

La PENDULATION

POUR LES CLIENTS

Plus rapide et plus confortable :

La «**PENDULATION**» permet d'augmenter la vitesse sur les lignes classiques sans que les voyageurs ressentent les effets désagréables des accélérations latérales.

Plus attentives : les essais qui ont eu lieu à l'automne 1998 furent essentiellement axés sur le confort physiologique des voyageurs afin de leur éviter tout «mal des transports» sur les éventuels trains pendulaires français.

Plus respectueux de l'environnement : le système de pendulation, en permettant l'augmentation de la vitesse sur les lignes classiques, pourrait éviter à l'avenir et dans certains cas la réalisation de nouvelles infrastructures.

FICHE TECHNIQUE

Rame 101 (1ère classe) dotée d'un système de pendulation et dont la motorisation a été réduite d'un tiers

Tensions Nominale :

25 kV/50 Hz, 1500 V continu.

Puissance :

4300 kW sous 25 kV, 3600 kW sous 1500 V.

Vitesse expérimentale maximum :

Autonome 260 Km/h, 300 Km/h tractée par un autre TGV, (DT en tête ou en queue), Équipée de la TVM 430 et du frein HP

Insuffisance de dévers maximum :

300 mm

Inclinaison des caisses :

6°3, Longueur : 200,190 m,

Masse en ordre de marche :

311 T

Aménagement du démonstrateur :

Une voiture laboratoire, un espace conférence, une voiture-exposition, un bar, 177 places assises en 1ère classe.

Mise en service commercial de la rame 101 en 1985.

Début des essais du démonstrateur :

6 avril 1998. Constructeur de la rame 101 Alstom.

Étude des modifications :

Direction du Matériel et de la Traction de la SNCF.et Alstom.

Réalisation des modifications :

Établissement Industriel du Matériel de Bischheim.

Fournisseurs :

Alstom (bogies) FIAT FERROVIARIA (pendulation).

Notions Mécaniques sur la PENDULATION

Le voyageur installé dans un véhicule circulant en courbe ressent une force qui le porte vers l'extérieur c'est **la force centrifuge**.

Pour atténuer les effets de la force centrifuge, on donne à la file de rails du côté extérieur de la courbe : une surélévation, c'est le « **dévers** », indispensable pour :

- Limiter l'inclinaison des véhicules vers l'extérieur liée à la souplesse de leur suspension,
- Limiter le déséquilibre des voyageurs et préserver leur confort.

Ce dévers ne peut toutefois dépasser certaines limites car certains véhicules, locomotives, voitures ou wagons, risqueraient alors, par excès de dévers, de verser en passant à faible vitesse ou a fortiori lors d'arrêt dans les courbes.

Il en résulte dans un train de voyageurs, au-delà d'une certaine vitesse, une sensation d'inconfort liée à ce que l'on appelle

« **Insuffisance de dévers** ».

Aussi, à l'instar d'une moto qui se « couche » dans les courbes, a-t-on eu l'idée d'une technique particulière « la pendulation » qui, en accentuant l'inclinaison des voitures dans les courbes, permet de prendre celles-ci à plus vive allure avec un bon niveau de confort pour les voyageurs. L'accroissement de quelques degrés (jusqu'à 6° environ) de l'inclinaison des voitures dans les courbes est obtenue grâce à des vérins actionnés dès la détection d'une courbe: diverses techniques de détection et de commande d'inclinaison sont possibles, soit totalement à bord du train, soit partagées entre le bord et le sol.

Comme on le voit, plutôt que de parler de train pendulaire, il est plus exact d'employer le terme « **système pendulaire** », associant le matériel roulant, la voie sur laquelle il circule (caténaire, et pantographe, si la voie est électrifiée, car la pendulation génère des problèmes spécifiques pour le captage du courant et les installations de signalisation et de transmission qui permettent le dialogue entre tous les composants du système.



