

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 116 (1990)
Heft: 3

Artikel: Le Pendolino et le réseau ferré suisse
Autor: Elia, Alessandro
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77240>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Le Pendolino et le réseau ferré suisse

L'utilisation de matériel roulant capable d'augmenter la vitesse admissible des trains en courbe sans pénaliser le confort des voyageurs offre une possibilité de diminuer les temps de parcours tout en évitant de coûteux investissements d'infrastructure. Le système de caisse pendulaire, naguère expérimenté sans succès par les CFF, revient à la pointe de l'actualité grâce au Pendolino italien, en service en Italie, commandé par les chemins de fer allemands et actuellement évalué par d'autres administrations ferroviaires, dont les CFF. C'est pourquoi son constructeur a été invité à le présenter lors de la journée d'étude du GIIR.

Avant-propos

Parmi les facteurs qui ont une influence sur l'attrait d'un type de transport, à la deuxième place après la sécurité et ex aequo avec le confort, nous trouvons la durée totale du voyage, qui conditionne le choix de l'utilisateur sur la base de la valeur que celui-ci attribue à son propre temps: dans le bilan du coût subjectif, la durée

PAR ALESSANDRO ELIA,
TURIN

totale du voyage représente l'un des points les plus significatifs, avec le prix du billet, le niveau de fatigue que procure le voyage, etc. La durée totale du voyage, calculée «porte à porte», est constituée par la somme des temps suivants:

- temps d'accès au point de départ du voyage, influencé par la distance, l'intégration entre moyens de transport, etc.
- temps moyen d'attente
- temps effectif de transport
- temps d'arrivée à destination, pour lequel sont valables les mêmes considérations que celles exprimées pour le temps d'accès.

Sur la base de ces considérations, il est évident que le temps de transport effectif n'est qu'une composante du temps total de transport et que celui-ci représente un coût qui - quoique important - n'est pas le seul à influencer sur l'attrait ou sur le caractère économique d'un transport. Il faut donc tenir compte de ce fait lorsque l'on évalue l'intérêt d'une intervention visant à réduire le temps effectif de transport. Dans le cadre du transport de passagers sur rail, l'augmentation de la vitesse commerciale peut être obtenue par des interventions sur la ligne ou sur le matériel roulant: le choix des modalités et des temps d'intervention peut varier d'un cas à l'autre selon la situation préexistante et les objectifs fixés

et peut amener à des actions considérablement différenciées.

Parmi celles-ci, on trouve à des extrêmes opposés la construction d'une ligne totalement neuve, destinée aux grandes vitesses et ayant des coûts d'investissement élevés sur des termes moyens-longs, et l'achat d'un matériel roulant à l'avant-garde du point de vue technologique et permettant d'élever la vitesse commerciale, sans interventions considérables sur les infrastructures, à des coûts d'investissement inférieurs et dans des délais plus limités.

La réduction du temps de transport

L'augmentation de la vitesse commerciale sur une ligne déjà existante doit être précédée d'une analyse attentive de la situation actuelle et des perspectives possibles, compte tenu des objectifs qui ont été fixés (diminution du temps de transport, augmentation de la quantité de passagers).

Les interventions possibles sont nombreuses: certaines d'entre elles sont relativement simples et souvent immédiates (rationalisations et augmentations d'efficacité), alors que d'autres (améliorations de la ligne, ou du matériel roulant, ou les deux) sont fortement conditionnées par certains éléments objectifs, tels que:

- la géométrie plani-altimétrique du tracé actuel: les courbes, rarement rectifiables, et - dans une moindre mesure - les pentes conditionnent les vitesses maximales pouvant être obtenues;
- les points particuliers du tracé, pré-établis (passages à niveau, branchements, aiguillages en courbe) ou aléatoires (irrégularités), qui provoquent des ralentissements;
- la distance entre les gares pouvant provoquer, si elle est très réduite, des pertes de temps peu remédiables;

