

Les trains à grande vitesse: TGV, AGV, trains pendulaires

Marcel Miller
15 février 2008

TRANSPORT |

ALSTOM

Agenda

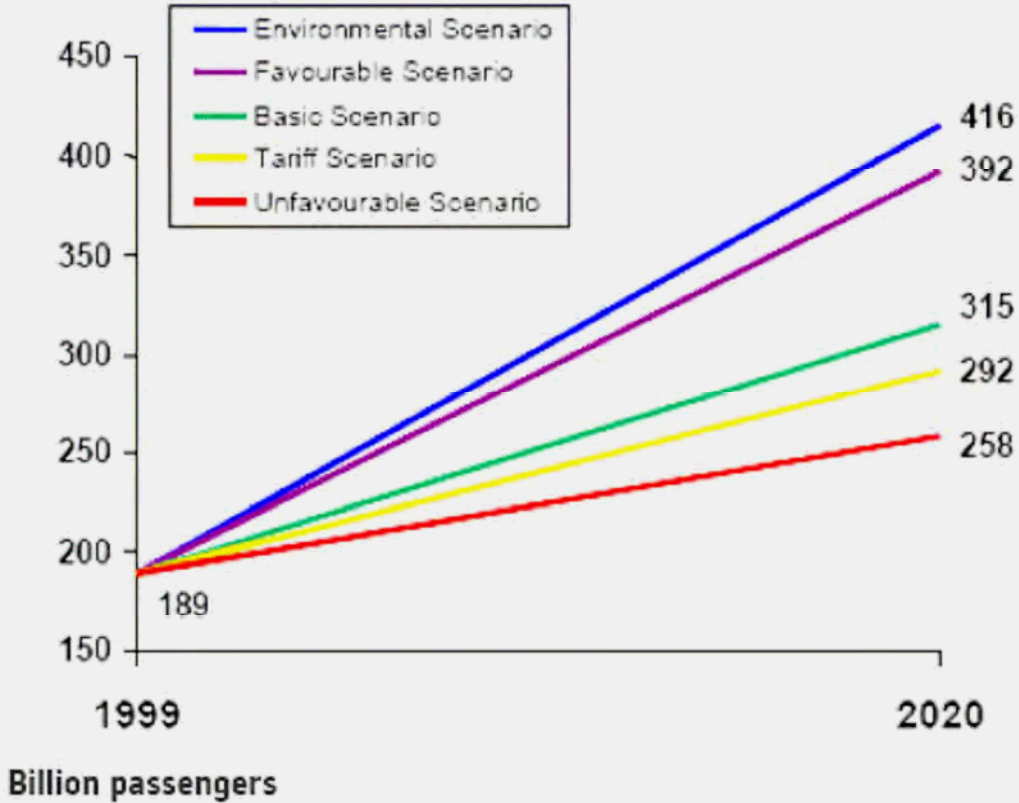
Le marché de la grande vitesse

Du TGV à l'AGV

Les trains pendulaires

Tendances des grandes lignes

3% passenger increase worldwide per year



Source: UIC