• fig 1	• fig 2	• fig 3
<ul style="list-style-type: none"> • Sous l'influence de la force centrifuge, les voyageurs sont tirés vers l'extérieur de la courbe ce qui diminue leur confort 	<ul style="list-style-type: none"> • A vitesse élevée et malgré le dévers de la voie, les voyageurs sont encore tirés vers l'extérieur de la courbe, c'est la notion d'insuffisance de dévers. 	<ul style="list-style-type: none"> • Avec le même dévers initial, la technique du pendulaire permet d'augmenter la vitesse, les voyageurs sont plus confortablement assis.

Alors que dans un train classique, lorsque celui-ci circule en courbe (fig 1 et 2), le voyageur subit une part notable de la force centrifuge (celle-ci n'est pas compensée par le dévers), dans un train pendulaire (fig3), l'habitacle s'incline et cette poussée devient plus faible; le confort des voyageurs s'en trouve amélioré et la vitesse est plus élevée en courbe.

Le démonstrateur TGV pendulaire P01

Telle est l'appellation officielle de la rame TGV PSE, prototype réalisé à partir de la rame n°101 ex 1 ère classe, par l'EIM de Bischheim et les constructeurs Alstom (1) et Fiat Ferroviaria. Sous la pression des industriels et des politiques, tant au niveau régional que national, la SNCF fut invitée par son Ministère de tutelle à présenter des matériels automoteurs, dont un TGV, équipés de système de pendulation, seul engin d'avenir, dans l'esprit de certains, capable de rouler à grande vitesse, sans devoir construire d'infrastructures nouvelles. C'est donc dans le cadre du programme PREDIT (Programme de Recherche et de Développement pour l'Innovation Technologique des transports terrestres), qu'a été décidée, en mars 1996, cette réalisation. D'un montant de 170 M de francs, financé par l'État à hauteur de 31 MF, par le constructeur Alstom pour 84 MF et par la SNCF pour 55 MF, celle-ci mettant également à disposition la rame à transformer.

(1) De la séparation du britannique GEC et du français Alcatel Alsthom, se recentrant sur leurs métiers d'excellence, naît la société ALSTOM sans le H qui est introduit en ce même temps à la bourse de New York et de Paris le 22 juin 1998.

La SNCF a pris en charge les études générales et le suivi du projet, ainsi que la transformation et l'intégration des éléments nouveaux, qui ont demandé quelques 30 000 heures de travail.

Alstom a réalisé les deux nouveaux types de bogies pendulaires (ceux des RI et R8, et les bogies inter-caisse avec anneau d'intercirculation) et les systèmes de contrôle et de commande qui y sont associés, en s'appuyant en première étape sur la technologie développée par le constructeur italien.

Une deuxième étape reposera sur une technologie entièrement développée et brevetée par Alstom.

Comme le PO1 se voulait être une rame de faisabilité, sans recherche de performance particulière, il avait été convenu dès l'origine du projet de ne pas motoriser les bogies des RI et R8, ce qui aurait compliqué les choses et aurait fait monter la facture.

De même les motrices ne recevront pas de système de pendulation.

Le 2 juin 1997, la rame TGV PSE n°101 est rentrée à l'EIM de Bischheim.
Elle en ressortira 10 mois plus tard métamorphosée en TGV P01

Durant les travaux, à l'automne 1997 des essais eurent lieu sur la rame 100. Ceux-ci avaient pour but de tester le comportement d'une rame circulant avec une puissance permanente réduite d'un tiers (isolement des blocs moteurs des premières remorques) et corrélativement, le boostage des quatre blocs moteurs restants, à 450 kW par bloc sous 1,5 kV

Des marches destinées à évaluer l'échauffement des moteurs et le comportement des convertisseurs statiques eurent lieu.

La motrice 2 fut envoyée au banc de suspension du centre d'essais de Vitry afin d'évaluer l'influence de la mise en place de barres anti-roulis, prévues d'être installées sur les motrices du démonstrateur, privées de pendulation.

En mars 1998 la nouvelle rame est prête après avoir subi bon nombre de transformations.