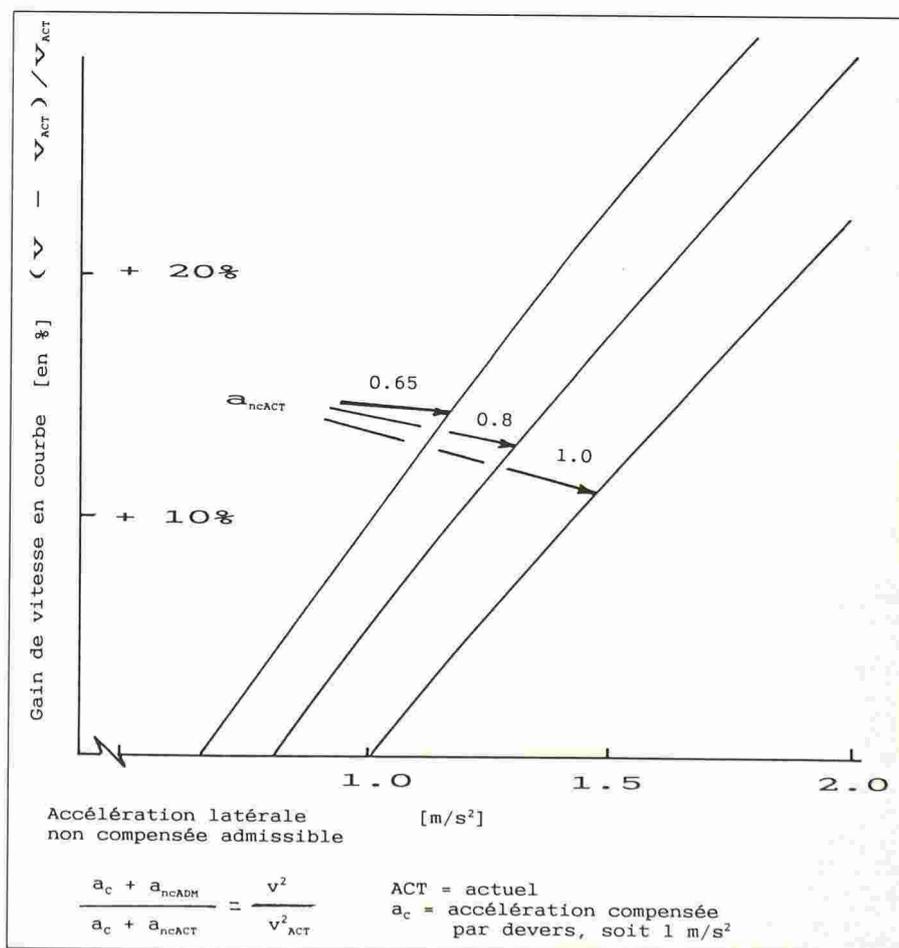


Fig. 1. - Gain de vitesse en pourcentage relatif à un matériel roulant à assiette variable sur parcours sinueux.

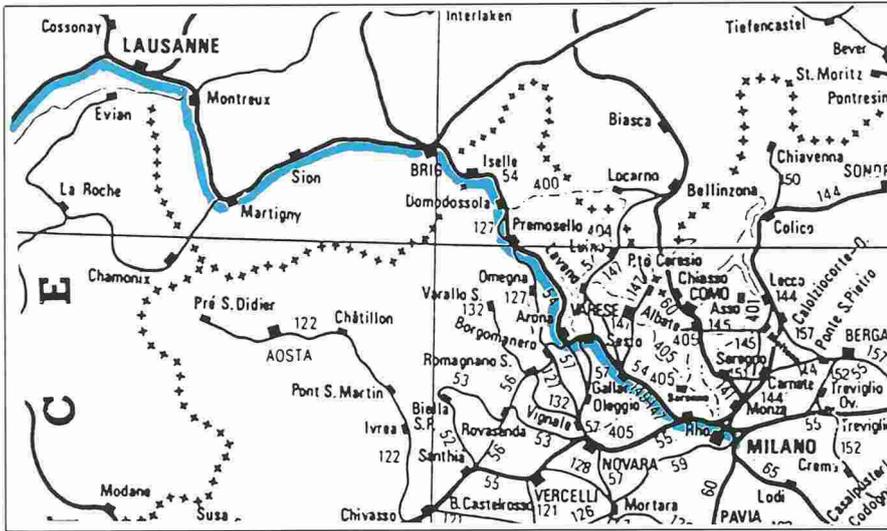


Fig. 2. - La ligne Genève-Lausanne-Brigue-Milan.

