direction quotidiennement, tout en assurant un coefficient de remplissage raisonnable, variant entre 64 % et 72 % selon l'option choisie.

| <b>Segment Montréal-Burlington</b> |                                   |                                  |                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Achalandage annuel</b>          | <b>Nombre de places par train</b> | <b>Nombre de trains par jour</b> | <b>Coefficient de remplissage</b> |
| 788 000                            | 200                               | 16                               | 67,5                              |
| 788 000                            | 220                               | 14                               | 70 %                              |
| 788 000                            | 240                               | 14                               | 64 %                              |
| 788 000                            | 260                               | 12                               | 69 %                              |
| 788 000                            | 280                               | 12                               | 64 %                              |
| 788 000                            | 300                               | 10                               | 72 %                              |
| 788 000                            | 320                               | 10                               | 67 %                              |
| 788 000                            | 340                               | 10                               | 63 %                              |
| 788 000                            | 360                               | 8                                | 75 %                              |
| 788 000                            | 380                               | 8                                | 71 %                              |
| 788 000                            | 400                               | 8                                | 67 %                              |
| 788 000                            | 420                               | 8                                | 64 %                              |
| 788 000                            | 440                               | 8                                | 61 %                              |
| 788 000                            | 460                               | 6                                | 78 %                              |
| 788 000                            | 480                               | 6                                | 75 %                              |
| 788 000                            | 500                               | 6                                | 72 %                              |

### **3. LE MATÉRIEL ROULANT**

#### **3.1 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES**

Le choix des technologies de matériel roulant les plus intéressantes a été effectué en fonction de trois gammes de vitesses, correspondant à différentes technologies. Les gammes de vitesse retenues sont les suivantes.

|    |                                 |
|----|---------------------------------|
| V1 | Vitesse inférieure à 200 km/hre |
| V2 | Vitesse inférieure à 240 km/hre |
| V3 | Vitesse supérieure à 300 km/hre |

Les sections suivantes décrivent les différents facteurs qui ont été pris en compte dans notre analyse du matériel roulant. Elles sont suivies d'une brève description du matériel roulant considéré pour chaque gamme de vitesse. Les modèles de matériel roulant présentés dans ce rapport ne représentent qu'une partie du matériel roulant disponible sur le marché. En effet, puisque chaque fabricant adapte son matériel aux exigences spécifiques d'un contrat, il en résulte une multitude de produits plus ou moins semblables. De plus, des produits similaires se retrouvent au catalogue de plusieurs fabricants. Nous avons donc choisi les modèles de matériel roulant les plus représentatifs afin de les présenter comme matériel type pour chacune de gammes de vitesse. Une analyse plus détaillée pourra être effectuée lorsque les paramètres applicables à l'ensemble du parcours seront mieux définis. Un sommaire des caractéristiques du matériel roulant est présenté au tableau 3.1.

##### **3.1.1 Les fabricants**

Au cours des dernières années, nous avons pu observer dans l'industrie de la fabrication du matériel roulant ferroviaire voyageurs une forte concentration des activités chez un petit nombre de fabricants. En effet, suite à de nombreuses fusions et acquisitions, les principaux fabricants qui subsistent sont :

- Alstom
- AnsaldoBreda
- Bombardier
- Fiat
- Kawasaki
- Nippon Sharyo
- Siemens
- Talgo

**Tableau 3.1 - Comparaison des technologies pour le matériel roulant**

| Gamme de vitesse  | V1   |  |  | V2  |   |   |  |                                       | V3  |   |   |
|---|--|--|--|---|---|---|--|---------------------------------------|---|---|---|
|   | ICE TD   | Virgin Rail Classe 220   | ICN pendulaire   | Jet Train   | Acela   | Venturio  | ICE T  | Pendolino S220                        | TGV Réseau  | ICE 3   | ETR 500   |
| <b>CARACTÉRISTIQUES</b>   |  |  |  |   |   |   |  |                                       |   |   |   |
| Vitesse d'exploitation maximale (km/h)  | 200  | 200  | 200  | 240   | 240   | 160 à 250, selon la motorisation, 230 km/h pour l'exemple             | 230  | 220                                   | 300 sur lignes grande vitesse; 220 sur lignes classiques équipées | 330 en CA; 220 en CC  | 300   |
| Constructeur  | Consortium Siemens Bombardier mené par Siemens   | Bombardier   | Bombardier (consortium avec Fiat)  | Bombardier  | Bombardier (voitures); Bombardier – Alstom (locomotives)                              | Siemens   | Consortium Bombardier, Alstom et Siemens                               | Fiat                                  | Alstom  | Consortium Siemens Bombardier mené par Siemens  | AnsaldoBreda et Fiat                                |
| Pays d'origine  | Allemagne  |  | Allemagne Italie   | Canada  | Canada (voitures); Canada et France (locomotives)                                     | Allemagne   | Allemagne  | Italie                                | France  | Allemagne   | Italie  |
| Lieu et année de la première mise en service de la version du matériel roulant à l'étude                          | 1999-2000. Utilisés en Allemagne depuis 2001   | Royaume-Uni  | Suisse; depuis 2001; 24 rames en service   | Aucune locomotive en service commercial; Partage les voitures de l'Acela              | Entre Washington et Boston en 2000  |   | Lignes principales en Allemagne; 43 rames mises en service depuis 1999 | 1988 Italie (ETR 450)                 | En service depuis 1992 ; 50 rames en service;                     | Allemagne et Pays-Bas; 54 rames mises en service depuis 2000  | 1996 entre Rome et Florence                         |
| Autres endroits où ce matériel roulant est utilisé  |  |  | Oui - Angleterre   | Aucun   | Aucun   |   |  | 1992 Finlande (S220) Suisse (ETR 470) |   | Sera également utilisé en Espagne en 2004 sous le nom de AVE S103. Conçu pour 250 km/h avec 8800 kW de puissance. | Aucun   |
| Type de matériel roulant  | Rame automotrice diesel  | Rames automotrices diesel-électriques  | Rames automotrices électriques   | Voitures remorquées par des locomotives   | Voitures remorquées par des locomotives   | Rame automotrice électrique (ou diesel)                               | Rame automotrice électrique  | Rame automotrice électrique           |   |   | Voitures remorquées par des locomotives électriques |
| Technologie pendulaire?   | Oui<br>Pendulation active  | Oui  | Oui; positionnement électrique   | Oui - Pendulation active recevant l'information sur la voie de la locomotive de tête. | Oui - Pendulation active recevant l'information sur la voie de la locomotive de tête. | Oui - Pendulation active.   | Oui - Pendulation active.  | Oui                                   | Non   | Non   | Non   |
| Pour les technologies pendulaires, indiquer l'inclinaison maximale (degrés d'inclinaison ou dévers correspondant) | 8 degrés d'inclinaison   |  | 8 degrés d'inclinaison   | 6 degrés d'inclinaison  | 6 degrés d'inclinaison  | inclinaison de 8 degrés. Partage le système du ICE TD                 | inclinaison de 8 degrés. Partage le système du ICE TD                  | inclinaison de 8 degrés               |   |   |   |
| <b>CARACTÉRISTIQUES D'EXPLOITATION</b>  |  |  |  |   |   |   |  |                                       |   |   |   |
| Composition des rames   | 4 voitures motorisées  | 4 voitures   | 7 voitures   | 2 locomotives + 4 voit. coach + 1 voit. 1 <sup>ère</sup> classe + 1 voit. bistro      | 2 locomotives + 4 voit. coach + 1 voit. 1 <sup>ère</sup> classe + 1 voit. bistro      | de 3 à 7 par train (valeurs pour 7 voitures fournies dans ce tableau) | de 5 à 7 voitures (valeurs dans ce tableau pour 7 voitures)            | 6 voitures dont 2 sont motorisées     | 2 motrices et 8 remorques   | 8 voitures  | 11 voitures + 2 locomotives                         |
| Nombre de sièges de cette configuration (1 <sup>ère</sup> classe + voit. coach)                                   | 41+148+6 places mère-enfant = 195  | 174  | 131+326=457  | 45 + 264 = 309  | 45 + 264 = 309  | 108 + 309 + 2 chaises roulantes= 417 (7 voitures)                     | 381  | 309                                   | 120+257 + 25 strapontins=403                                      | 430   | 590   |
| Nombre maximum de voitures par rame   | 4  |  |  | 10  | 10  | 9   |  |                                       |   |   | 14  |
| Mode de propulsion (électrique, diesel...)  | Diesel-électrique. Chaque voiture comporte un groupe générateur et la traction est répartie sur toutes les voitures. | Diesel -électrique; un moteur diesel par voiture qui alimente un onduleur IGBT fournissant l'énergie à 2 moteurs de traction 3-phases par voiture. | Électrique; un transformateur pour 3 voitures; alimente 4 moteurs de traction par un convertisseur GTO | Diesel-électrique utilisant un moteur à turbine                                       | Électrique  | Électrique  | Électrique   | Électrique                            | Électrique  | Électrique  | Électrique  |
| Services offerts à bord   | Climatisés; compartiment mère enfant   | Climatisés   | Climatisation; restaurant; compartiments affaire   | Climatisés; Voiture café  | Climatisés; Voiture café  |   |  |                                       |   |   |   |