Les nouveaux bogies sous les RI et R8, ne sont plus que porteurs et équipés d'une traverse de pendulation.

La puissance globale de la rame est ramenée à 4400 kW sous 25 kV; de ce fait les essais à V300, sans pendulation, ne pourront se faire qu'en double traction (en tête ou en queue) avec un autre TGV (Réseau ou Duplex).
En solo la vitesse est limitée à 220 km/h.

Les motrices reçoivent donc sur leurs bogies des barres anti-roulis raidissant ainsi la suspension, afin de limiter l'inclinaison des caisses dans les courbes pour pouvoir respecter les conditions de captage des pantographes sans modification.

Le premier bogie de chaque motrice reçoit également, un gyroscope accéléromètre, asservi au sens de circulation, afin de détecter l'entrée en courbe de la rame.

Chaque motrice reçoit, à la place de l'armoire du BM3 déposée, des tiroirs calculateurs permettant de traduire les ordres à envoyer.

La TVM 430 est installée ainsi que le frein HP avec des disques de frein (pleins type TGV-A).

Les cabines reçoivent de nouveaux sièges avec accoudoirs, adaptés à des conditions de conduite plus sévères (une vitesse, jusqu' à 220 km/h avec des insuffisances de dévers pouvant atteindre 260 mm, crée des accélérations transversales atteignant 2,5 à 3 m/s²).

Une caméra est installée sur le lanterneau de chaque motrice afin d'observer la tenue du pantographe.

Enfin des voyants, indicateurs d'état de fonctionnement du système, dispositif de mise en service, et compteur de vitesse numérique prennent place autour du pupitre de conduite.

Les remorques sont équipées de nouveaux bogies porteurs, dérivés des Y 231 d'origine, comportant une traverse mobile recevant la suspension secondaire pneumatique, sur laquelle agissent deux vérins hydrauliques, avec le système Fiat, assurant ainsi l'inclinaison des caisses.

Des traducteurs d'angle « Kinax » sont disposés sous les caisses de chaque voiture ainsi que les centrales hydrauliques.

Les traverses peuvent s'incliner de 6,3° par rapport au châssis de bogie, ce qui correspond à une inclinaison caisse/voie de 5° pour une insuffisance de dévers de 260 mm. L'accélération non compensée est alors de 0,8 m/s².

Une barre anti-roulis est également installée dans chaque bogie. Les anneaux ont dû être modifiés;

- En partie inférieure par adjonction de supports devant recevoir l'attache, d'un amortisseur transversal, et celle de la barre anti-roulis.
- En partie supérieure, pour le dispositif anti-gîte, afin de permettre une inclinaison entre caisse de 3,5°.

Le système d'entraînement bogie/caisse a été adapté à l'inclinaison des caisses.

N'étant qu'une adaptation sur un matériel existant, l'ensemble des remorques se trouve ainsi 60 mm plus haut que les motrices (à observer sur les photos).

L'ensemble de la rame a subi d'importantes modifications de câblage.

- La remorque R1 a été aménagée en laboratoire,
- la R2 en salle de réunion/conférence,
- la R3 en voiture d'exposition occasionnelle,
- quant à la R8 elle tenait lieu de dépôt de matériel et a reçu un groupe électrogène dans la partie fourgon, afin de rendre autonome les appareils de mesures.
- Les autres remorques ont conservé l'aménagement d'origine, avec décoration modernisée en 1987 (siège en tissu).

Enfin une nouvelle livrée, signée Roger Tallon, est appliquée. A dominante gris argent, encadré de bleu nuit pour les hauts et bas de caisse, les trumeaux rouges, ainsi que les inscriptions de grande taille, soulignent le caractère particulier de la rame.

Après de nombreux essais à poste fixe, à compter de fin janvier 1998, la validation de la rame à 160 Km/h s'est effectuée entre Strasbourg et Mulhouse le 11 mars.

Avant de rejoindre son dépôt d'attache, Villeneuve, par la ligne 1 du réseau Est le 31 mars, elle a été équipée de toute l'instrumentation de laboratoire.