Réductions du temps de parcours sur des réseaux sinueux grâce au matériel roulant à assiette variable

Les lignes qui s'adaptent le mieux au matériel roulant à assiette variable, permettant des réductions considérables du temps de parcours, sont caractérisées par :

- une longueur totale significative, afin qu'aux pourcentages de gains prévus correspondent des réductions importantes du temps absolu ;
- peu d'arrêts intermédiaires, afin que les pertes de temps n'aient pas une incidence excessive ;
- la présence de nombreuses sections sinueuses.

Apparemment, le réseau suisse se prête bien à l'assiette variable : grâce à leurs caractéristiques orographiques, les lignes directrices du transit allant de l'Allemagne et de la France vers la Lombardie, gérées par des trains polycourant à a.n.c. élevée, devraient permettre des réductions significatives du temps de parcours.

A titre d'exemple on peut rappeler la ligne Genève-Lausanne-Brigue-Milan (fig. 2) caractérisée par :

- longueur : 370 km environ
dont : 124 km (34%) en Italie
246 km (66%) en Suisse
- pourcentage de sections en courbe : 54% environ
dont : 51% du parcours italien
56% du parcours suisse
- arrêts prévus : 4 (Stresa, Domodossola, Brigue, Lausanne).

Compte tenu des éléments de simulation fournis par ABB et les FS, on peut supposer une réduction, par rapport aux valeurs minimales actuelles de 4 h, d'environ 40' (17%), répartie comme suit :

- 13-14' sur Milan-Brigue
 - 15-16' sur Brigue-Genève
 - 10-11' à Domodossola, où il ne sera plus nécessaire de changer de traction.
- Cet exemple aussi illustre l'importance des facteurs non exclusivement techni-

- la présence de sections à voie unique ;
 - le niveau de saturation du trafic.
- Toutes ces contraintes peuvent réduire considérablement l'efficacité des interventions sur les infrastructures et de l'achat de matériel roulant plus rapide et performant. Le facteur le plus restrictif est représenté en général par la présence et la fréquence de courbes à rayon non élevé.

Si la ligne examinée présente de nombreuses courbes et si, section par section, la vitesse maximale est limitée par l'accélération latérale non compensée (a.n.c.) maximale admise, on peut démontrer (fig. 1) que le pourcentage de gain de vitesse fixée ne dépend que du niveau actuel de l'a.n.c. et de l'augmentation admise de cette dernière. Par exemple, en partant d'une valeur actuelle de 1 m/s², il faut augmenter l'a.n.c. à au moins 1,8-2 m/s² pour obtenir des gains significatifs (20-25%).

Si ce sont en revanche les lignes droites qui l'emportent, l'augmentation de la vitesse commerciale peut être obtenue, sauf contraintes liées au tracé, en augmentant pareillement la vitesse de projet des véhicules : le matériel roulant doit être caractérisé par une conception moderne, une vitesse critique élevée, un confort approprié et une agressivité limitée à l'égard de la voie. A des augmentations théoriques même importantes de la vitesse de ligne correspond en général une réduction non proportionnelle du temps de parcours : cela arrive lorsque les variations de vitesse de ligne sont fréquentes et que, par conséquent, le temps d'accélération ou de freinage devient une part importante du temps global. En conclusion, au cas où il n'existerait pas de contraintes spécifiques liées au tracé, pour obtenir des réductions significatives du temps de parcours (15-20%), il est nécessaire d'augmenter

davantage (20-25%) la vitesse maximale de fonctionnement et d'au moins doubler le niveau d'a.n.c. en courbe. Dans ces conditions, la définition du matériel roulant acquiert une importance prédominante. Ce matériel devra être caractérisé par :

1. une puissance massique élevée (au moins 12-15 W/kg)
2. d'excellentes caractéristiques dynamiques de stabilité et de confort
3. une agressivité limitée
4. une bonne inscription en courbe
5. une rotation de caisse rapide et progressive, avec des angles de compensation élevés.

Certains éléments (1, 3 et 5) peuvent être réalisés sans contre-indications réciproques et sont recherchés et réalisés comme principes de base dans le projet Pendolino.

D'autres (2 et 4) peuvent se contrarier réciproquement, surtout dans des conditions extrêmes (rayons de courbe très serrés et vitesse de projet élevée) et exiger des adaptations variant d'un cas à l'autre.