| Gamme de vitesse   | V1   |   |                                       | V2  |   |  |  |  | V3   |  |  |
|--|--|---|---------------------------------------|---|---|--|--|--|--|--|--|
|  | ICE TD   | Virgin Rail Classe 220                            | ICN pendulaire                        | Jet Train   | Acela   | Venturio   | ICE T  | Pendolino S220   | TGV Réseau   | ICE 3  | ETR 500                                  |
| <b>CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES</b>                                   |  |   |                                       |   |   |  |  |  |  |  |  |
| Voltages et mode d'alimentation (si électrique)                      |  |   | 15 kV - 16,7 Hz                       |   | 25 kV, 60 Hz; 12,5 kV 60 Hz; 11 kV 25 Hz , par caténaire  | 25 kV, 50 ou 60 Hz; 15 kV 16,7 Hz 3 kV CC, par caténaire | 15 kV 16,7 Hz par caténaire                                    | 25 kV 50 Hz  | 25kV / 50Hz; 1,5 kV CC   | 25 kV, 50 Hz; 15 kV 16,7 Hz; 3 kV et 1,5 kV CC, par caténaire                        | 25 kV 50 Hz 3 kV et 1,5kV CC             |
| Système de propulsion  | 8 moteurs de traction  | 8 moteurs de traction                             |                                       | 2 locomotives avec 4 moteurs de traction chacune  | 2 locomotives avec 4 moteurs de traction chacune  |  |  | 8 moteurs asynchrones CA                                     |  | Taux de motorisation de 50%  | 2 locomotives avec 4 moteurs de traction |
| Puissance disponible   | 2000 kW  |   | 5,2 MW; 210 kN; 8 essieux de traction | Puissance continue de 3300 kW par locomotive.   | Puissance continue de 4 600 kW par locomotive.  | Aprox. 4 000 kW  | 4000 kW  | 4 000 kW   | 8750;kW; 212 kN effort de traction au démarrage                    | 16X 500 kW= 8 000 kW; effort de traction au démarrage: 300 kN                        |  |
| Dimensions extérieures   | Longueur du train: 106,7 m   | 93,7 m  | 188,0 m                               | Motrice: 21 219 mm Long X 3 175 mm Larg X 4 318 mm Haut   | Motrice: 21 219 mm Long X 3 175 mm Larg X 4 318 mm Haut   | aprox 185 m  |  | 158,9 m long.  | 200,2 m  |  |  |
|  |  |   |                                       | Coach, 1ère classe & bistro:26 645 L X 3 162 W X 4 232 H  | Coach, 1ère classe & bistro:26 645 L X 3 162 W X 4 232 H  |  |  |  |  |  |  |
| Masse à vide   | Rame: 232 Tm   |   | 355 Tm                                | Locomotive: 97 400 KgVoiture Coach: 57 300 Kg1ère classe: 57 300 KgBistro: 58 200 KgVoiture coach d'extrémité: 58 200 Kg                  | Locomotive: 90 750 KgVoiture Coach: 57 300 Kg1ère classe: 57 300 KgBistro: 58 200 KgVoiture coach d'extrémité: 58 200 Kg                              | Charge par essieu: 16,5 Tm(aprox. 400 Tm)                | 366 Tm   | 328 Tm   | 386 Tm   |  |  |
| Nombre de bogies et essieux par rame                                 | 8 bogies; 16 essieux   | 8 bogies; 16 essieux                              | 14 bogies; 28 essieux                 | 16 bogies, 32 essieux   | 16 bogies, 32 essieux   |  |  | 12   |  |  | 26                                       |
| Entraxe des bogies   | 2,60 m   |   |                                       |   |   |  |  |  |  |  |  |
| Système de suspension des voitures:                                  | Primaire: suspension latérale active constituée de cylindres pneumatiques contrôlés électroniquement. Secondaire: ressorts à air | Primaire: caoutchouc ; secondaire: ressorts à air |                                       | Primaire: Ressorts hélicoïdaux Secondaire: ressorts à air   | Primaire: Ressorts hélicoïdaux Secondaire: ressorts à air   |  |  | Primaire et secondaire: ressorts hélicoïdaux                 | Primaires : blocs de caoutchouc; secondaire: ressorts hélicoïdaux; |  |  |
| Rayon minimum des courbes verticales pour des véhicules accouplés.   |  |   |                                       | 610 m   | 610 m   |  |  |  |  |  |  |
| Rayon minimum des courbes horizontales pour des véhicules accouplés. | 150 m  |   |                                       | 76 m  | 76 m  | 150 m  |  |  |  |  |  |
| Rampe maximale à pleine charge                                       |  |   |                                       |   | > 5% (À confirmer)  |  |  |  |  |  |  |
| Taux d'accélération maximum à pleine charge.                         |  |   |                                       |   | 0,5 m/s/s   |  |  | 0-100: 0,50 m/s2<br>0-200: 0,37 m/s2                         |  |  |  |
| Taux de freinage de service maximum à pleine charge                  |  |   |                                       |   | 0,9 m/s/s   |  | 1,20 m/s2 à moins de 230 km/hr; 1,32 m/s2 à moins de 140 km/hr | 140-0: 1,01 m/s2<br>200-0: 0,94 m/s2                         |  |  |  |
| Type de freins   |  | Mixte: rhéostatique et pneumatique                |                                       | Locomotive: Freinage mixte rhéostatique complété par freinage mécanique à sabots et à disques. Voitures: Freins à sabots et à disques (3) | Locomotive: Freinage mixte rhéostatique/régénératif complété par freinage mécanique à sabots et à disques. Voitures: Freins à sabots et à disques (3) |  |  | freins à disques (3 par essieu porteur, 2 par essieu moteur) | Rhéostatique   | Freinage régénératif; freinage linéaire à courants de Foucault; freinage pneumatique |  |

| Gamme de vitesse  | V1  |                            |                               | V2   |  |   |       |                | V3         |       |         |
|---|---|----------------------------|-------------------------------|--|--|---|-------|----------------|------------|-------|---------|
|   | ICE TD  | Virgin Rail Classe 220     | ICN pendulaire                | Jet Train  | Acela  | Venturio                                | ICE T | Pendolino S220 | TGV Réseau | ICE 3 | ETR 500 |
| Construction des caisses                                | Aluminium, monocoque                            |                            |                               |  |  |   |       | Aluminium      |            |       |         |
| Possibilité d'exploitation en unités (trains) multiples | Oui, peut accoupler jusqu'à 3 trains            |                            | Oui, deux rames de 7 voitures | Oui, deux trains peuvent être accouplés  | Oui, deux trains peuvent être accouplés  | Oui, deux trains peuvent être accouplés |       |                |            |       |         |
| <b>NORMES DE CONCEPTION</b>                             |   |                            |                               |  |  |   |       |                |            |       |         |
| Voitures adaptées aux personnes en fauteuil roulant?    |   | Oui, 1 par voiture de tête | Oui                           | Oui, conforme à l'ADA américaine   | Oui, conforme à l'ADA américaine   |   |       |                |            |       |         |
| Résistance à la compression                             |   |                            |                               | 3 500 kN<br>Conforme aux normes "FRA TIER II"  | 3 500 kN<br>Conforme aux normes "FRA TIER II"  | 1 500 kN                                |       |                |            |       |         |
| Absorption d'énergie                                    |   |                            |                               | 5MJ Avant de la locomotive<br>3MJ arrière de la locomotive<br>5MJ avant de la première voiture suivant la locomotive | 5MJ Avant de la locomotive<br>3MJ arrière de la locomotive<br>5MJ avant de la première voiture suivant la locomotive |   |       |                |            |       |         |
| Rencontre les normes de sécurité nord-américaines?      | Non   | Non                        | Non                           | Oui  | Oui  |   |       | n.d.           |            |       |         |
| <b>DONNÉES ENVIRONNEMENTALES (SI DISPONIBLES)</b>       |   |                            |                               |  |  |   |       |                |            |       |         |
| Niveau de bruit émis                                    |   |                            |                               | Non disponible   | Non disponible   |   |       |                |            |       |         |
| Émissions atmosphériques (pour mode diesel seulement)   | Rencontre les normes Euro II pour les émissions |                            |                               |  | Non applicable   |   |       |                |            |       |         |
| <b>CONSIDÉRATIONS POUR VOIES ET GARES</b>               |   |                            |                               |  |  |   |       |                |            |       |         |
| Hauteur des quais de gare requise (mm)                  |   |                            |                               | 1 295 mm   | 1 295 mm   | 550 à 760 mm                            |       |                |            |       |         |
| Écartement de voie (mm)                                 | 1435  | 1435                       | 1435                          | 1435   | 1435   | 1435                                    | 1435  | 1435           | 1435       | 1435  | 1435    |

Notre recherche a donc été axée sur le matériel roulant que ces manufacturiers pouvaient offrir.

### **3.1.2 Sécurité**

Le matériel roulant utilisé pour les vitesses V1 et V2 utilisera les voies existantes. Cela implique que les trains franchiront de nombreux passages à niveau et qu'ils partageront la voie avec des trains de marchandises. Des exigences particulières s'appliquent au matériel voyageur en matière de résistance aux collisions et d'absorption d'énergie dans de pareils cas. Ces exigences sont énoncées au chapitre 49CFR238 de la réglementation américaine et leur application est sous l'autorité de la Federal Railroad Administration (FRA). Elles sont également reflétées dans les normes de l'Association of American Railroads (AAR) et de l'American Public Transit Association (APTA) pour la construction du matériel roulant.

Les exigences de résistance à l'impact et d'absorption d'énergie diffèrent en fonction de la vitesse d'exploitation pour laquelle le matériel roulant est conçu. Ainsi, pour les vitesses inférieures à 201 km/hre (125 mph) les exigences ne portent que sur la résistance à la compression. Pour les vitesses supérieures à 201 km/hre et jusqu'à 241 km/hre, des exigences de capacité d'absorption d'énergie s'ajoutent à celles de résistance à la compression. Au-delà de 241 km/hre, la réglementation présume que les trains circuleront sur des voies qui leurs sont propres, sans trafic marchandises et sans passages à niveau.

Il s'avère toutefois que les normes de construction européennes et asiatiques pour le matériel roulant ne sont pas aussi sévères que les normes nord-américaines. Ceci se justifie en partie par la masse plus faible des véhicules lourds circulant sur les routes européennes et pouvant entrer en collision avec un train aux passages à niveau.

Une grande partie du matériel roulant voyageur faisant partie de notre revue du matériel roulant est de conception européenne et ne respecte pas les normes énoncées ci-haut. Il est important de souligner que l'adaptation du matériel roulant aux normes nord-américaines pourrait exiger de la ré-ingénierie et que tous les modèles de matériel roulant ne s'y prêtent pas nécessairement. Nous n'avons pas considéré ce facteur dans notre analyse des technologies.

### **3.1.3 Électrification de la voie**

La nécessité d'électrifier la voie sur l'ensemble du parcours afin de permettre la circulation de trains ou de rames électriques implique des coûts importants. Pour cette raison, nous avons inclus dans notre analyse, du matériel roulant diesel pour les gammes de vitesses V1 et V2. Il n'existe toutefois pas de matériel roulant diesel pouvant circuler à des vitesses excédant 300 km/hre.

### **3.1.4 Achalandage**

Les données d'achalandage disponibles indiquent que le trafic voyageur sera beaucoup plus dense entre New York et Albany qu'entre Albany et Montréal. La fréquence ou la capacité des trains devra donc être adaptée en fonction du trafic sur chacun de ces tronçons. Pour cette raison, il pourrait être intéressant de pouvoir exploiter des trains modulaires qui pourraient être séparés à Albany. Nous avons tenu compte de cet aspect dans notre analyse.

### **3.1.5 Parcours**

La topographie de la partie sud du Québec et du nord de l'état de New York étant très différentes, la configuration de la voie y est également très différente. Les voies ferrées du CN et du CP entre Montréal et la frontière américaine sont relativement droites. Elles sont cependant beaucoup plus sinueuses dans l'état de New York où elles doivent passer entre les lacs et les montagnes. Le matériel roulant sélectionné devra donc offrir un bon rapport puissance/poids afin de permettre des accélérations plus rapides à la sortie des courbes. Ceci s'applique particulièrement à la vitesse V1 pour laquelle les améliorations apportées à la voie seront moins importantes.