TRANSPORT

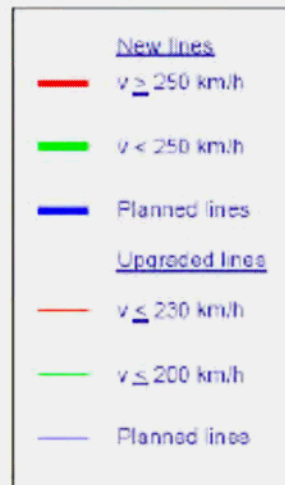


Lignes grande vitesse en Europe en 2020

2006: 3000 Km → 2020: 9000 Km

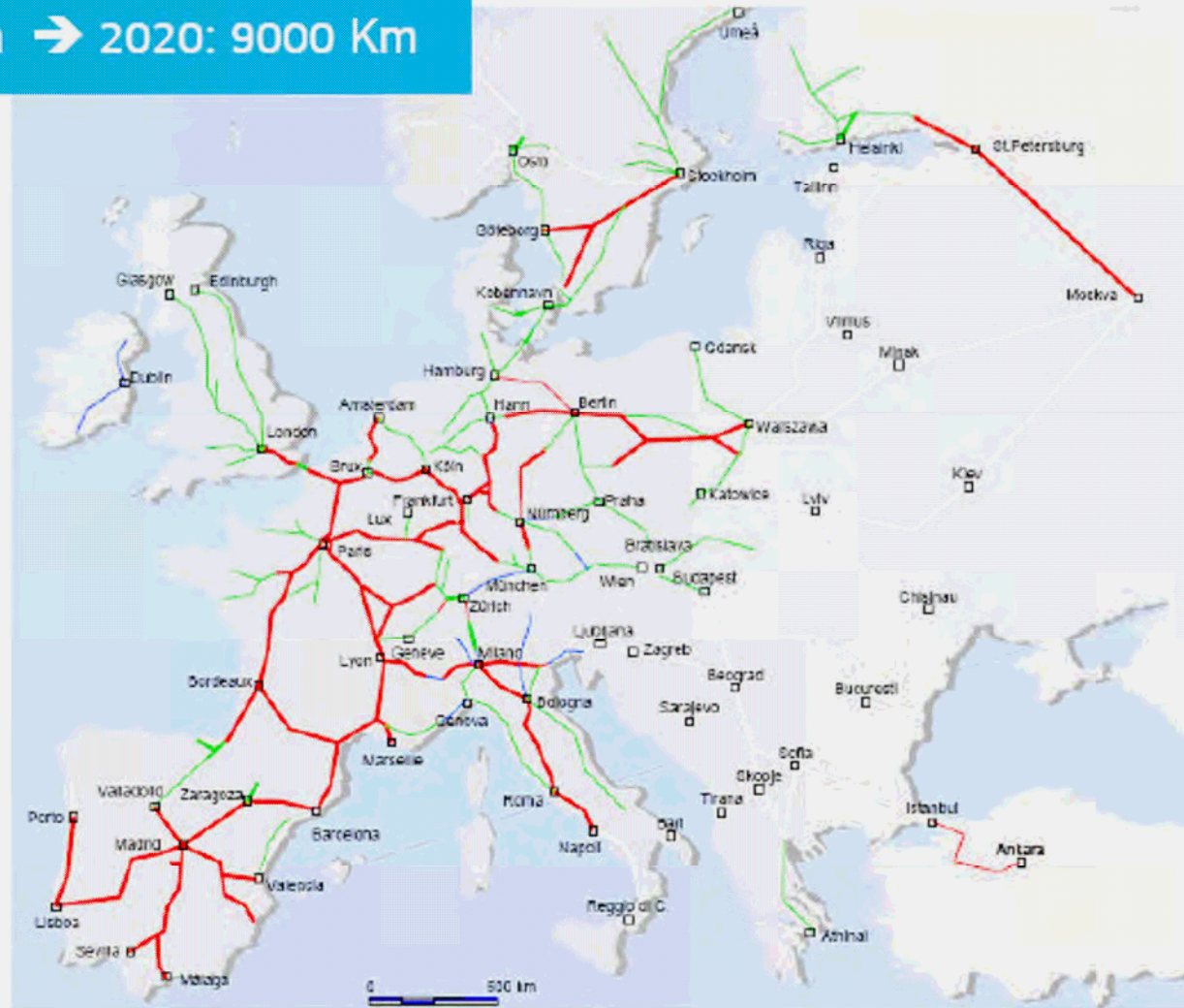
European HS Network

Forecast for 2020



Information given by the Railways

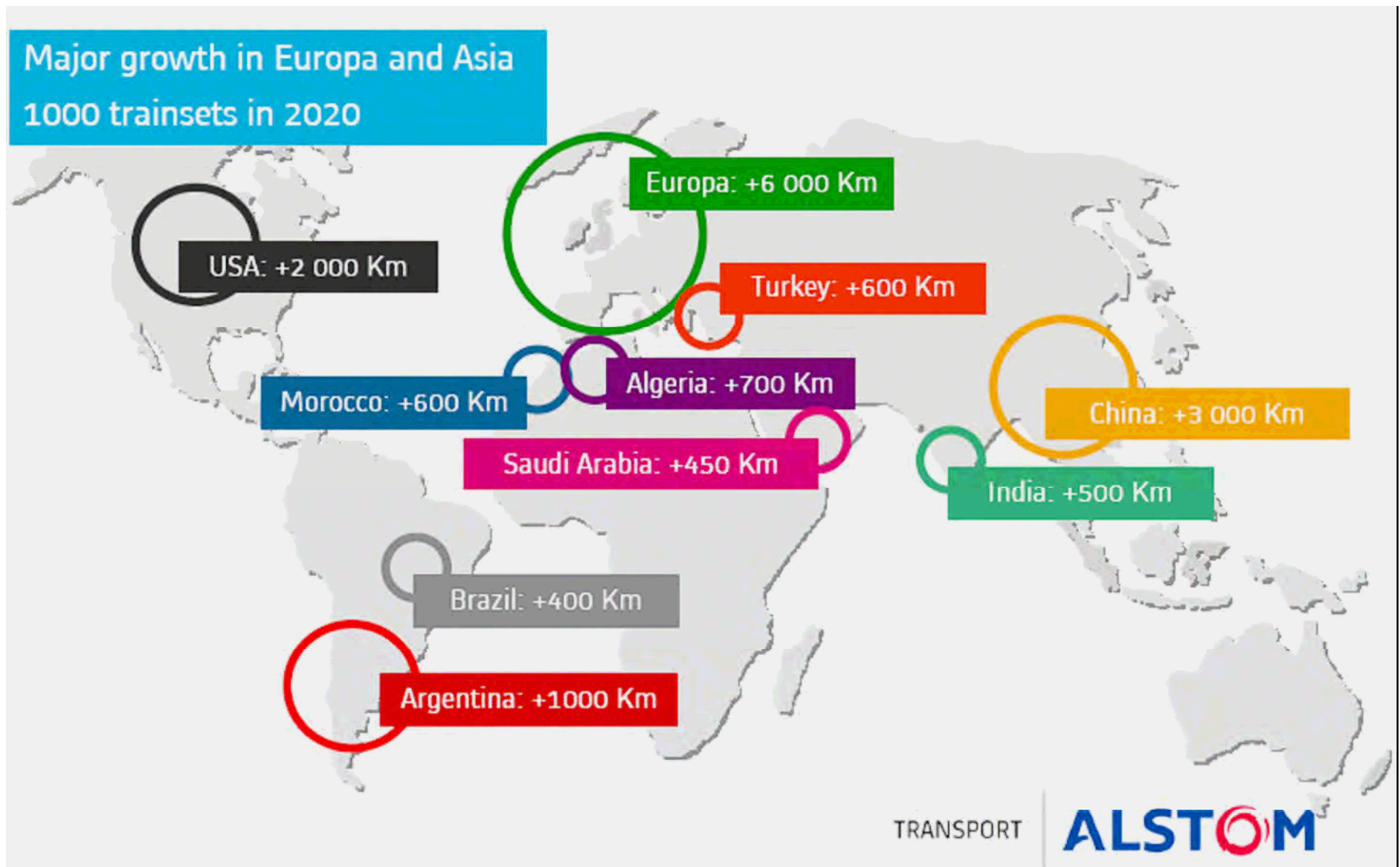
UIC - High-Speed
Updated 17.11.2006 - IB