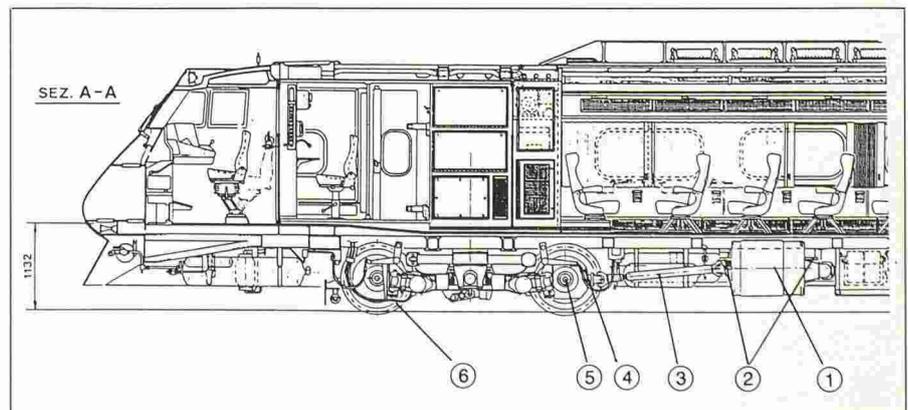


Fig. 3. - Liaison moteur-bogie-caisse.

- | | |
|--------------------------------|---------------------------|
| 1 Moteur de traction | 4 Pont à simple réduction |
| 2 Suspension du moteur | 5 Essieu moteur |
| 3 Transmission à double cardan | 6 Essieu porteur |

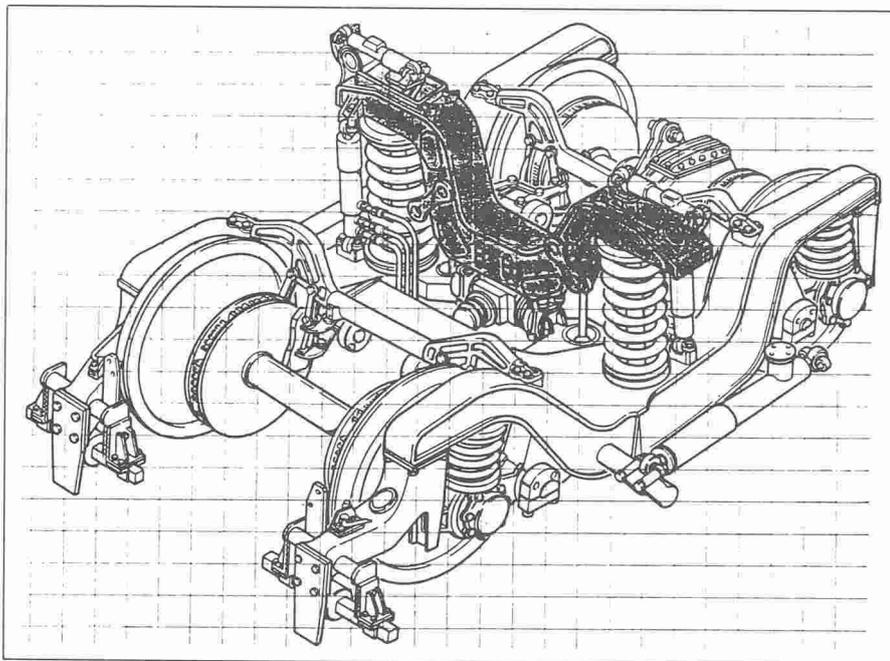


Fig. 4. - Le bogie du Pendolino ETR 450.

ques : en effet, plus d'un quart de l'économie est possible grâce au simple assouplissement ou à la réorganisation des démarches douanières à Domo-dossola (dans le cas contraire, l'économie due au polycourant deviendrait illusoire).

Ces marges de gain sont calculées sans tenir compte d'éventuelles contraintes locales de la ligne, que nous ignorons actuellement, et sans considérer aucune rationalisation ni amélioration ultérieures.

Le système Pendolino, ses caractéristiques fondamentales et sa faculté d'adaptation au réseau CFF

Comme nous venons de le voir, un système à assiette variable doit être peu agressif, apte à circuler à une a.n.c. élevée (1,8-2 m/s²) et présenter d'excellentes caractéristiques de confort, ainsi qu'une stabilité élevée et une vitesse maximale sensiblement supérieure à celle du matériel roulant actuel.