## **3.2 LE MATÉRIEL ROULANT DE LA GAMME V1**

L'amélioration du service de train entre Montréal et New York pourrait être réalisée au moyen de trains composés de voitures remorquées par une ou deux locomotives diesel de grande puissance conçues pour une vitesse maximale de 160 km/hre. Cette méthode ne permettrait cependant pas d'atteindre l'objectif visé qui est de rendre le service attrayant en offrant aux voyageurs un moyen de transport confortable avec un temps de parcours compétitif avec les autres modes de transport.

En effet, le partage de la voie avec des trains de marchandises impose une limite au dévers qui peut être appliqué. L'insuffisance de dévers qui résulterait de l'exploitation de train de voyageurs conventionnels à vitesse élevée serait trop importante pour assurer le confort des passagers. Il faudrait imposer des limites de vitesse dans plusieurs courbes, ce qui aurait un impact sur le temps de parcours. Toutefois, certains modèles de matériel roulant conçus pour une exploitation à des vitesses allant jusqu'à 200 km/hre sont disponibles sur le marché. Nous en présentons ici quelques-uns.

### **3.2.1 ICE TD**

Le ICE TD a été conçu par un consortium formé de Siemens et Bombardier et dirigé par Siemens. La commande originale des chemins de fer allemands portait sur 20 rames de 4 voitures, qui sont en service depuis 2001 sur les voies non électrifiées et comportant trop de courbes. Ce matériel roulant à propulsion diesel-électrique offre une technologie pendulaire permettant une inclinaison de huit degrés. Ceci permet une réduction du temps de parcours de

15 % à 20 % tout en assurant un confort accru pour les passagers. Ce matériel roulant est conçu pour une vitesse d'exploitation de 200 km/hre. On peut accoupler jusqu'à trois rames pour en former un train, ce qui permet de répondre aux fluctuations de la demande en fonction du temps ou du tronçon de voie.

Chaque rame peut recevoir 195 passagers. Elles sont climatisées et disposent d'une cuisine d'où peuvent être servis des repas et des rafraîchissements. Les rames disposent également de deux places et de facilités pour les personnes handicapées, d'un compartiment « mère-enfant » et d'un système de communication et d'information pour les passagers.

Chaque voiture comporte un groupe électrogène diesel. Les groupes électrogènes de deux voitures voisines sont mis en commun et alimentent quatre moteurs de traction. Le taux de motorisation est de 50 %. Les huit moteurs de traction de 225 kW fournissent à la rame une puissance de 2 000 kW.

### **3.2.2 Virgin Rail Classe 220**

Bombardier a construit pour Virgin Rail du Royaume-Uni 40 rames diesel-électriques composées de 4 voitures chacune. Ces rames pendulaires sont conçues pour une vitesse d'exploitation maximale de 200 km/hre. Leur intérieur silencieux ainsi que le système de divertissement à chaque siège et un système d'information visent à assurer le confort des voyageurs. Chaque rame peut recevoir 174 passagers, incluant deux places pour les personnes handicapées.

Chaque voiture est munie d'un groupe électrogène qui alimente deux moteurs de traction à travers des inverseurs de type IGBT. Le taux de motorisation est de 50 %.

### **3.2.3 ICN pendulaire**

En service depuis juin 2001 entre les principaux centres de la Suisse, ces 24 rames automotrices électriques construites par Bombardier offrent une technologie pendulaire et sont conçues pour une vitesse d'exploitation de 200 km/hre. Les rames sont composées de sept voitures et huit essieux sont motorisés. La puissance de traction disponible est de 5,2 MW. La puissance de traction est fournie par des onduleurs de type GTO à partir d'une alimentation par caténaire à 15kV, 16,7 Hz.

Les rames offrent 457 places, soit 131 en première classe et 326 en deuxième classe. Elles sont climatisées et disposent d'un restaurant et de compartiments « affaire ».

### **3.2.4 Matériel retenu**

Le matériel le plus approprié pour des vitesses inférieures à 200 km/hre est de type diesel-électrique et offre une technologie pendulaire. Les rames sont constituées de quatre voitures ou plus et le taux de motorisation est d'environ 50 %. La technologie la plus récente pour le contrôle

de la puissance de traction est constituée d'onduleurs IGBT qui tendent à remplacer les onduleurs de type GTO. Le matériel roulant offrant le rapport puissance/poids le plus élevé devrait être favorisé puisqu'il permettra de meilleures accélérations, permettant ainsi de réduire le temps de parcours.

Les modèles de matériel roulant considérés offrent toutefois des capacités relativement faibles. Il serait approprié de vérifier avec les fournisseurs si des rames plus longues, constituées de 6 voitures par exemple, pourraient être constituées.

### **3.3 LE MATÉRIEL ROULANT DE LA GAMME V2**

Il existe peu de matériel roulant à traction diesel-électrique permettant une vitesse d'exploitation supérieure à 200 km/hre. Dans cette gamme de vitesse, la plus grande part du matériel roulant offre une traction électrique. Ceci tient de deux facteurs : les technologies de pointe dans le domaine du transport passager ont été développées pour le marché européen où la densité de population avait déjà justifié l'électrification du réseau ferroviaire. Il était donc plus facile et plus pratique d'utiliser du matériel roulant électrique. D'autre part, l'installation sur une locomotive d'un groupe moteur/alternateur d'une puissance suffisante pour permettre une exploitation à grande vitesse représente un défi technologique important, d'autant plus que des contraintes de poids et de dimensions doivent être rencontrées.

#### **3.3.1 JetTrain de Bombardier**

Le JetTrain de Bombardier est l'un des seuls matériels roulants à propulsion diesel-électrique permettant une vitesse d'exploitation atteignant 240 km/hre. La locomotive du JetTrain est d'un nouveau concept. Les voitures sont les mêmes que celles du train Acela.

La locomotive JetTrain a été développée pour le marché nord-américain par Bombardier avec le support de la FRA. Elle présente une alternative intéressante à l'électrification coûteuse des lignes ferroviaires.

Le concept de cette locomotive repose sur l'utilisation d'une turbine Pratt&Whitney généralement utilisée comme moteur d'avion dans les jets régionaux. Cette turbine remplace le moteur diesel pour la propulsion de deux alternateurs qui alimentent la chaîne de traction. Les essais du prototype ont été complétés en 2002 et la locomotive est présentement disponible comme modèle commercial.

La locomotive JetTrain a été développée à partir de la locomotive Acela dont elle retient la structure, la cabine et les bogies. Les éléments composant la chaîne de traction (moteur, alternateur, redresseur, onduleur) sont nouveaux à l'exception des moteurs de traction. Les onduleurs utilisent la technologie IGBT la plus récente. Puisque cette locomotive a été développée pour le marché nord-américain, elle rencontre déjà toutes les normes de sécurité

pour une vitesse d'exploitation inférieure à 241 km/hre. Elle rencontre également les normes de bruit.

Il n'y a présentement aucune expérience commerciale avec cette locomotive utilisant plusieurs concepts nouveaux pour le domaine ferroviaire. Cependant, l'utilisation de plusieurs systèmes déjà éprouvés sur la locomotive Acela facilitera sa fiabilisation.

Les voitures étant communes à celle du train Acela, nous en traiterons à la section suivante.

### **3.3.2 Acela**

Le train Acela a été développé par Bombardier et Alstom pour la société Amtrak pour le corridor « Nord-Est » entre Washington et Boston. La commande portait sur 20 rames composées de 6 voitures et de deux locomotives électriques. Le matériel roulant est en exploitation dans le corridor Nord-Est depuis 2001. Les locomotives sont conçues pour être utilisées à trois voltages, soit 25kV ou 12,5 kV à 60 Hz ou 11 kV à 25 Hz. Le matériel repose sur des concepts développés par Alstom pour le TGV et sur une technologie pendulaire développée par Bombardier. Les normes de sécurité de la FRA en matière de résistance à la compression et d'absorption d'énergie ont été intégrées au design.

La technologie pendulaire permet de partager la voie avec des trains de marchandises tout en permettant des vitesses d'exploitation atteignant 240 km/hre. Une rame de 6 voitures offre 309 places, soit 45 en première classe et 264 en deuxième classe. Les voitures sont adaptées pour les personnes handicapées, conformément à la réglementation ADA américaine. Les voitures sont climatisées et sont munies d'un système d'information pour les passagers et d'un système audio à chaque siège. Des repas et rafraîchissements sont servis en première classe et à la voiture bistro.

### **3.3.3 ICE T**

Le matériel roulant ICE T est le résultat de l'effort d'un consortium constitué de Bombardier, Alstom et Siemens. Quarante trois de ces rames automotrices à technologie pendulaire ont été construites et sont en service en Allemagne depuis 1999. Elle sont conçues pour une vitesse d'exploitation de 230 km/hre. L'utilisation d'un système pendulaire a permis d'augmenter la vitesse d'exploitation et de réduire les temps de parcours de 15 % à 20 % tout en améliorant le confort des passagers. Les rames utilisent une alimentation électrique par caténaire à 15 k, 16,7 Hz.

Les rames sont constituées de 5 ou 7 voitures, offrant respectivement 250 ou 381 sièges. Elles offrent une puissance de traction de 3 000 ou 4 000 kW, selon la configuration.

### **3.3.4 Pendolino**

Le matériel roulant Pendolino a été conçu par Fiat pour les chemins de fer italiens en 1988. Quinze rames ont alors été mises en service sous l'appellation ETR450. L'évolution de la technologie a par la suite donné naissance au ETR 460 utilisé en Italie, au S220 finlandais (utilisé ici comme modèle) et au ETR 470 Suisse. Ce matériel roulant pendulaire, de type rame automotrice électrique, est conçu pour une exploitation à une vitesse maximale de 250 km/hre. Les rames sont constituées de six voitures dont deux sont motorisées. Elles disposent d'une puissance de traction de 4 000 kW et sont alimentées à 25 kV, 50Hz à travers des onduleurs de type GTO. Le système pendulaire permet une inclinaison de 8 degrés, ce qui permet d'atteindre des vitesses de 30 % à 35 % supérieures à celles utilisées par des rames conventionnelles.

Les chemins de fer finlandais ont commandé leurs premières rames S220 en 1992. La seconde commande pour huit nouvelles rames, placée en 1997 comporte des modifications quant à l'aménagement intérieur. Les nouvelles rames offrent 309 places ainsi qu'un restaurant pouvant accueillir 22 personnes. Une troisième commande a été placée en 2002. Ce matériel roulant a donc fait ses preuves pour une exploitation dans un climat semblable à celui du corridor Montréal - New York.