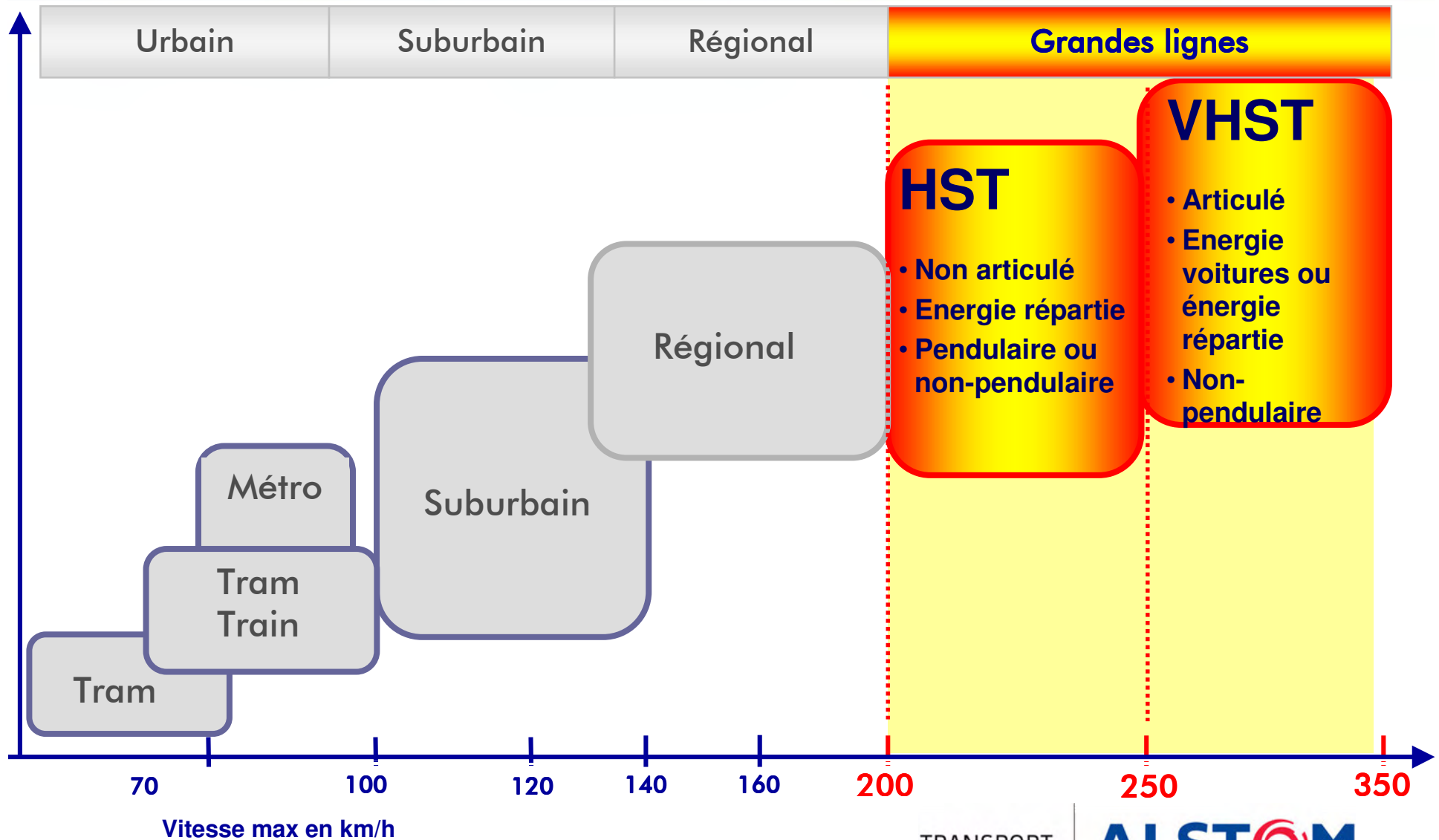
TRANSPORT

ALSTOM

Lignes grande vitesse en 2020 dans le monde



Classification des trains



Agenda

Le marché de la grande vitesse

Du TGV à l'AGV

Les trains pendulaires

TRANSPORT

ALSTOM

Trains à très grande vitesse



TRANSPORT

ALSTOM

TGV: 25 ans de succès

Référence mondiale du marché à très grande vitesse



EUROSTAR (France, UK)
38 trains – vente en 1993



THALYS (Belgique, France,
Pays-Bas et Allemagne)
17 trains – vente en 1996



TGV Duplex (France)
113 trains – vente en 1992; 2000-05



TGV Korea
46 trains – vente en 1994



TGV East (France, Allemagne, GDLux., Suisse)
19 trains – vente en 2003

Plus de 6.600 voitures fabriquées

TRANSPORT

ALSTOM

Evolution du parc

Une gamme complète en simple et double étages



TGV Duplex

Trafic intense

500 to 1200 sièges