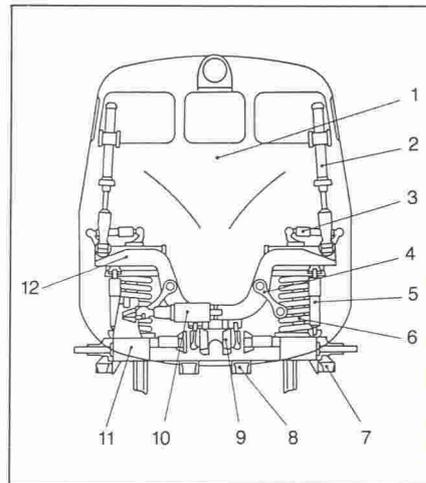


Fig. 5. - Schéma de commande du système de rotation de la caisse et de la suspension latérale active.

- 1 Caisse
- 2 Vérins hydrauliques
- 3 Amortisseurs latéraux
- 4 Eléments de guidage
- 5 Amortisseurs verticaux
- 6 Ressorts suspension secondaires
- 7 Accéléromètre
- 8 Gyroscope
- 9 Butée latérale
- 10 Châssis
- 11 Suspension latérale active
- 12 Traverse

Les caractéristiques les plus importantes de la conception du Pendolino semblent être conformes à ces exigences: l'agressivité réduite est obtenue grâce à l'uniformité des caractéristiques entre tous les bogies, au poids axial