### **3.3.5 Venturio**

Le matériel roulant Venturio est un concept développé par Siemens et un groupe britannique en vue du remplacement du matériel roulant de la série 125 en exploitation depuis le début des années 1970. Ce matériel n'est pas en exploitation commerciale. Le concept est basé sur une plateforme modulaire utilisant des concepts éprouvés, qui permettrait une exploitation en rames de 3 à 9 voitures. Il serait offert en technologie pendulaire ou non pendulaire et serait conçu pour une alimentation à des voltages de 15 ou 25 kV CA ou 3 kV CC. Il viserait le confort des passagers en offrant des services à bord tels qu'un bar et un casse-croûte.

### **3.3.6 Matériel retenu**

Le matériel roulant le plus intéressant dans la gamme de vitesse V2 est le JetTrain de Bombardier. Il est le seul permettant une vitesse d'exploitation supérieure à 200 km/hre sans nécessiter d'électrification de la voie. Sa technologie pendulaire permet l'utilisation des voies existantes et il rencontre les normes de sécurité lui permettant de partager la voie avec des trains de marchandise. Par contre, la fiabilité de la locomotive n'est pas encore connue.

La seconde technologie qui est la plus intéressante est celle du Acela, principalement en raison du fait qu'elle est déjà adaptée aux normes nord-américaines. De conception récente, ce matériel utilise des technologies modernes. Tout comme les autres technologies disponibles permettant une exploitation à 240 km/hre (mis à part le JetTrain) elle requiert cependant l'électrification de la ligne.

### **3.4 LE MATÉRIEL ROULANT DE LA GAMME V3**

#### **3.4.1 TGV**

Le premier TGV a été mis en service en 1981 sur la ligne Paris-Sud-est et le réseau TGV n'a pas cessé de s'étendre depuis ce temps. Le matériel roulant TGV a lui aussi évolué avec les années, tant dans la technologie utilisée que dans la configuration du matériel roulant. Le TGV offre donc une technologie fiable et éprouvée. Les rames TGV sont conçues pour des voies spécialement aménagées pour la haute vitesse où elles peuvent être exploitées à 300 km/hre. Elles peuvent également être exploitées à une vitesse maximale de 200 km/hre sur voie classique. Elles ne disposent pas de système pendulaire. Les rames sont alimentées à 25 kV, 50 Hz en ligne ou à 1,5 kV CC dans les gares. Les rames disposent d'une puissance de traction de 8 750 kW.

Les rames TGV sont constituées de 8 voitures et de deux locomotives. Elles offrent 403 sièges, soit 120 en première classe, 257 en deuxième classe et 25 strapontins. Les passagers ont accès à un bar, un service de restauration et à des espaces « famille ».

Le matériel AVE utilisé en Espagne est presque identique au TGV français. Il est également construit par Alstom avec un contenu espagnol.

#### **3.4.2 ICE 3**

Le matériel roulant ICE 3 a été développé pour les chemins de fer allemands et hollandais par un consortium constitué de Siemens et Bombardier et mené par Siemens. Le matériel est de type rame automotrice électrique avec un taux de motorisation de 50 %. Cette configuration permet d'atteindre des accélérations élevées au démarrage et une vitesse d'exploitation de 330 km/hre. La puissance de traction est de 8 000 kW par rame. Ce matériel peut être alimenté à différents voltages, selon les besoins de l'exploitant. Le matériel existant fonctionne à 25 kV et 15 kV CA et à 3 kV et 1,5 kV CC. Cinquante-quatre rames ICE 3 sont en exploitation en Allemagne et aux Pays Bas depuis l'an 2000.

Les rames sont constituées de 8 voitures et offrent 440 places. Un salon aménagé dans chacune des deux voitures de bout permet aux voyageurs d'avoir une vue à l'avant et à l'arrière du train. Plusieurs configurations sont disponibles pour l'aménagement intérieur. En fonction des besoins de l'exploitant, un service de restauration et différents services pour les voyageurs peuvent être aménagés.

#### **3.4.3 ETR 500**

Le matériel ETR 500 a été développé par un consortium formé de AD Tranz (aujourd'hui Bombardier), AnsaldoBreda et Fiat. Il est en exploitation en Italie depuis 1996. Les rames sont constituées de 8 à 11 voitures remorquées par 2 locomotives électriques alimentées à 25 kV, 50 Hz ou 3 kV CC et sont conçues pour une vitesse d'exploitation de 300 km/hre.

Une rame de 11 voitures peut recevoir 590 passagers en première ou deuxième classe. Les rames sont adaptées pour les personnes handicapées. Elles disposent d'une voiture restaurant de 30 places, d'un bar, de compartiments « affaire » et « famille » et d'un système audio à chaque siège.

#### **3.4.4 Matériel retenu**

Puisque le nombre d'arrêts sur le parcours Montréal-New York sera relativement faible, du matériel roulant de type TGV ou ETR 500 devrait être considéré. Le matériel de type ICE 3 pourrait être intéressant si des accélérations plus rapides sont requises (à la sortie des courbes par exemple) pour réduire le temps de parcours.

## **4. SIGNALISATION**

### **4.1 TECHNOLOGIES DE SIGNALISATION POUR LES VITESSES SUPÉRIEURES À 300 KM/H**

#### **4.1.1 Technologies existantes**

Seules deux systèmes de signalisation sont opérationnels à des vitesses commerciales à plus de 300 km/h : le système français TVM développé par CSEE (Groupe Ansaldo détenu par Bombardier), qui est en opération actuellement à 320 km/h et la signalisation japonaise du modèle « JR 500 », dont la vitesse de croisière est de 300 km/h, qui assure depuis 1997 le service entre Tokyo et Hakata.

Les deux systèmes utilisent le même type de technologies (information par circuits de voie) avec des paliers de vitesse et des longueurs de cantons différents. À noter également que dans le cadre du TGV Corée, le système TVM a été adapté pour prendre en compte la fréquence de l'alimentation électrique de 60Hz au lieu de 50 Hz sur le réseau français. Cette fréquence de 60 Hz correspond à la fréquence délivrée par les stations d'Hydro-Québec.

#### **4.1.2 Le système français TVM**

La TVM 430 est le système de signalisation qui équipe les lignes à grande vitesse françaises mises en service depuis 1993. Elle constitue une amélioration de la TVM 300 installée précédemment sur les lignes Paris-Sud-Est et Atlantique.

Les différents systèmes TVM a été implantés, moyennant quelques adaptations, sur de nouvelles lignes à travers le monde (Corée, Angleterre, Belgique) Ils ont prouvé leur fiabilité et leur excellente disponibilité.

##### **4.1.2.1 Description générale**

La TVM a été conçue pour permettre aux mécaniciens des trains à grande vitesse de ne pas observer les signaux latéraux. Elle est donc prévue pour équiper des lignes non dotées de signaux latéraux. La ligne est divisée en cantons de signalisation, de 1 500 m en moyenne. Chaque canton est signalé par un repère constitué par un voyant réflectorisé en polyester. En cabine, des afficheurs donnent au mécanicien la vitesse à respecter, ou la vitesse but à respecter avant le franchissement du prochain repère. Les taux de vitesse affichés clignotent lorsque la vitesse à respecter dans le canton aval est plus restrictive, de manière à permettre au mécanicien d'anticiper l'action de freinage et d'entrer dans ce canton avec les freins déjà serrés. Ainsi, l'information 270 clignotant indique d'une part au mécanicien qu'il doit entrer dans le canton suivant à une vitesse égale ou inférieure à 270 km/h, et que d'autre part, la vitesse à respecter à

la fin du canton suivant sera inférieure à 270 km/h. Il a ainsi été possible d'optimiser les longueurs des séquences de ralentissement.

Un système permanent de contrôle de vitesse agit directement sur le circuit de freinage du train en cas de dépassement de la vitesse de contrôle calculée. Un canton tampon a été conservé entre le repère où le train doit normalement s'arrêter et le point à protéger.

Des informations ponctuelles sont utilisées pour l'armement ou le désarmement de la TVM, pour transmettre les ordres de « couper courant », « baisser panto. », pour la sélection du canal radio sol - train à utiliser, pour contrôler ponctuellement la vitesse, etc.

#### 4.1.2.2 Description de la transmission utilisée

La TVM est un système de transmission continue d'informations entre la voie et les trains, utilisant comme moyen de transmission les circuits de voie type UM71. Les quatre fréquences de base de ces circuits de voie sont : 1 700, 2 000, 2 300 et 2 600 Hz.

Dans la TVM 300, ces quatre fréquences varient alternativement entre les valeurs  $F+10$  Hz et  $F-10$  Hz, à une fréquence pouvant varier entre 10,3 et 29 Hz. Cette fréquence de modulation peut prendre 18 valeurs différentes qui correspondent aux 18 informations pouvant être transmises.

Dans la TVM 430, pour augmenter le nombre d'informations possibles, le type de modulation a été modifié, tout en conservant le même type de circuits de voie et les mêmes fréquences de base. Il a été ainsi possible de réaliser un système autorisant la circulation des trains à 320 km/h avec un intervalle entre les trains de 3 minutes. Dans la TVM 430, la fréquence porteuse est modulée en fréquence par un signal constitué par la somme de  $n$  sinusoïdes de fréquences différentes,  $n$  pouvant prendre des valeurs comprises entre 1 et 27. La présence ou l'absence d'une de ces fréquences caractérise l'information à transmettre. La transmission a donc une capacité de 27 bits. 6 bits sont réservés à la protection de la transmission par codage, 3 bits caractérisent le nom du réseau utilisateur (ces 3 bits sont utilisés par exemple pour distinguer les codes utilisés par la SNCF et par EUROTUNNEL), 18 bits restant utilisables par chaque réseau pour transmettre la vitesse, la distance-but et les informations sur le profil de la voie. Sur la SNCF, l'utilisation de ces bits est la suivante :

- 8 bits pour la vitesse;
- 6 bits pour la distance-but;
- 4 bits pour le profil.

À partir de ces données, le calculateur embarqué de sécurité en déduit :

- la vitesse à afficher au conducteur et le clignotement éventuel des afficheurs lorsqu'une vitesse plus restrictive est annoncée;

- toutes les données nécessaires au calcul des courbes de contrôle de vitesse.

Dans la TVM 300 comme dans la TVM 430, ces informations continues transmises par les rails sont complétées par des informations ponctuelles. En TVM 430, ces informations ponctuelles sont émises par des boucles situées dans la voie pouvant transmettre 28 bits de données par sens de circulation.

#### 4.1.2.3 Équipements au sol

L'ensemble de l'appareillage est concentré dans des centres situés environ tous les 14 kms. Ces centres peuvent coïncider ou non avec des postes d'aiguillage. Les émetteurs et récepteurs de tous les circuits de voie de la ligne sont concentrés dans ces centres. Les trains ne pouvant capter le signal présent dans le courant du circuit de voie que s'ils se dirigent vers l'émetteur du circuit de voie, une commutation est prévue dans les centres TVM pour inverser si nécessaires émetteurs et récepteurs, en fonction du sens de circulation des trains.