300 / 320 km/h



AGV

Trafic à très grande vitesse

280 to 500 sièges

> 350 km/h

Agenda

Le marché de la grande vitesse

Du TGV à l'AGV

Les trains pendulaires

Réduction des temps de parcours

- Construire des lignes spécifiques:

- Lignes droites
- Ouvrages d'art

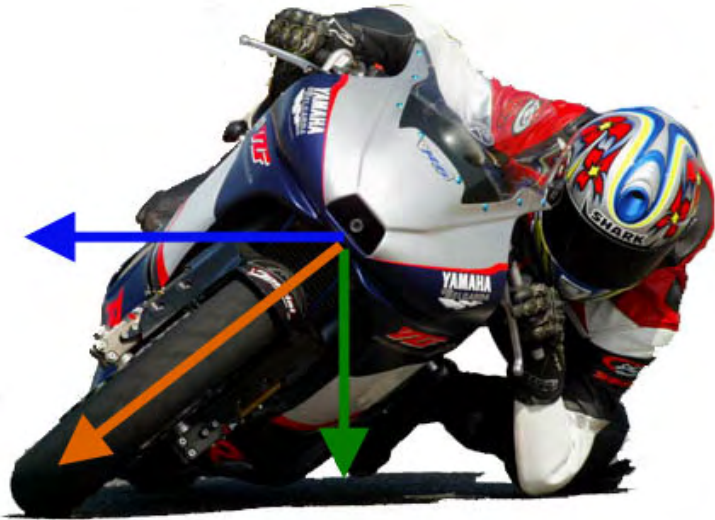


- Accroître la vitesse sur les lignes existantes:

- Utilisation du relief
- Aménager les courbes



Les courbes et la force centrifuge



- En courbe, la force centrifuge augmente en fonction du carré de la vitesse et dépend du rayon de courbure
- Seuil de confort: $< 1,2 \text{ m/s}^2$

$$\|\vec{F}\| = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

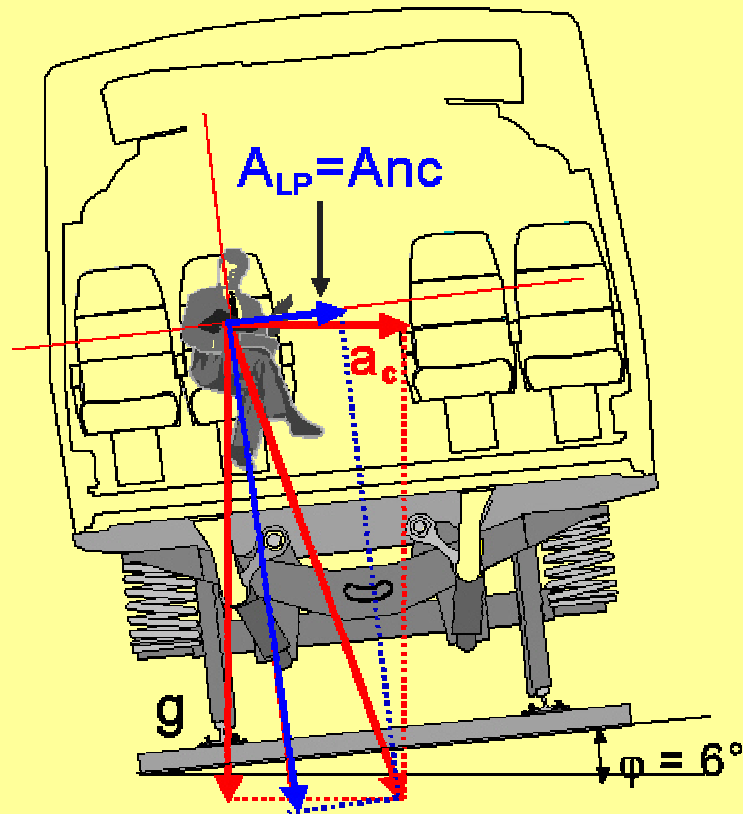
- Inclinaison des voies possible jusqu'à 6°
- Surélévation du rail extérieur de 16 cm
- Au-delà: force centripète inconfortable