Après avoir ralliée Lille par ligne classique le 1er avril, elle a effectué le lendemain, en double traction avec une rame Réseau, 2 aller-retours Lille-Calais par LGV, pour validation à 300 km/h.

Mais les essais de pendulation ont commencé à compter du 6 avril, sur les 36 km de la ligne peu fréquentée et tourmentée de la rive droite de la Seine entre Melun et Montereau via Héricy. Sept marches quotidiennes s'effectuaient en moyenne à des vitesses comprises entre 120 et 160 km/h (la vitesse maxi de la ligne est comprise entre 110 et 120 km/h).

Toutefois une interruption fut nécessaire pour modifications et adaptations, du système de commande-contrôle, propre à une rame articulée (nombreuses modifications apportées aux bogies, ainsi qu'aux liaisons bogies/caisses).

Après une reprise des essais sur le même parcours durant une dizaine de jours, le P01 s'est rendu fin mai sur la ligne Brive-Cahors, qui a connu auparavant d'autres essais de pendulation de matériel étranger.

A raison de deux allers-retours journaliers, des vitesses de 135 km/h étaient couramment réalisées, au lieu des 110 autorisées de la ligne.

Remontant un peu sur Paris, des vitesses progressives jusqu'à 185 km/h ont été enregistrées entre Limoges et Argenton sur Creuse où la vitesse plafond est de 160 km/h. Après un bref passage par sa première ligne d'essais de la vallée de la Seine, il fut immobilisé durant toute la période de la coupe du monde de football.

Après retour sur ses deux lignes de prédilection à la mi-juillet il pris ses quartiers d'été en août à son dépôt d'attache, qu'il quittera en septembre pour participer à l'exposition de Bercy du 10 au 13.

Départ ensuite sur les lignes de Chambéry-Ambérieu pour affronter des courbes de $400\text{ m} < r < 600\text{ m}$ puis Chambéry - St Jean de Maurienne avec des courbes de $600\text{ m} < r < 900\text{ m}$ et enfin Albertville-Bourg st Maurice avec courbes de $300\text{ m} < r < 900\text{ m}$, afin d'homologuer la rame au plan dynamique en charge normale (fatigue de la voie, qualité de marche...). Des marches avaient été tracées à des vitesses supérieures à celles de ces lignes sans toutefois dépasser 160 km/h, de manière à obtenir des insuffisances de dévers comprises entre 165 à 300 mm, valeurs bien supérieures à la norme de 160 mm et exceptionnellement 180 mm.

Avant son départ pour Berlin dans le cadre du congrès Eurailspeed (28 octobre au 1er novembre), il circula entre Angoulême et Libourne (courbes de $1000\text{ m} < r < 2000\text{ m}$) où il a atteint la vitesse de 255 km/h.

En novembre, de retour dans le Limousin et le Quercy, il entama une série de marches consacrées à l'étude de la CINETOSE (confort physiologique des voyageurs).

De retour sur les lignes des Alpes, en cette fin d'année 98, il repris son programme d'homologation. La campagne d'essais du DTPI (**D**émonstrateur **I**GV **P**endulaire **P01**) s'acheva fin janvier 1999 par quelques présentations.

Durant cette première période d'essais, après un certain nombre de problèmes de jeunesse, et ceux relatifs aux nombreux réglages optimaux **(1)**, le système de commande de CID (Correction d'Insuffisance de Dévers) a répondu en partie à ce que l'on pouvait en attendre.

(1) Le Système Fiat est adapté pour des voitures à bogie, et non pour une rame articulée comme un TGV: Il a donc fallu l'adapter.

De retour à Bischheim en février 1999 le P01, a subi le démontage complet du système de commande de la pendulation Fiat (vérins, circuits hydrauliques...) et à l'installation en remplacement sur les mêmes bogies, d'un système Alstom, comportant des actionneurs électriques (issus de la technologie équipant le canon des chars Leclerc).