Chaque centre TVM 430 comprend deux équipements constitués chacun de trois calculateurs. Deux calculateurs effectuent les traitements et élaborent les sorties vers les cartes d'émission des circuits de voie, tandis que le troisième calculateur, conçu suivant la technique du monoprocesseur codé, compare et valide en sécurité les sorties des deux premiers. Les deux équipements de chaque centre sont en redondance, ce qui permet un basculement rapide de l'un sur l'autre en cas de défaillance d'un équipement. Ces basculements sont immédiatement signalés au poste central afin qu'il alerte les services de maintenance. Les équipements actuels de TVM 430 ne traitent que la logique d'espacement des trains. Lorsque des fonctions d'enclenchement des itinéraires sont nécessaires, elles sont traitées par des postes type PRCI (postes à relais à commande informatique). Dans le cadre du projet TGV Méditerranée, une nouvelle génération d'équipement au sol dénommée SEI (Système d'Enclenchement Intégré) permet de traiter les fonctions d'enclenchement et d'espacements TVM 430.

#### 4.1.2.4 Équipements embarqués

Les trains sont équipés à l'avant du premier essieu, de capteurs d'informations continues situés au-dessus des rails. Les capteurs d'informations ponctuelles (TVM 430 et TVM 300) sont situés de part et d'autre de l'axe du train. Ces capteurs sont reliés à un calculateur qui réalise l'ensemble des traitements permettant d'élaborer en sécurité les informations affichées sur le pupitre du mécanicien.

Le calculateur effectue parallèlement un contrôle de la vitesse, fournit des informations complémentaires au train (baisser pantographe, couper courant, etc.), et commande un freinage d'urgence lorsque la vitesse du train est supérieure à la vitesse de contrôle.

Dans un but de disponibilité, les capteurs, la chaîne de traitement de l'information et l'affichage sont « redondés ». La redondance est de type active, c'est-à-dire que la mise hors service de

l'une de ces deux chaînes est automatique et ne perturbe pas le fonctionnement du reste du train.

#### 4.1.2.5 Le système SEI

Ce système est une évolution de la TVM 430 dont il reprend l'intégralité des fonctions : contrôle continu de vitesse et de l'espacement, affichage en cabine par transmission continue sol-bord. L'innovation est l'intégration des fonctions d'enclenchement au sein des calculateurs au sol.

Ce nouveau système, en intégrant les fonctions d'enclenchement, réduit considérablement les interfaces habituellement nécessaires entre les deux systèmes : l'ATP (« Automatic Train Protection ») d'une part, le poste d'enclenchement d'autre part, et permet ainsi de réduire fortement le coût et les risques associés aux projets.

Le nouveau calculateur de sécurité est réalisé en technologie numérique de type « 2 parmi 3 » dont la puissance et la rapidité des traitements ont été très significativement améliorées. L'efficacité des actions de maintenance a été renforcée par un système complet de mémorisation des « événements » et d'outils d'aide à la décision.

La possibilité de répartir les unités de gestion des interfaces près des points à contrôler (modules d'interfaces distantes) rend le système très adaptable aux différentes topologies de réseaux. Des outils informatiques de « génération de paramètres » permettent de générer automatiquement les paramètres de chaque sous-système, ainsi que les paramètres des outils de simulation et de tests. Cette gamme d'outils de configuration facilite grandement les travaux d'étude de signalisation et réduit ainsi l'effort et donc le coût des phases de tests en usine et sur le terrain.

Les fonctions réalisées peuvent être contrôlées à distance par le poste de commande centralisée ou par un pupitre de commande locale.

## 4.2 TECHNOLOGIES DE SIGNALISATION POUR LES VITESSES INFÉRIEURES À 240 KM/H

Beaucoup de systèmes différents sont actuellement en opération, et ce particulièrement en Europe. Ces systèmes sont définis en annexe 1.

Deux grandes familles de systèmes sont étudiés :

- le système LZB;
- les systèmes utilisant les balises et éventuellement des circuits de voie codés comme moyen principal de communication.

#### 4.2.1 Le système LZB

Le système de transmission voie-machine LZB est un système bidirectionnel Sol-train qui, à partir d'informations issues des postes d'aiguillage (occupation des cantons, état de signaux, etc.) et les caractéristiques de la ligne (vitesse limite, limitation temporaires de vitesses), transmet de manière continue au train la distance but, la vitesse but ainsi que les paramètres de freinage.

Il est actuellement installé sur plus de 2 000 kilomètres de voie, principalement en Allemagne sur les voies permettant de circuler jusqu'à 250 km/h. Depuis 1992, la liaison Madrid-Séville en Espagne est équipée de ce système.

Pour ce faire, le système utilise un câble en voie croisé tous les 100 m et alimenté par des émetteurs-récepteurs tous les 600 mètres. Ce câble peut constituer une gêne pour la maintenance de la voie et être détruit par une pièce traînante.

Pour ce qui est de la sécurité, le système est architecturé autour de 3 calculateurs, la sécurité étant obtenue par un vote 2 parmi 3. Ces calculateurs sont implantés dans des locaux climatisés et sont reliés aux postes d'aiguillages de la zone qu'ils gèrent.

Le système LZB est uniquement un système de transmission Sol train et doit donc être complété par des installations de détection des trains (circuits de voies) pour assurer la localisation sécuritaire des trains.

L'équipement embarqué LZB, composé essentiellement de trois calculateurs industriels identiques utilisant des programmes différents pour assurer à la fois la sécurité et la disponibilité, réalise divers traitements nécessaires à une double liaison (sol-mobile et mobile-sol). Il permet :

- d'élaborer des informations à transmettre à l'équipement « sol » (vitesse instantanée - position du mobile - Caractéristiques du train) pour la détermination d'une vitesse de consigne;
- de détecter les informations émises par le câble de voie et élaborées par l'équipement « sol » à partir de celles transmises par l'équipement « bord » pour :
  - afficher en cabine de conduite, à l'usage du conducteur, la vitesse but et la distance but;
  - réaliser un contrôle de vitesse à partir d'une vitesse de consigne définie par l'équipement « sol ».

Le dépassement de la vitesse de consigne de quelques kilomètres/heure provoque la cessation de l'effort de traction et le freinage d'urgence. Une alarme avertit le conducteur. Le système permet la localisation du train à 100 mètres près.

Les transmissions mobile-sol et sol-mobile sont des liaisons série à 600 et 1 200 bauds utilisant des porteuses à 56 et 36 KHz.

## **4.2.2 Les systèmes utilisant les balises et les circuits de voie comme principal moyen de communication**

### 4.2.2.1 Principes généraux

Les principes de conception de tous ces systèmes sont basés sur ceux utilisés par le système EBICAB qui a 18 années de services en suède et en Norvège, accumulant plus de 50 millions d'heures de service pour le matériel embarqué et 4 000 millions pour les balises. Le moyen principal de communication est une balise qui est également utilisé à la SNCF (KVB) et en Italie (BACC). Ce type de balise a été choisi comme le moyen de communication ponctuel du nouveau système interopérable européen (ERTMS) et est également utilisé par les systèmes ACSES et ASES aux États-Unis.

Les progrès technologiques ont permis d'augmenter le nombre d'informations transmises par les balises et d'améliorer les fonctionnalités embarquées (contrôle de vitesse, affichage au conducteur).

### 4.2.2.2 Derniers systèmes mis en service

Une nouvelle génération du système EBICAB a été réalisé pour les chemins de fer minéralier d'Hamersley en Australie et dans le nord de la suède en Janvier 1999 (L12000). Ce dernier comporte des fonctions de régulation.

Aux États-Unis, ATSS (AT Signal Sytem du Groupe Ansaldo appartenant à Bombardier) et Union Switch & Signals ont intégré à la signalisation de cabine existante utilisant des circuits de voie codée, les fonctions de contrôle des restrictions de vitesse et de supervision des limites d'autorité en ajoutant ces balises. Ce système ASES est opérationnel sur New Jersey Transit depuis 2001 et est compatible avec le système ACSES d'Amtrack développé par Alstom pour le corridor Nord Est pour des vitesses commerciales de 240 km/h. Le système ASES a néanmoins plus de fonctionnalités.

### 4.2.2.3 Information de ré-ouverture

L'inconvénient d'un système par balises est que par nature, il fonctionne avec des informations ponctuelles, même si la fonction de contrôle de la vitesse peut être réalisée de façon continue. En conséquence lorsqu'une information libératoire est présentée par le prochain signal, les courbes de freinage ne se lèveront qu'au franchissement du point d'information correspondant.

Plusieurs méthodes existent pour transmettre des informations de réouvertures :

- balises en amont du signal;
- Système de transmission continu par le rail superposé aux circuits de voie (version amélioré du KVB : KVB-P);

- circuit de voie codée (cas du système L10000 à Perth);
- radio (ACSES par exemple).

Le choix de la méthode dépend principalement du trafic. Si peu de trains circulent, il y a peu de probabilité qu'un train ne soit ralenti par une information de signalisation restrictive, conséquence de la présence d'un train en amont. Dans une telle configuration, une balise de réouverture judicieusement placée en amont de chaque signal peut s'avérer très efficace.

Pour éviter l'ajout des équipements pour les informations de réouverture, le système L10000 combine :

- l'avantage des informations continues par circuits de voie codés;
- l'avantage des balises qui permettent de transmettre de nombreuses informations indépendantes du train (distance but, pentes, courbes) ou des données propres à chaque type de train (restrictions de vitesse par exemple qui dépendent de la catégorie du train).

Le système L10000 intègre parfaitement les informations continues des circuits de voie codés et celles contenues dans les balises. Ces dernières contiennent les distances des blocs suivants (distance entre signaux). Le point limite d'avancement est déterminé par le biais de la valeur du code du circuit de voie. Une certaine fréquence indique qu'un seul bloc est libre, une autre que deux blocs sont libres, etc. Le système embarqué détermine à partir de ces deux informations la longueur de voie libre, calcule puis contrôle les courbes de freinage à respecter en fonction de la vitesse maximale de la ligne, des restrictions de vitesses, des caractéristiques de la ligne (gradient en particulier) et du train. Les données des restrictions de vitesses permanentes (valeur et position) sont contenues dans des balises fixes alors que les restrictions de vitesses temporaires le sont dans des balises temporaires.

Ces restrictions de vitesse temporaire peuvent également être transmises par radio au train avant son départ (cas du système ACSES).

#### 4.2.2.4 Principes utilisés pour les passages à niveau

Deux principes existent pour assurer la sécurité des passages à niveau sur les lignes avec circulation ferroviaire de l'ordre de 200 km/h.

- En Suède le train n'est autorisé à franchir le passage à niveau que lorsque le passage à niveau est fermé et qu'aucune voiture n'est présente sur la voie. Par conséquent, sur ces lignes, le passage à niveau reste longtemps fermé.
- Sur le réseau d'Amtrak, l'allocation de voie est donnée une fois qu'il est détecté que les barrières commencent à descendre et qu'aucun obstacle ne va les empêcher de fermer.