- Seule solution: inclinaison du train

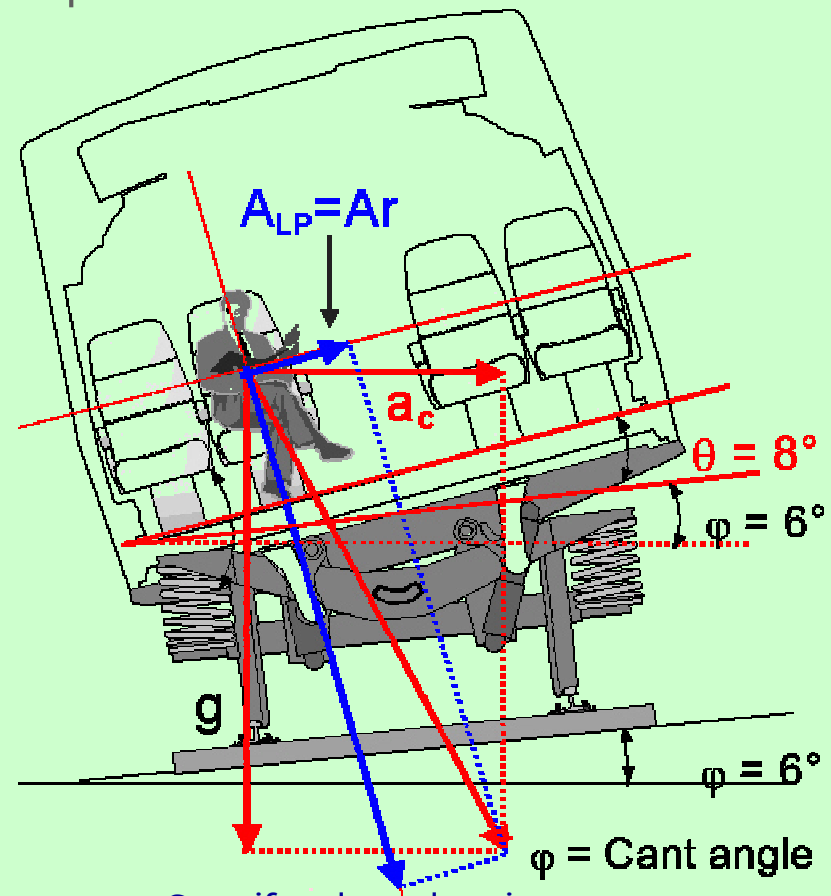
Pendulation dans les courbes: limitation de l'accélération résiduelle au niveau du passager

Sans pendulation



A_{LP} = Acceleration at Passengers Level
 A_{nc} = Not Compensated Acceleration

Avec pendulation jusqu'à 30 % plus rapide dans les courbes



a_c = Centrifugal acceleration
 A_r = Residual Acceleration

Avantages de la pendulation

- Augmentation de la vitesse dans les courbes de 20 à 30%:
 - Réduction des temps de parcours
 - Accroissement du confort du passager
- Utilisation de lignes conventionnelles
 - Investissement limité par rapport à la création d'une ligne spécifique pour la grande vitesse
 - Mise en oeuvre plus rapide
 - Impact environnemental réduit