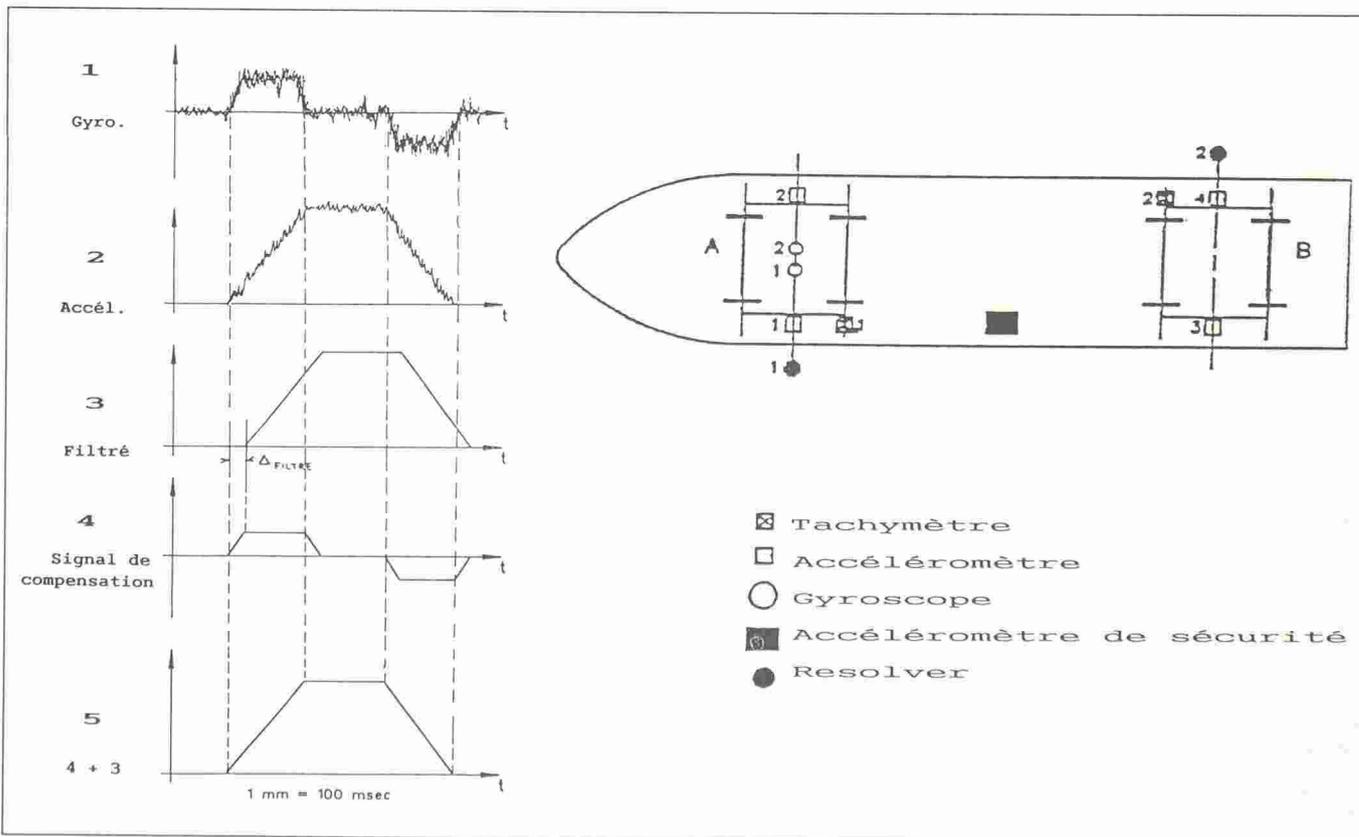


Fig. 6. - Capteurs de commande de rotation de la caisse et formation du signal de référence.

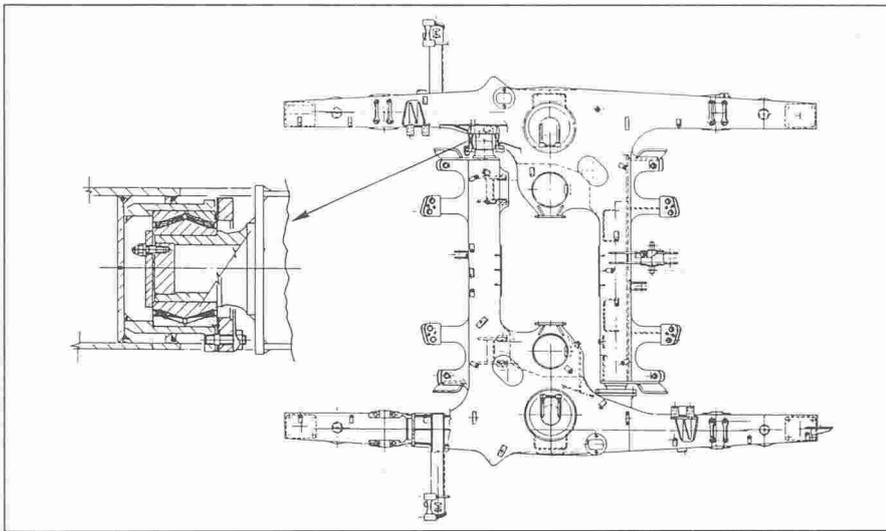


Fig. 7. - Châssis du bogie.

limité, aux masses du bogie limitées au niveau d'un bogie porteur, au montage des moteurs de traction sur la caisse (fig. 3); le confort latéral dans les courbes, même aux a.n.c. les plus élevées, est garanti par la suspension latérale active (fig. 4), de type pneumatique, qui dans les courbes applique entre la caisse et le bogie une force latérale, proportionnelle à l'a.n.c., centrant la caisse, l'éloignant des tampons et garantissant un niveau de confort latéral équivalant à celui d'un parcours rectiligne.

La suspension latérale active (fig. 5) est à anneau ouvert; elle est asservie et contrôlée par le système de rotation de la caisse.

Le châssis du bogie, articulé en diagonale (fig. 7), garantit une adaptation complète aux gauches de la voie sur base courte qui sont absorbées sans aucune variation de charge roue/rail et, en conséquence, avec les meilleures garanties de sécurité.

Le système de rotation de la caisse garantit une rapidité appropriée et une compensation élevée; il est à commande hydraulique, avec réglage électronique piloté par des accéléromètres et gyroscope sur le premier bogie (fig. 6).

Le réglage est à circuit fermé, avec signal de référence reproduisant l'a.n.c. relevée au niveau du châssis de bogie. Au-delà de ces caractéristiques fondamentales de conception, visant toutes à permettre la marche sur des lignes conventionnelles à vitesse et a.n.c. élevées avec un excellent confort et en toute sécurité, certains éléments doivent être adaptés selon les cas, sur la base des exigences spécifiques du réseau; par exemple: les performances de traction et de freinage, la bonne inscriptibilité en cas de courbes à petit rayon (élément non indispensable, bien au contraire, dans le cas FS), la vitesse maximale qui, sur des parcours sinueux, doit être définie comme le

meilleur compromis avec les exigences d'inscriptibilité.