Prêt en début juillet avec son tout nouvel équipement, permettant un gain important de masse et de volume, il prit la dénomination de DTP2 sans modification d'inscriptions.

La deuxième phase d'essais qui débuta le 12 juillet a permis, de mesurer rapidement, une fiabilité accrue du nouveau système, sur les sites parcourus lors de la première campagne.

C'est aussi durant celle-ci, qu'un pantographe monté sur une remorque, a été testé avec un système de contre-pendulation pneumatique géré par informatique, ainsi qu'un système de mémorisation des lignes parcourues.

Fin juin 2000 l'ensemble des essais sont achevés.

De retour à Bischheim début Juillet, le P01 va de nouveau se métamorphoser, telle une chrysalide, pour revêtir la nouvelle robe bleue et gris Atlantique des TGV/PSE, recevant à cette occasion une rénovation 2.

La vocation du futur matériel découlant de ce démonstrateur, est de desservir les lignes à grande vitesse à 300 km/h, sans penduler, et de circuler jusqu'à 220 km/h avec la pendulation en service sur les lignes qui les prolongent. Chose réalisée actuellement sur Bordeaux, sur Nantes, sur Rennes... sans pendulation.

A un coût estimé entre 60 et 120 millions de F (9 150 000 € à 18 300 000 €) la minute gagnée, pour une rame pendulaire, dans le cas où la vitesse dépasse 160 km/h,

Le JEU en vaut-il la CHANDELLE ??? L' AVENIR le DIRA !!!



Les trains pendulaires à 200 km / h en Europe

Les matériels à pendulation active se sont développés tout d'abord en Italie, dès les années 1970, puis au Canada, avant de s'étendre dans d'autres pays d'Europe au début des années 1990.

Pendant la même période, les réseaux japonais, entre autres, ont développé des matériels pendulaires sur voies étroites (1067 mm) et sinueuses à des vitesses ne dépassant pas la plage 130/160 km/h.

L'émergence de la nécessité de disposer de matériels pendulaires en France pour la desserte notamment des lignes mixtes TGV/classiques et celle des lignes classiques nationales a tout d'abord incité la SNCF à étudier les solutions retenues par ses confrères.

Dans le domaine des automotrices électriques à grande vitesse (200 km/h) actuellement en service et pouvant être acquises sur le marché européen, l'analyse a porté sur les matériels suivants :

- La famille des ETR de troisième génération - dérivés de l'ETR 450 mis en service en Italie à partir de 1968 et qui constitue la flotte exploitée la plus importante, présente des caractéristiques proches de celles recherchées pour le réseau ferroviaire français, permettant des vitesses de 200 à 250 km/h.

Déjà en circulation en France, entre Modane et Lyon, leur composition est réalisée à partir d'ensembles de 3 véhicules (2 motrices et 1 remorque, toutes pendulaires) formant des ensembles de 6 ou 9 caisses offrant jusqu'à 474 places assises (ETR460).

- L'X 2000, mis en service en Suède depuis 1990 et récemment en Norvège, et son dérivé l'X 2-2 présentent une composition différente (1 motrice non pendulaire avec 3, 4 ou 5 remorques) et peuvent offrir jusqu'à 400 places en unité multiple. Ils disposent d'une puissance disponible moins importante autorisant une vitesse maximale de 210 km/h et sont alimentés en 15 kV-16^{2/3} Hz uniquement.

Leur transposition au réseau français nécessiterait des adaptations importantes. En effet, le gabarit des réseaux nordiques est nettement plus généreux que le gabarit UIC.

Deux matériels similaires sont commandés par d'autres réseaux européens: les automotrices Rail 2(XX) des CFF (200 km/h, 465 places) et les ICT de la DB (230 km/h, 380 places), L'IC 2000 espagnol. Ils seront mis en service commercial dans les deux ans qui viennent.



Les études sur la pendulation à la SNCF

Des controverses tournent autour de la position de la SNCF vis-à-vis du pendulaire.