Types de pendulation et contraintes sur la voie

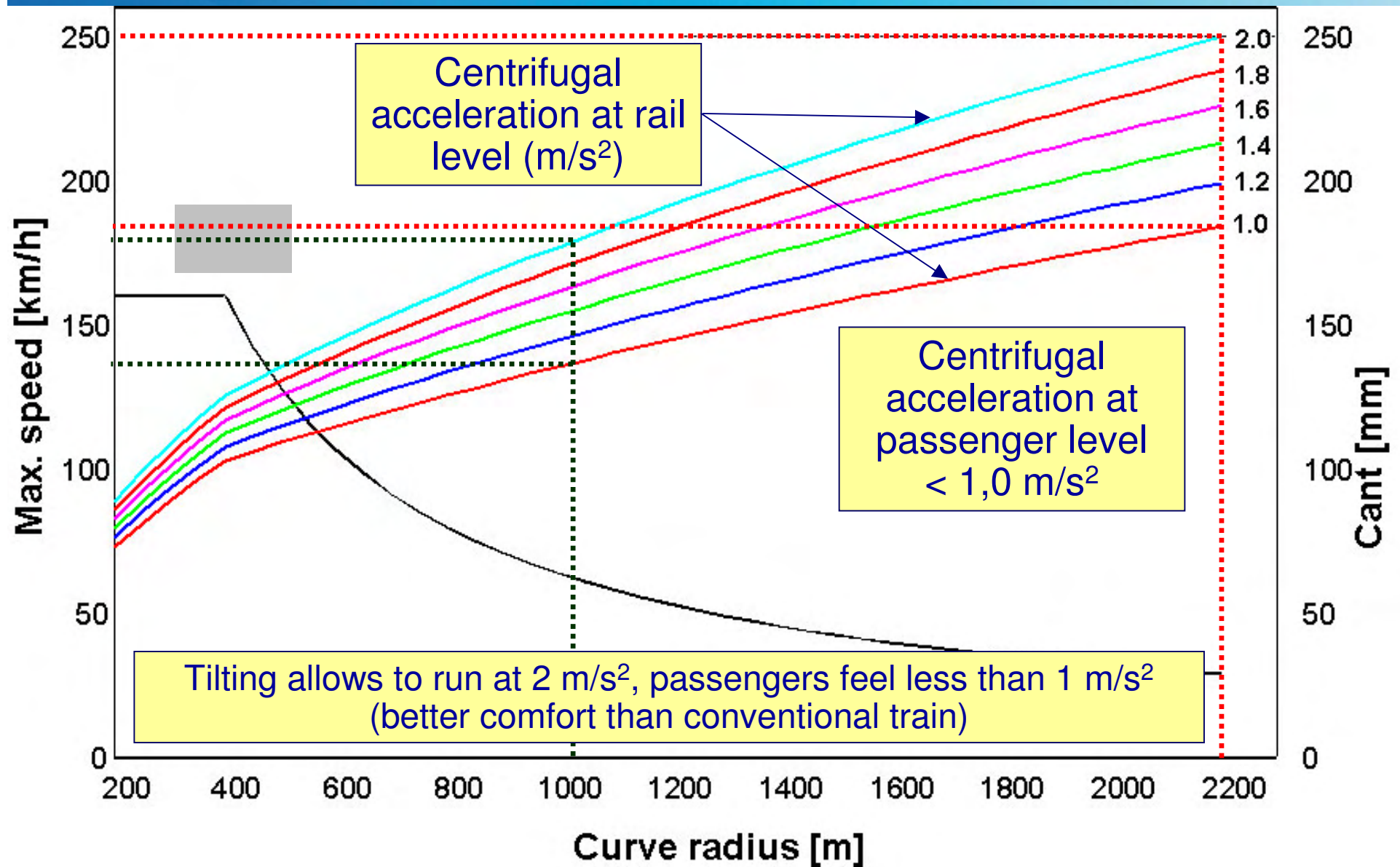
- **Modes:**
 - Passif: inclinaison de la caisse en jouant sur les positions relatives du centre de gravité et du centre de rotation
 - Inclinaison jusqu'à 4°
 - Actif: inclinaison au moyen de vérins (hydrauliques, pneumatiques ou électromécaniques)
 - Inclinaison jusqu'à 8°
 - Accroissement de la vitesse de 20 à 30 %
- **Contraintes sur la voie**
 - Accélération centrifuge au niveau du rail plus important qu'avec un train conventionnel
 - Nécessité d'alléger le train (aluminium)
 - Répartition des masses sur les essieux à équilibrer correctement
 - Centre de gravité abaissé
 - Réduction des distances entre bogies pour mieux négocier les courbes serrées

Contrôle de la pendulation

- Infrastructure de balises au sol (entrées et sorties de courbes)
- Capteurs de détection de courbes à bord des trains
 - Gyroscopes pour déterminer l'angle des courbes
 - Accéléromètre
 - Ordinateur de bord pour analyser les données et actionner les vérins
- Système de contrôle anticipatif
 - Utilisation des des paramètres de la ligne
 - Calculateurs Tiltronix
 - Sensibilité réduite aux irrégularités de la voie

Le nouveau Pendolino

Les bénéfices du système pendulaire



Le nouveau Pendolino

Les bénéfices du système pendulaire

- Gains de temps estimés avec le système pendulaire : exemples

LINE	Line Length [km]	km with n.c.a. > 1.2 [km]	% curves with n.c.a. > 1.2 [km]	Vmax. [km/h]	RUNNING TIME - NON TILTING	RUNNING TIME - TILTING	Δ TIME [%]
PIREO - THESSALONIKI	508,0	81,2	16,0%	200	3:55:00	3:27:00	13,5%
BRATISLAVA - KOSICE	446,6	51,9	11,6%	230	4:06:00	3:20:00	23,0%
VENTIMIGLIA - CUNEO	90,7	22,3	24,6%	160	1:06:00	0:58:00	13,8%
TEL AVIV - JERUSALEM	87,1	10,4	12,0%	160	1:22:00	1:13:00	12,3%

Sécurité renforcée

RAILNEWS.co.uk

How many lives did the Pendolino Save?

If Pendolino designers had wanted to prove the train's crashworthiness, derailing one at 95mph and rolling it down an embankment would have been a severe test.