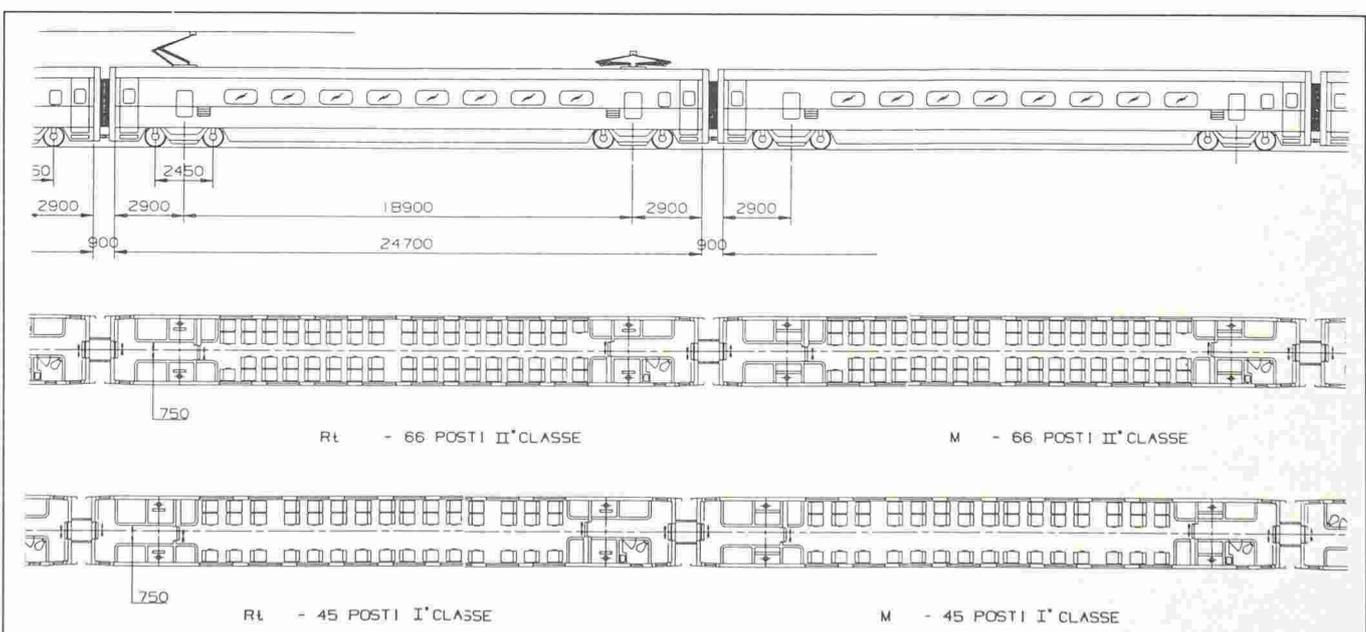
D'autre part, l'élément le plus contraignant est le système électrique de traction, lié à la tension d'alimentation et au type de moteur électrique: la solution italienne, monotension 3000 V c.c. avec réglage à hacheur et moteurs en c.c. de 2850 tr/min et 320 kW continus, ne peut bien sûr pas être transférée à l'alimentation monophasée ou au polycourant.

Les dimensions et le poids d'un appareillage polycourant, de l'ordre de 22 t sur une puissance installée de presque 1500 kW, se heurte évidemment aux exigences de limiter le poids par essieu et amène à revoir profondément tant la distribution des appareillages que le schéma d'actionnement.

Il faut pouvoir disposer d'unités de traction bloquées (fig. 8) et de deux véhicules à fonctions électriques complémentaires; la puissance mécanique peut être distribuée sur un nombre inférieur de moteurs grâce à l'utilisation de moteurs asynchrones à vitesse de rotation élevée et à puissance effective élevée (720 kW), mais cela peut conditionner d'une manière non négligeable les caractéristiques dynamiques et torsionnelles de la transmission. A la place, on peut faire appel à un nombre supérieur de moteurs plus petits, avec quelques problèmes de contrôle et de maintien des diamètres des essieux en plus.