Aucun système n'est actuellement en application permettant d'assurer la sécurité au passage à niveau (pas d'obstacle sur le passage à niveau) tout en ayant des temps de fermeture constant. Pour réaliser ce système, il faudrait un lien de communication continu entre le train et le passage à niveau.

Des tests ont néanmoins démontré la faisabilité d'un tel système (ELSIE d'Alstom présenté en Juin 2001 par exemple). Comme indiqué dans le chapitre traitant des exigences FRA, les règles d'approbation des passages à niveau entre 176 km/h et 200 km/h ne sont pas définies.

#### 4.2.2.5 Choix du système considéré

Les systèmes de type suédois, en particulier combinant informations de circuits de voie codés et information de balises, seront considérés dans la suite de l'étude en raison du coût moindre (le système LZB est plus coûteux que le système TVM au kilomètre) et qu'une telle technologie est utilisée aux États-Unis (systèmes ACSES et ASES).

Néanmoins, il faut noter le système LZB est également conçu pour gérer des circulations différentes (trains rapides et train de ligne classiques). Les vitesses limites sont en effet calculées par le sol en fonction des caractéristiques du train.

#### 4.2.2.6 Les systèmes futurs

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

- aux États-Unis, entre autres, du programme NAJPTC (North American Joint Positive Train Control) financé conjointement par l'AAR, le FRA et l'Illinois qui a pour objectif de développer les standards américains en implémentant un système de contrôle commande pour des trains à grande vitesse entre Mazonia et Springfield dans le corridor Chicago-Saint Louis;
- en Europe du système ETCS (European Train Control System) qui se décline en trois niveaux de fonctionnement. L'interopérabilité des trains est obtenue en standardisant les fonctions embarquées, les messages entre le sol et le train, les balises et le système par radio utilisant le GSM-R.

Le niveau 1 est implanté en superposition à la signalisation latérale. La détection de présence des trains est réalisée au sol. Les autorisations de mouvement sont transmises à bord du train en utilisant des transmissions ponctuelles sol-train (EUROBALISE) liées à la signalisation latérale, avec éventuellement un système de réouverture par balise ou par boucle de courant. Le bord est équipé d'un contrôle de vitesse de sécurité et d'une signalisation de cabine.

Le niveau 2 est implanté en superposition à une signalisation existante ou seul. Les autorisations de mouvement sont transmises à bord du train en utilisant une transmission continue sol-train par radio (GSM-R). Les centres de traitement au sol attribuent aux trains des autorisations de mouvement correspondant à un certain nombre de cantons fixes en utilisant les dispositifs de détection de présence des trains en voie. Le bord est équipé d'un contrôle de vitesse de sécurité et d'une signalisation de cabine. Les trains se localisent par eux mêmes à l'aide d'une odométrie embarquée faisant appel à des balises de recalage implantées en voie.

Le niveau 3 est implanté seul au sol, sans superposition à une signalisation existante. Comme pour le niveau 2, les centres de traitement au sol utilisent la même transmission continue sol-train par radio (GSM-R). Ils attribuent des cantons fixes ou mobiles et utilisent la localisation fournie par les trains pour connaître l'occupation des voies. Le bord est équipé d'un contrôle de vitesse de sécurité et d'une signalisation de cabine. Par ailleurs, les trains sont équipés d'un système de contrôle d'intégrité.

Bombardier Transport a livré le premier système de contrôle ferroviaire et de signalisation par radio au monde fondé sur la norme ERTMS/ETCS (European Rail Traffic Management System/ European Train Control System) niveau 2. Il gère et commande tout le trafic ferroviaire sur la ligne qui relie Olten et Lucerne, en Suisse. Le système ETCS commande 35 kilomètres de double voie où circulent entre 120 et 140 trains par jour. Grâce au système de transmission par radio GSM-R, les signaux optiques ne sont plus nécessaires. Les Chemins de Fer Fédéraux suisses (CFF) ont effectué la mise en service commercial complet du système en avril 2002.

Ces systèmes ne sont pas encore opérationnels aux vitesses considérées dans l'étude (200 km et plus). Ils n'ont donc pas été sélectionnés. Néanmoins, de tels systèmes seront certainement en exploitation lors du lancement de l'appel d'offres pour la réalisation de la ligne à grande vitesse entre Montréal et New York. Il y aura alors certainement lieu de les prendre en considération.

## **5. TÉLÉCOMMUNICATION**

### **5.1 EXIGENCES GÉNÉRALES**

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

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

Les principaux besoins en communication concernent donc :

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

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

Les systèmes de télécommunication doivent assurer :

- la transmission de la voix (phonie);
- la transmission de données.

## **5.2 REVUE DES TECHNOLOGIES ACTUELLES**

### **5.2.1 Technologie filaire**

Pour ce qui concerne la technologie filaire, la technologie des télécommunications a fortement évoluée durant les dernières années et s'est traduite par une baisse des coûts très importante. Tous les chemins de fer se sont orientés vers l'utilisation de la transmission par fibre optique enterrée ou même mieux aérienne dans le cas de voies électrifiées. La fibre optique sera retenue pour toute transmission entre deux points fixes.

### **5.2.2 Radio-télécommunication**

La radio analogique a atteint ses limites dans ce contexte et il ne fait plus l'objet de développement de la part des industriels. Le standard analogique qui n'est pas remis en cause aujourd'hui offre des capacités suffisantes pour des services de base et des structures de faibles importances. Cependant, l'interopérabilité et la portabilité entre les constructeurs est quasi inexistante. À ce stade du projet il ne peut être déterminé si le réseau actuelle pourra supporter les différentes exigences.

Les technologies radio sont en train de franchir une étape. L'avènement du numérique est porteur de promesses intéressantes. L'usage et les fonctionnalités attendus d'un réseau radio vont croissants (voix, données, images fixes et animées, couverture homogène, qualité de transmission, temps d'accès).

Si il ne l'était pas, différentes normes de radio numérique sont opérationnelles (ou en cours de test) et pourrait être installé. Il s'agit en particulier :

- de la norme américaine APCO25 ratifiée en 1995;
- du GSM-RAIL construit autour de la norme GSM;
- de la norme européenne Tetra (Terrestrial Trunked Radio) qui ratifiée en 1995 est en phase stabilisée. Elle est actuellement ratifiée par 85 organisations issues de 29 pays.

#### **5.2.2.1 Le GSM-Rail**

L'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) a fait du GSM-Rail une norme spécialement dédiée aux transports ferroviaires européens. Ce système est développé par le consortium Morane, dans le cadre du projet EIRENE.

Il est en phase d'élaboration depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1996, et principalement développé par la SNCF, la Deutsch Bahn (DB) et la Ferrovie dello Stato (FS). Actuellement 32 organisations ferroviaires, principalement européennes se sont engagées dans le développement de cette technologie.

En France, la première ligne sur laquelle le GSM-R sera exploitée sera la future LGV Paris-Strasbourg. Le GSM-R devra être fonctionnel sur cette ligne durant l'année 2004. Par la suite, RFF (réseau ferré de France) prévoit la mise en service progressive du réseau GSM-R sur toutes les lignes de train actuellement couvertes par le réseau Radio Sol Train à raison d'environ 2 000 km par année jusqu'en 2010.

Basé sur la norme radio GSM, GSM-Rail s'est vu greffer de nouvelles fonctionnalités. Celles-ci recouvrent entre autres :

- la conversation de groupes;
- les appels en diffusion;
- les appels préemptifs;
- les transmissions de données en mode paquets;
- les systèmes d'authentification du matériel et du personnel.

Les caractéristiques systèmes principales sont les suivantes :

- bande de fréquence : de l'ordre de 900 Mhz;
- largeur de bande des porteuses : 200 kHz;
- débit de donnée maximal de 9,6 kbit/s.

#### 5.2.2.2 Tetra

Les services liés à la phonie permettent d'envisager toutes les configurations possibles pour les conversations individuelles et de groupe, en assurant, de plus, un duplex intégral pour les conversations individuelles.

Les caractéristiques système principales sont les suivantes :

- bandes de fréquence standardisées : 380-400 MHz et 410-430 MHz et 450-470 MHz;
- largeur de bande des porteuses radio : 25 kHz;d
- ébit de transfert de données maximal en mode circuit : 7,2 kbit/s.

Actuellement dans sa phase 1, TETRA propose des services Voix et de Données. Le débit maximal de transfert de données en mode circuit est cependant relativement faible (7,2 kbit/s). Il devrait augmenter lors du développement du mode de transmission par Paquet prévu dans les versions futures.

## **6. ÉLECTRIFICATION**

### **6.1 CHOIX**

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

Comme la majorité des lignes nouvelles à travers le monde, la ligne Montréal-Deux-Montagnes est, depuis 1996, électrifiée avec une telle tension. La compatibilité avec la ligne de Deux-Montagnes orienterait vers une électrification en 25 kV monophasé 60 Hz avec cependant des alternatives à la conception du système, en fonction de contraintes environnementales ou de maintien des alimentations, qui ne remettent pas en cause cette compatibilité. En particulier, les problèmes éprouvés par les riverains de cette ligne montrent qu'un système en 2\*25Kv s'avère nécessaire pour limiter les perturbations électromagnétiques.

Certains réseaux européens ont mis au point le système 15 Kv 16 2/3 Hz qui pouvait être utilisé pour alimenter directement des locomotives sans problèmes de commutation. Ce système, principalement utilisé dans les pays germaniques, a forcé les chemins de fer à créer et à exploiter un réseau à une fréquence différente de celle utilisée dans l'industrie.

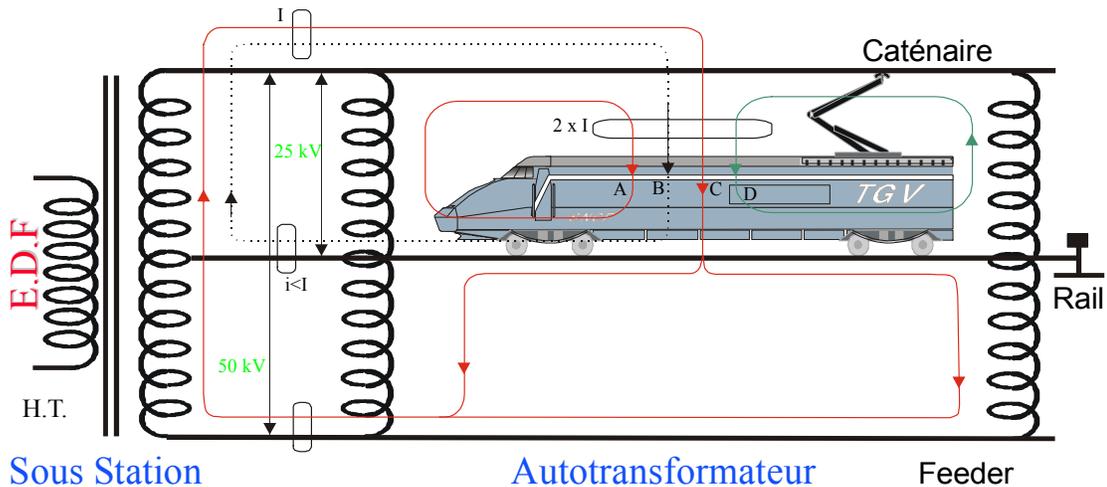
Il est conseillé d'appliquer le système 2\*25KV plutôt que le système 1\*25 KV .