Cette position doit être recentrée :

- d'abord, par rapport à une contre-vérité, selon laquelle "la SNCF ne s'est jamais intéressée au pendulaire,
- ensuite, par rapport aux critères objectifs du choix du TGV,
- enfin, par rapport aux choix des autres réseaux ferroviaires.

" La SNCF ne s'est jamais intéressée au pendulaire " : une contre-vérité.

Dès la fin de la dernière guerre, en 1947, les ingénieurs de la SNCF ont conçu et testé, à partir d'une voiture de série, un compartiment à suspension pendulaire dans le but d'améliorer le confort des passagers lors des circulations à 160 km/h ; cette expérience leur a permis de relever divers problèmes liés à la stabilité du véhicule (risques de basculement en courbe) et aux efforts latéraux exercés sur la voie.

A la suite de cette première expérience, une voiture prototype pendulaire dite "**de Chartet**" a été construite en 1956 par les ateliers SNCF de Quatre-Mares d'après les études de la direction du Matériel et de la Traction de l'époque; celle-ci avait mis au point un bogie spécifique, susceptible d'être utilisé comme bogie d'automoteur et doté de ressorts en hélice, ainsi qu'une caisse très spéciale à bien des points de vue : sa forme ovale, le recours à des amortisseurs hydrauliques, une charpente en alliage léger pour limiter son poids à 37 tonnes...

Lors de ses premiers essais, cette voiture a atteint la vitesse de 140 km/h dans des courbes de 485 m de rayon, sur une ligne autorisée à 100 km/h.

Ses études conduiront ensuite la SNCF à commander les voitures du Capitole prédisposées pour la pendulation ; deux d'entre elles reçurent d'ailleurs un équipement de Compensation d'Insuffisance de Dévers (CID) qui leur permit d'atteindre 200 km/h au lieu de 160 entre Château-Thierry et Épernay.

La poursuite des études sur le pendulaire sera consacrée à leur application à la grande vitesse et, en juillet 1969, la SNCF commandera deux rames expérimentales à turbines à gaz ; elles devaient permettre une expérimentation complète à grande vitesse de la tenue sur voie, de la résistance à l'avancement, du confort (particulièrement en courbe), de l'adhérence...

Ces deux rames devaient être différentes :

- la première, le TGV 001, sans pendulation, a donné naissance à l'actuelle génération de trains en grande vitesse,
- la seconde, le TGV 002, devait recevoir un système de pendulation. Elle ne verra jamais le jour.

Mais à l'époque, les études sur la version pendulaire sont allées très loin.



voiture Chartet

Trains pendulaires dans le Monde

Dès les années 1970, la pendulation a séduit l'Italie avec le **Pendolino** de Fiat Ferroviaria, l'Espagne en 1972 avec le **Talgo Pendular** à inclinaison naturelle (système passif).

- 1982 le Canada avec des voitures pendulaires LRC construites par Bombardier, utilisées dans le corridor Ontario Québec.
- 1990 le train suédois ABB, inauguré entre Stockholm et Malmö.
- 1992 mise en service de l'automoteur VT 610 en Allemagne,
- 1995 les Finlandais ont introduit le Pendolino et envisagent de créer une liaison Helsinki et Saint-Petersbourg,
- 1996 nouvelles liaisons en Allemagne et extension du réseau Italien vers la Suisse.
- 1996 choix des États-Unis en avril pour équiper la liaison Boston Washington avec un train qui associe la pendulation Bombardier et une chaîne de traction de type TGV.

Les réseaux japonais sont entrés dans l'ère du pendulaire depuis les années 1980 : JR Shikoku, JR Hokkaido, JR Central et JR Kyushu qui exploitent aujourd'hui des matériels pendulaires sur des voies étroites 1067mm et sinueuses.