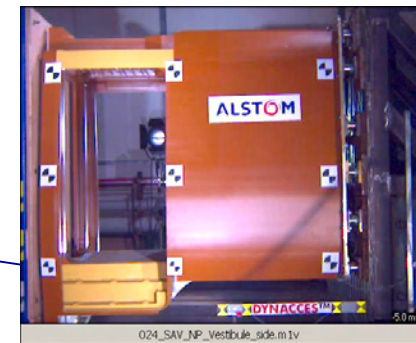
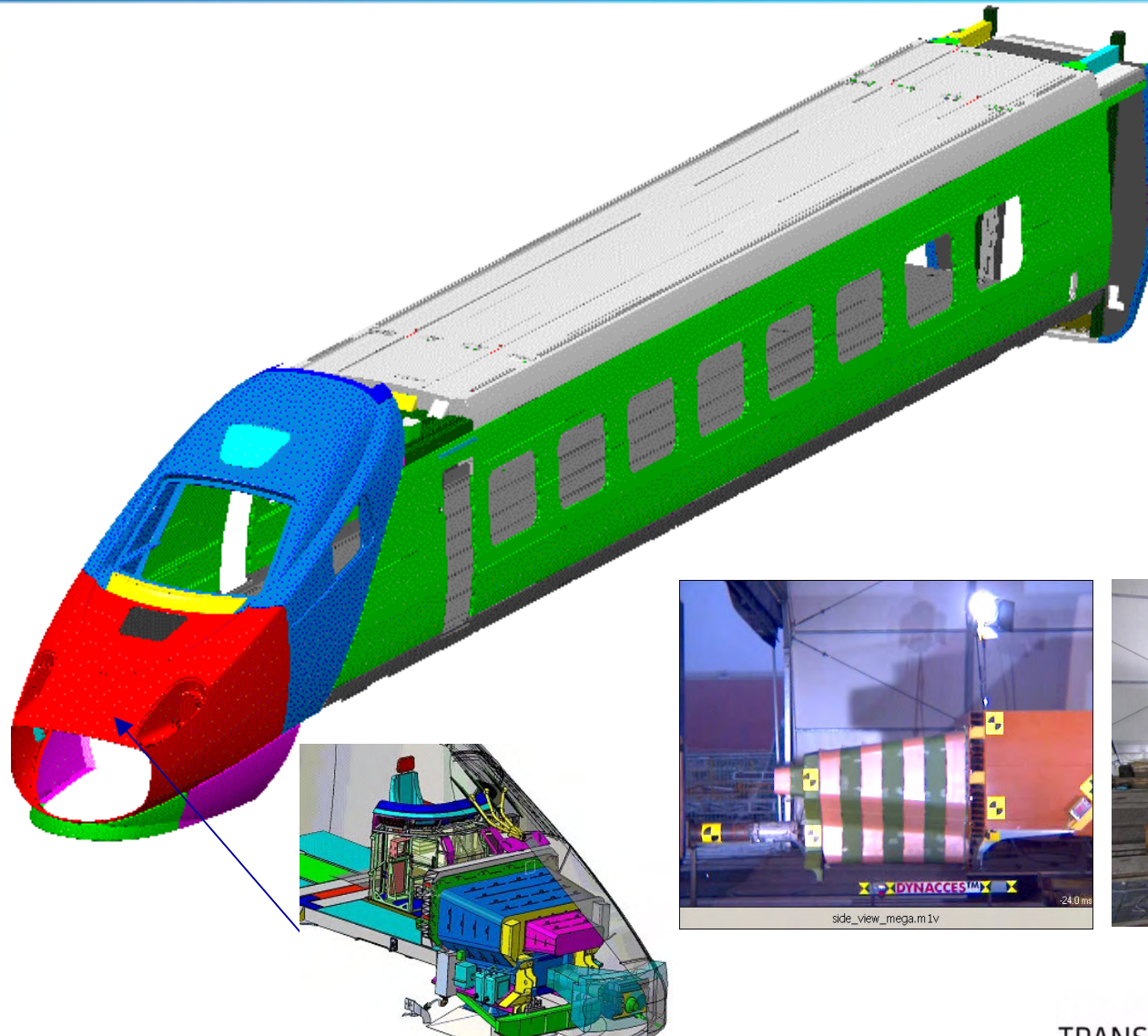
Sir Richard has stressed the safety features of the Virgin Pendolino train involved, saying he feared the accident would have been much worse if an old service had been in operation. He said the train was "built like a tank", the carriages stayed together, remained in one piece and many windows did not even break.



TRANSPORT

ALSTOM

Absorption des chocs dans chaque voiture



TRANSPORT

ALSTOM

Pendulaires et très grande vitesse

← Trains pendulaires →

← Grande Vitesse →



250km/h 300km/h 350km/h



Pendolino: une success story

Alstom Pendolino: plus de 430 trains commandés dans 11 pays



Italie, 1995/98

10 +15 trains de
9 voitures



Finlande, 1995

18 trains de 6 voitures



**Italie, Suisse, Allemagne,
1996**

9 trains de 9 voitures



Espagne, 1999

10 trains de 3 voitures



Portugal, 1999

10 trains de 6 voitures



Slovénie, 2002

3 trains de 3 voitures



UK, 2003

53 trains de 9 voitures



République Tchèque, 2005

7 trains de 7 voitures

TRANSPORT

ALSTOM

Derniers développements



New Pendolino:: 12 trains de 7 voitures

Contrat : 03/2004

Train pendulaire

250 km/h vitesse max

Voltage double (25kV/3kV)

4 moteurs et 3 voitures non motorisées

Homologation sur le réseau RFI

ERTMS niveau 2



New Pendolino: 14 trains de 7 voitures

Contrat : 03/2004

Train pendulaire

250 km/h vitesse max

Voltage triple (25kV/15kV/3kV)

4 moteurs et 3 voitures non motorisées

Homologation sur réseaux RFI/SBB/DB

ERTMS niveau 2

TRANSPORT



Pendolino pour Helsinki - St. Petersburg

Solution spécifique pour les pays nordiques

- Voie large
- Conditions hivernales
 - Fonctionnement jusqu'à -45°C
 - Protection contre la neige
 - Protection contre les congères
- Passage de frontière entre la Finlande et la Russie