### **6.2 PRINCIPE ET AVANTAGES DU SYSTÈME 2\*25 KV**

À partir du transformateur principal de la sous station dont le secondaire possède un point milieu, cette solution permet d'avoir un système de transmission d'énergie à 50 kV. Celui-ci est formé à partir de la caténaire et d'un conducteur appelé « feeder », situé sur l'emprise des chemins de fer. La caténaire et le feeder situés sur la même voie sont soutenus par le même poteau.

La ligne de transmission ainsi formée est couplée électriquement à la boucle caténaire-rail via les autotransformateurs dont la fonction est de transformer cette double tension (50 kV) en 25 kV et en courant utilisable par les engins moteurs de traction. Ce système est compatible avec le 1x25 kV.

## 2 x 25 kV Système Autotransformateur - Principe d'alimentation



Dans cette hypothèse, la longueur de la section de ligne à électrifier permet de projeter l'implantation d'une sous station toutes les 50 kilomètres, le système 2 x 25 kV permettant de minimiser les problèmes de chute de tension principalement dans la section à voie unique .

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

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

## **7. CONCLUSION**

Les choix qui ont été énoncés à chacune des sections de ce rapport représentent à notre avis les meilleures options pour la partie québécoise du trajet Montréal-New York. Ils pourraient s'avérer différents lorsqu'une analyse pour l'ensemble du parcours sera effectuée. Les informations reçus à ce jour concernant l'étude relative à la portion américaine du parcours ne nécessitent pas présentement de remise en question de ces choix. Ils seront donc repris lors des étapes ultérieures de l'étude.

---

Annexe 1

**PRINCIPAUX SYSTÈMES DE CONTRÔLE DE  
VITESSE, DE COMMANDE DES TRAINS ET  
D'ANNONCE POUR DES VITESSES  
SUPÉRIEURES À PARTIR DE 200 KM/H**

## **PRINCIPAUX SYSTÈMES DE CONTRÔLE DE VITESSE, DE COMMANDE DES TRAINS ET D'ANNONCE POUR DES VITESSES SUPÉRIEURES À PARTIR DE 200KM/H**

Cette annexe présente les principaux systèmes de contrôle de vitesse, de commande des trains et d'annonce en cabine dans le monde.

### **A.1 BACC**

#### **A.1.1 DESCRIPTION**

Le BACC est installé sur toutes les lignes aptes à plus de 200 km/h du réseau FS ainsi que sur d'autres lignes, ce qui représente la plupart des lignes envisagées pour l'interopérabilité.

Le système est constitué de circuit de voie codés classiques qui fonctionnent sur deux fréquences pour prendre en compte deux classes de trains. Les équipements embarqués sont informatisés.

La transmission des données entre les circuits de voie codés et l'équipement embarqué se fait par des antennes de captage à couplage inductif au-dessus des rails.

#### **A.1.2 CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES**

La transmission des données aux trains s'effectue avec :

- une fréquence porteuse 50 HZ :
  - taux de vitesse à modulation AM;
  - 5 taux de vitesse;
- fréquence porteuse 1 78 Hz :
  - taux de vitesse à modulation AM;
  - 4 taux de vitesse supplémentaires;
- deux catégories de train sont prises en compte par les équipements du bord (taux de vitesse depuis le sol);
- affichages en cabine :
  - vitesse correspondant au taux de vitesse;
  - aspect du signal (1 parmi 10);
- Surveillance :
  - vitesse (continue);

- point d'arrêt;
- réaction : freinage d'urgence en cas de dépassement de vitesse.

## **A.2 EBICAB 700 ET 900, L10000**

### **A.2.1 DESCRIPTION**

Ce sont des systèmes de contrôle de vitesse, sécuritaire, normalisés en Suède, en Norvège, au Portugal et en Bulgarie. Des logiciels identiques en Suède et en Norvège permettent l'interpénétration sans changement de conducteur ou de locomotive malgré des systèmes et des règles de signalisation différentes.

Le système consiste en un équipement « sol », balises et codeurs de signaux ou communication série avec la commande électronique d'enclenchement d'itinéraires, et en un équipement « bord » informatisé.

La transmission des données se fait entre des balises en voie passives (2 à 5 par signal) et une antenne embarquée, installée sous caisse, qui alimente également la balise lors de son franchissement. Le couplage entre la balise et le bord est inductif.

Le système Ebicab 900 consiste en un équipement «sol», balises et codeurs de signaux ou communication série avec la commande électronique d'enclenchement d'itinéraires, et en un équipement « bord » informatisé. La transmission des données se fait entre des balises en voie passives (2 à 4 par signal) et une antenne embarquée.

### **A.2.2 CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES**

- Téléalimentation des balises :
  - 27,115MHz;
  - modulation d'amplitude pour les impulsions d'horloge;
  - fréquence d'impulsion 50 kHz;
- Transmission des données aux trains :
  - 4,5 MHz;
  - 50 kbits/s;
  - 12 bits utiles sur un total de 32 bits;
- Chaînage :
  - les signaux sont chaînés raccordés;

- les panneaux (panneaux d'avertissement et de vitesse) ne sont pas nécessairement chaînés, une proportion de 50 % de balises non chaînées est acceptable pour la sécurité intrinsèque;
- Caractéristiques du train pouvant être entrées par le conducteur :
  - vitesse maximale train;
  - longueur du train;
  - caractéristiques de freinage du train;
- Affichage en cabine :
  - vitesse de ligne autorisée;
  - vitesse-but;
  - préannonces sur buts secondaires pour la signalisation « distance restante » ou la signalisation « taux de vitesse », 5 cantons peuvent être surveillés;
  - limitations de vitesse au-delà du premier signal;
  - temps avant intervention du freinage de service, 3 avertissements;
  - défauts des équipements « sol » ou « engin »;
  - valeur du dernier retard;
  - pression dans la conduite générale et vitesse instantanée;
  - informations contenues dans la dernière balise franchie;
  - vitesse de ligne autorisée, selon la capacité de survitesse de la voie et les performances du véhicule ou selon le respect de vitesses limitées pour des trains particuliers;
- Surveillance :
  - vitesse de la ligne autorisée selon la vitesse maximale de la voie et les performances du véhicule ou selon le respect de vitesse limitée par l'occupation des voies;
  - des limitations de vitesse permanentes, temporaires et d'urgence peuvent être mises en application avec des balises non chaînées;
  - point d'arrêt;
  - profil dynamique du freinage;
  - passages à niveau et état des détecteurs d'éboulements sur la voie;
  - manœuvres;
  - protection antidérive;
  - antipatinage;

- autorisation de franchissement d'un signal d'arrêt, surveillance à 40 km/h jusqu'au signal d'arrêt suivant.
- Réaction :
  - avertissement acoustique dans le cas d'un déplacement de vitesse excédant 5 km/h; freinage de service dans le cas d'un dépassement de vitesse excédent 10 km/h. Le frein de service peut être désactivé par le conducteur une fois la vitesse revenue dans les limites autorisées. Ebicab assurera un freinage suffisant quelle que soit l'action du conducteur. Le freinage d'urgence est utilisé seulement en urgence réelle, par exemple si le freinage de service n'est pas suffisant Désactivation du frein d'urgence une fois la rame à l'arrêt;
- Options mises en œuvre :
  - système de cantonnement radio;
  - communication descendante train-voie;

## **A.3 KVB**

### **A.3.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE**

Système de contrôle de vitesse standard en France sur le réseau SNCF. Techniquement similaire à Ebicab. Partiellement installé sur les lignes à grande vitesse pour certaines transmissions ponctuelles et pour la surveillance de limitations de vitesse temporaires quand les taux de vitesse ne sont pas fournis par les codes TVM.

### **A.3.2 DESCRIPTION TECHNIQUE**

La transmission des données se fait entre des balises de voie passives (2 à 9 par signal) et une antenne à bord montée sous caisse qui téléalimente la balise au passage. Le couplage entre la balise et le bord est inductif. La transmission de données est également utilisée pour transmettre des informations ne se rapportant pas au contrôle de vitesse (portes, canaux radio, etc.).

Les principales fonctions réalisées par le système sont les suivantes :

- collecte des données depuis les équipements de signalisation, et transmission via les balises;
- acquisition, à bord, de la vitesse issue du tachymètre;
- mémorisation de toutes les données liées aux caractéristiques du train;
- calcul permanent en temps réel de la vitesse de contrôle du train;
- déclenchement de l'alerte en cas de survitesse;
- déclenchement du freinage d'urgence en situation anormale;

- réception de données supplémentaires pour des motifs d'exploitation (canaux radio, ouverture des portes, etc.).

Les balises ne sont pas alimentées en énergie électrique depuis le sol. Elles reçoivent leur énergie par le champ magnétique à 27 MHz émis en permanence par les antennes des locomotives. Lorsque les balises reçoivent ce champ à 27 MHz, elles émettent en retour vers l'engin leurs données, sous forme d'une modulation d'une porteuse à 4,3 MHz.

Il existe trois types de balises :

- les balises à informations variables, reliées à un codeur, réalisant l'interface entre le signal et la balise;
- les balises fixes, transmettant des informations telles que la distance-but, le gradient ou le taux de limitation de vitesse. Ce type de balise est utilisé en particulier en cas de limitation temporaire de vitesse (LTV) due à des travaux;
- des balises marqueurs, utilisées en seconde position lorsque le volume d'information à transmettre n'aurait nécessité qu'une seule balise. En effet, pour sécuriser le message transmis et pour détecter le sens de circulation concerné, il y a toujours au moins deux (et parfois beaucoup plus) balises par point d'information.

### **A.3.3 DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU KVB**

Le contrôle de vitesse par balises (KVB) a pour rôle de constituer une protection automatique de la sécurité des circulations, en cas de non observation par le mécanicien de la signalisation.

Le KVB n'est donc pas un système de signalisation à proprement parler, et est conçu pour être aussi transparent que possible en cas de conduite normale du mécanicien.

On peut distinguer quatre fonctions assurées par le KVB :

- le contrôle de la vitesse maximum du train;
- le contrôle d'arrêt;
- le contrôle de ralentissement;
- l'information de préannonce.