Matériels ITALIEN :

- **ETR 450** : pendulaire de la deuxième génération, de 5 à 11 véhicules par rame; Mise en service en 1988-1990, vitesse maximum 250 km/h, constructeur Fiat Ferroviaria.
- **ETR 460** : pendulaire de la troisième génération, 9 véhicules (6 motrices et 3 remorques). Mise en service de 1994 à 2000, vitesse maximum 250 km/h, constructeur Fiat Ferroviaria.
- **ETR 470** : petit frère blanc et bleu pour la liaison Italo-Suisse, 9 véhicules (6 motrices et 3 remorques). Mise en service 1996/1997. Vitesse maximum 200 km/h, constructeur Fiat Ferroviaria.

Matériels ALLEMAND :

- **VT 610** : un automoteur allemand à l'italienne, rame de 2 véhicules. Mise en service 1992, dérivée des ETR 450. Vitesse maximum 160 km/h, constructeur MAN, MBB, Duewag (caisse) Siemens AD Tranz (électrique).
- **VT 611** : plus puissant que le VT 610 type de pendulation de la troisième génération italienne ETR 460. Mise en service en 1996. Constructeur AD Tranz DWA.
- **IC NEITECH** : un ICE qui pendule rame de 7 véhicules (2 motrices 5 remorques). Mise en service 1997. Vitesse maximum 230 km/h. Constructeur Siemens.
- **S 220** : latter ego de l'ETR 460 automotrice avec toutes les voitures caisses pendulées, rame de 6 véhicules (4 motrices et 2 remorques). Vitesse Maximum 220 km/h. Constructeur Fiat Ferroviaria.

Matériels ESPAGNOL :

- **Talgo Pendular** : représentant du système passif par inclinaison naturelle, roues libres à changement d'écartement automatique, rame de 13 voitures. Mise en service en 1981. Vitesse maximum 180 km/h.
- **InterCity 2000** : pendulaire Fiat circulant en Espagne, rame de 3 voitures, système de pendulation identique à l'ETR 460. Mise en service en 1997. Vitesse maximum 220 km/h.

Matériels SUEDOIS :

- **X2000** : rame automotrice pendulaire sur les remorques, rame de 6 véhicules (1 motrice et 5 remorques dont une pilote) le nombre de remorques peut varier suivant la composition de la rame, système actif par vérins sur suspension primaire. Mise en service en 1990-1994. Vitesse maximum 210 km/h. Constructeur ABB.
- **X2-2** : cousin de l'X2000 rame courte de 4 véhicules (1 motrice et 3 véhicules). Mise en service en 1994-1996. Identique que l'X2000 pour la pendulation et la vitesse ainsi que le constructeur.

Matériels AMERICAIN :

- **AMERICAN FLYER** (Franco Canadien) : premier TGV pendulaire, rame automotrice comprenant 2 motrices encadrant 6 remorques inclinables. Mise en service en 1996. Vitesse maximum 240 km/h. Constructeur GEC Alstom et Bombardier.

Matériels JAPONNAIS :

- **Série N 2000** : version rajeunie de la série 2000, automoteur pendulaire (voie métrique), rame de 2 véhicules moteurs. Mise en service en 1995. Pendulation active par mécanisme hydraulique. Vitesse maximum 130 km/h.
- **Série 8000** : un pantographe qui contre pendule, rame automotrice de 5 véhicules dont 2 motrices, ou 8 véhicules et 3 motrices. Mise en service en 1994. Vitesse maximum 160 km/h. Pendulation active (mécanisme hydraulique) commandé par micro processeur, contre-pendulage par câblage lié au bogie du chariot - pantographe.

Matériels CANADIENS :

- **LRC** : (Léger, Rapide, Confortable) circule au CANADA. Rame tractée pouvant avoir jusqu'à 10 voitures inclinables (pendulation active) et pouvant être encadrées de deux locomotives.
 - Mise en service en 1981.
 - Vitesse maximum 170 km/h (conçu à l'origine pour 200 km/h)
 - Le constructeur est Bombardier.

Ce train est exploité par VIA RAIL Canada depuis plus de 20 ans, il est intéressant de noter que VIA RAIL assure la liaison Montréal Toronto avec des rames LRC tractées par des locomotives diesel, une meilleure moyenne commerciale qu'AMTRAK avec ses ACELA électriques.