Le New PENDOLINO® (4ème génération)

- Trains régionaux et intercity
- Différentes tensions caténares
- Pendulaire et conventionnel
- Vitesse commerciale: 200÷250 km/h
- Design modulaire
- Interopérabilité (TSI)



Possibilité de personnalisation

TRANSPORT

ALSTOM

Le New PENDOLINO®

- Produit optimisé pour la gamme de vitesse 200 à 250 km/h
- Pendulation active, contrôlée de manière électronique
- Le système est de type “à bord” (détection des courbes au moyen de senseurs embarqués). Pas besoin d’installer des solutions coûteuses le long des voies
- La pendulation est actionnée par deux vérins hydrauliques directement montés sur les bogies
- Les équipements de traction sont montés sous caisse
- Angle max inclinaison : 8° (-> max n.c.a at track level: 2 m/s²)
- 2 courbes complètes assurées en cas de perte électrique

Le New PENDOLINO® : les bogies pendulaires

- Famille des bogies pendulaires Alstom
- Vitesse maximale : 250 km/h ; n.c.a. 2 m/sec²
- Equipement pendulaire hydraulique (angle de pendulation 8°)
- Commande pendulaire réactive (possibilité d'une commande anticipative)
- Pantographe compteur-pendaison



- Écartement rail : 1435 mm
- Base de la roue : 2700 mm
- Diamètre roue: 890/840 mm
- 2 disques frein en acier (axe moteur)
- 3 disques frein en acier (axe non mot.)
- Suspension secondaire par ressort

TRANSPORT

ALSTOM

Le New PENDOLINO®

- La famille New PENDOLINO® a été développée pour répondre aux besoins des nouveaux marchés:
 - Passagers
 - Confort et sécurité
 - Nombreuses facilités à bord
 - Opérateurs
 - Maximiser la capacité voyageurs
 - Notoriété & performances
 - Autorités
 - Interopérabilité: ERTMS niveau 2



New PENDOLINO[®]

Design futuriste



GIUGIARO
DESIGN
Designing the Future

New PENDOLINO ® Intérieurs



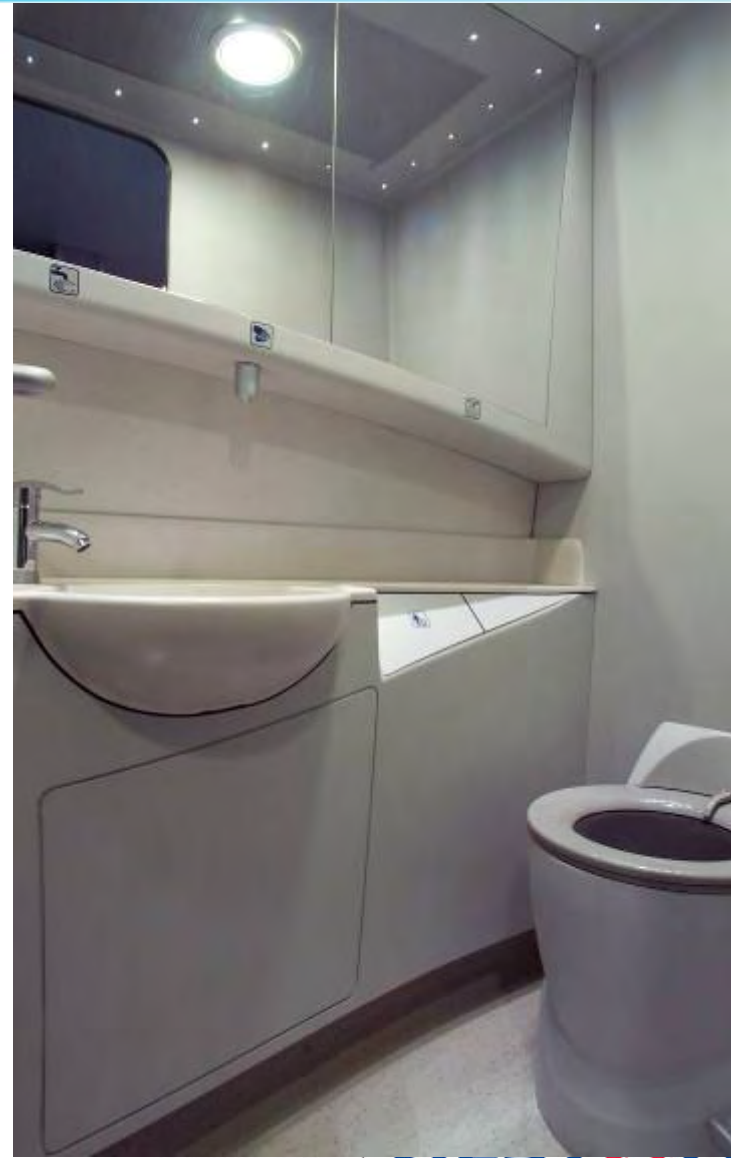
New PENDOLINO ® Intérieurs



New PENDOLINO[®] Intérieurs



New PENDOLINO® Intérieurs



New PENDOLINO® Intérieurs



www.alstom.com

TRANSPORT |

ALSTOM