#### **A.3.3.1 Le contrôle de la vitesse maximum du train**

Cette vitesse est la plus faible de plusieurs vitesses limites à respecter : vitesse limite du train, vitesse plafond de la ligne, vitesses limites liées à la voie (courbes, tunnel, aiguilles, chantier de voie, zone de gare, etc.). Pour cela, le calculateur embarqué compare en permanence la vitesse réelle et les différentes données connues ou transmises périodiquement à l'engin moteur par des balises situées dans la voie. En cas de dépassement de plus de 5 km/h de la vitesse maximale à

respecter, une alarme apparaît. Si la vitesse dépasse de plus de 10 km/h cette vitesse maximale, le freinage d'urgence est déclenché, jusqu'à arrêt complet du train.

### **A.3.3.2 Le contrôle d'arrêt**

Au droit de chaque signal d'espacement, des balises transmettent au train les indications de vitesse à respecter au droit du signal suivant (vitesse but), ainsi que la distance séparant ce signal du suivant (distance but). Si le signal suivant est fermé, le calculateur embarqué du KVB calculera la courbe de décélération à respecter, compte tenu des performances de freinage du train, pour assurer que le train respecte bien l'arrêt à la distance but. Deux courbes sont ainsi calculées : une courbe d'alerte et une courbe de freinage d'urgence. Si le mécanicien ne ralentit pas suffisamment son train, dès le franchissement de la courbe d'alerte, une alerte lui sera donnée, puis, s'il ne réagit toujours pas, le freinage d'urgence se déclenchera de façon irréversible jusqu'à l'arrêt du train, en cas de franchissement de la courbe de freinage d'urgence.

### **A.3.3.3 Le contrôle de ralentissement**

Pour des raisons diverses (courbes, franchissement d'aiguilles en déviation, travaux), des limitations de vitesse permanentes ou temporaires peuvent être prescrites au mécanicien, en certaines zones. En général, le signal ou le tableau indiquant le début de la zone de ralentissement est précédé d'un tableau indicateur de vitesse à distance. La fin de la zone de ralentissement est signalée par un panneau de reprise. Toutes ces indications sont transmises au calculateur de bord par des balises, afin de lui permettre de contrôler que le train respecte bien la limitation prescrite.

### **A.3.3.4 L'information de préannonce**

Afin d'autoriser certains trains à rouler au dessus de 160 km/h sur les lignes classiques équipées de la préannonce, le KVB est utilisé pour transmettre en cabine l'information « B » indiquant au mécanicien qu'il est autorisé à rouler à 200 ou 220 km/h, et qu'il doit observer la signalisation de préannonce.

## **A.4 LZB**

### **A.4.1 DESCRIPTION**

Système de commande des trains installé en Allemagne sur toutes les lignes parcourables à plus de 160 km/h (jusqu'à 250 km/h). Le LZB est également installé sur certaines lignes en Autriche et en Espagne.

La partie « voie » du système comprend les dispositions suivants :

- adaptation aux systèmes d'enclenchements d'itinéraires et transmission des données correspondantes;
- traitement des données et IHM au centre LZB;
- transmission de données de/vers les autres centres LZB;
- système de transmission de données de/vers les trains.

La transmission de données entre le sol et le bord se fait au moyen de boucles de câble inductives et d'antennes à ferrite embarquées.

#### **A.4.1.1 Caractéristiques principales**

- Transmission des données aux trains :
  - 36 kHz  $\pm$  0,4 kHz (modulation FSK);
  - 1 200 bits/s;
  - 83,5 bits par télégramme;
- Transmission des données depuis les trains :
  - 56 kHz  $\pm$  0,2 kHz (modulation FSK);
  - 600 bits/s;
  - 41 bits par télégramme;
- Caractéristiques du train pouvant être entrées par le conducteur :
  - longueur du train;
  - vitesse maximale du train;
  - caractéristiques de freinage du train (pourcentage de freinage et régime de freinage)
- Affichages en cabine :
  - mode de fonctionnement en vigueur, état de la transmission de données;
  - vitesse maximale autorisée/vitesse effective sur un indicateur de vitesse à deux aiguilles;
  - vitesse-but;
  - distance-but;
  - indications auxiliaires;
- Surveillance :
  - vitesse de ligne autorisée (vitesse maximale, ralentissements temporaires et permanents);

- vitesse maximale du train;
- point d'arrêt;
- sens de marche;
- profil dynamique de la courbe de vitesse;
- fonctions auxiliaires, par exemple descente du pantographe;
- Réaction :
  - freinage d'urgence en cas de violation de la loi de surveillance du mouvement. Le freinage d'urgence en cas de sur-vitesse peut être désactivé une fois la vitesse revenue dans les limites autorisées;
  - la DB utilise le système comme une commande automatique des trains tout à fait pertinente du point de vue de la sécurité, la signalisation latérale n'est pas nécessaire. Lorsqu'une signalisation latérale existe en raison de trains non équipés, ses signaux ne sont pas valides pour les trains sous LZB. Le LZB est normalement connecté à la commande automatique de traction et freinage.

## **A.5 TBL 1/2/3**

### **A.5.1 DESCRIPTION**

La TBL est un système de contrôle de vitesse partiellement installé sur les lignes du réseau belge (actuellement 1 200 balises et 120 équipements embarqués TBL1, 200 balises et 300 équipements embarqués TBL2). Toutes les lignes parcourues à plus de 160 km/h sont équipées de la TBL2.

Le système est constitué d'une balise en voie installée à chaque signal et d'un équipement embarqué. La TBL1 est un système d'avertissement, la TBL2/3 est un système de signalisation en cabine. Pour la TBL2/3, il y a des balises de réouverture (in-fil), et une boucle de câble de réouverture est également disponible.

La partie « sol » est appelée TBL 2 en cas d'interface avec des enclenchements à relais et TBL3 en cas d'interface série avec des enclenchements à commande électronique.

L'équipement embarqué est appelé TBL2. Il comprend les fonctions TBL2, TBL1.

La transmission des données se fait entre la balise active et un ensemble embarqué d'antennes de captage à couplage inductif. Le système tient compte du sens de marche, les balises sont montées entre les rails avec un léger décalage par rapport à l'axe.

### **A.5.2 CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES**

- Transmission des données aux trains :
  - 100 kHz  $\pm$  10 kHz (modulation FSK);
  - 25 kbits/s;
  - 119 bits utiles par télégramme pour la TBL2/3;
  - 5 données décimales utiles sur 40 bits par télégramme pour la TBL1;
- Caractéristiques du train entrées par le conducteur (TBL2) :
  - longueur du train;
  - vitesse maximale du train;
  - caractéristiques de freinage du train (poids freiné, type de train, isolements, autres paramètres spécifiques);
  - sélection de la langue, paramètres d'identification;
- Affichages en cabine :
  - vitesse maximale (courbe de freinage);
  - vitesse-but;
  - distance-but;
  - vitesse du train;
- Surveillance :
  - vitesse de ligne autorisée;
  - limitations de vitesse (permanentes et temporaires);
  - limitations particulières aux trains de fret et autres;
  - point d'arrêt;
  - profil dynamique de la courbe de freinage;
  - sens de marche;
  - vigilance du conducteur;
  - fonctions auxiliaires (pantographe, commutation radio);
- Réaction :
  - avertissements acoustiques et optiques;
  - freinage d'urgence en cas de violation de la loi de surveillance du mouvement ou si le conducteur n'acquiesce.

## **A.6 TVM**

### **A.6.1 DESCRIPTION**

La TVM est installée sur les lignes à grande vitesse de la SNCF. L'ancienne version TVM 300 est installée sur la ligne Paris-Lyon (LGV-SE) et sur les lignes Paris-Tours/Le Mans (LGV-A). La version suivante TVM 430 est installée sur la ligne Paris-Lille-Calais (LGV-N), sur la partie SNCF vers Bruxelles, sur la ligne Lyon-Marseille/Nîmes (LGV-Méditerranée) et dans le tunnel transmanche. La TVM 430 est compatible avec la TVM 300.

La TVM 300 et la TVM 430 sont basées sur des circuits de voie codés servant aux transmissions continues et sur des balises ou des boucles inductives (type KVB ou TBL) pour les transmissions ponctuelles.

La transmission des données entre les circuits de voie codés et l'équipement embarqué se fait au moyen d'antennes de captage à couplage inductif au-dessus des rails.

### **A.6.2 CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES**

- Transmission des données aux trains via les circuits de voie :
  - différentes fréquences porteuses (1,7 – 2,0 – 2,3 – 2,6) kHz;
  - codes de vitesse à modulation FSK 18 taux de vitesse (TVM 300);
  - 27 bits (TVM 430);
- Transmission des données aux trains par boucles inductives :
  - TYM 300: 14 fréquences (1,3 à 3,8 kHz);
  - TVM 430: signal à modulation PSK, 125 kHz, 170 bits;
  - Caractéristiques du train introduites à bord sur les locomotives des rames tractées empruntant le réseau Eurotunnel (pas sur les rames TGV où des valeurs fixes sont utilisées);
- Affichage en cabine :
  - taux de vitesse associés aux aspects des signaux lumineux;
- Surveillance :
  - vitesse (continue);
- Déclenchement du freinage basé sur :
  - une courbe en marches d'escalier pour la TVM 300;
  - une courbe parabolique pour la TVM 430;

- point d'arrêt;
- Réaction :
  - freinage d'urgence en cas de dépassement de vitesse.

## **A.7 ATC DU SHINKANSEN**

Le système installé sur les voies du Shinkansen au Japon utilise les mêmes principes que le système TVM. Les paliers de vitesse, les longueurs des cantons et la technologie utilisée sont légèrement différents car ils ont été adaptés au matériel utilisé.

## **A.8 SYSTÈME ASES**

Aux États-Unis, ATSS (AT Signal System du Groupe Ansaldo appartenant à Bombardier) et Union Switch & Signals ont intégré à la signalisation (contrôle de vitesse en pallier) de cabine existante utilisant des circuits de voie codée, les fonctions de contrôle des restrictions de vitesse et de supervision des limites d'autorité en ajoutant ces balises. Ce système ASES sera opérationnel sur l'ensemble du réseau de New Jersey Transit pour des vitesses allant jusqu'à 200 km/h. Une grande partie est déjà équipée du système de contrôle de vitesse par pallier et l'implantation des balises se poursuit.

Deux contrôles de vitesse sont en fait réalisés en parallèle : un premier (contrôle de la vitesse maximale, voir description du KVB) en fonction de l'information de vitesse limite reçues des circuits de voie et un deuxième (contrôle d'arrêt et de ralentissement, voir description du KVB) qui contrôle que le train peut respecter le point limite d'avancement et les restrictions temporaires de vitesse reçues par les balises.

Les technologies utilisées sont dérivées du système EBICAB.