Comme on peut le remarquer, les problèmes liés à l'adoption d'équipements polycourant exigent des modifications non négligeables, surtout dans l'actionnement et la disposition des appareils.

Ces modifications, techniquement réalisables - en utilisant des techniques et des systèmes testés - sans incertitudes ni problèmes particuliers,

Fig. 8. - Unité de traction de l'offre FIAT/ABB pour les CFF. Aménagement en 2^e classe (en haut) et en 1^{re} classe (en bas).

doivent cependant être mises en œuvre en tenant résolument compte des objectifs fondamentaux dans la conception : limitation des poids et des masses non suspendues, caractéristiques mécaniques appropriées pour le bogie et les suspensions, maintien des performances fournies par le système de rotation de la caisse et de suspension latérale active.

Essais effectués sur les réseaux FS et étrangers

Dès le premier prototype, remontant au début des années septante, le système Pendolino a été soumis, sur une vingtaine d'années, à des tests portant sur la dynamique de marche, le confort, l'interaction matériel roulant/voie, ainsi que la commande et la réalisation de la rotation de la caisse, qui ont permis aux Chemins de fer italiens de passer commande d'abord pour un prototype à quatre caisses, l'ETR 401, puis pour la première série, l'ETR 450 (fig. 9), dont l'activité est présentée au chapitre suivant.



Fig. 9. – Le Pendolino de série des FS: l'ETR 450.

Durant ces deux dernières années, des essais systématiques ont été effectués sur les réseaux étrangers européens, à l'invitation des administrations ferroviaires d'un certain nombre de pays.

Ces essais se sont déroulés à des périodes différentes, durant les années 1987-1988-1989, et ils ont eu pour but de vérifier la correspondance entre le système Pendolino et les exigences des réseaux

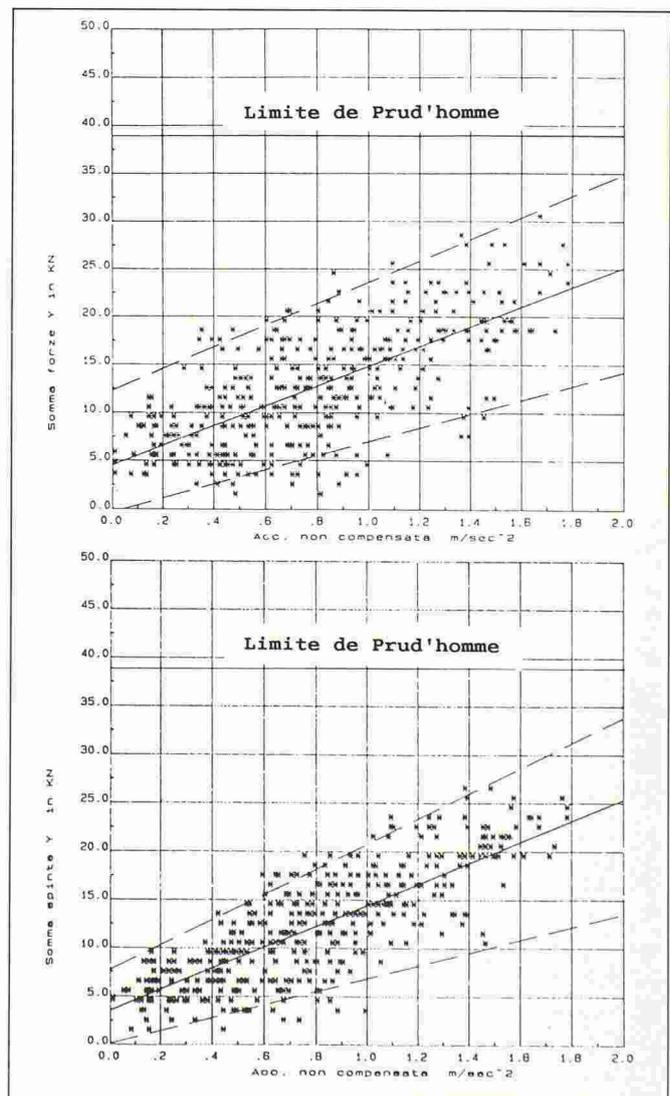
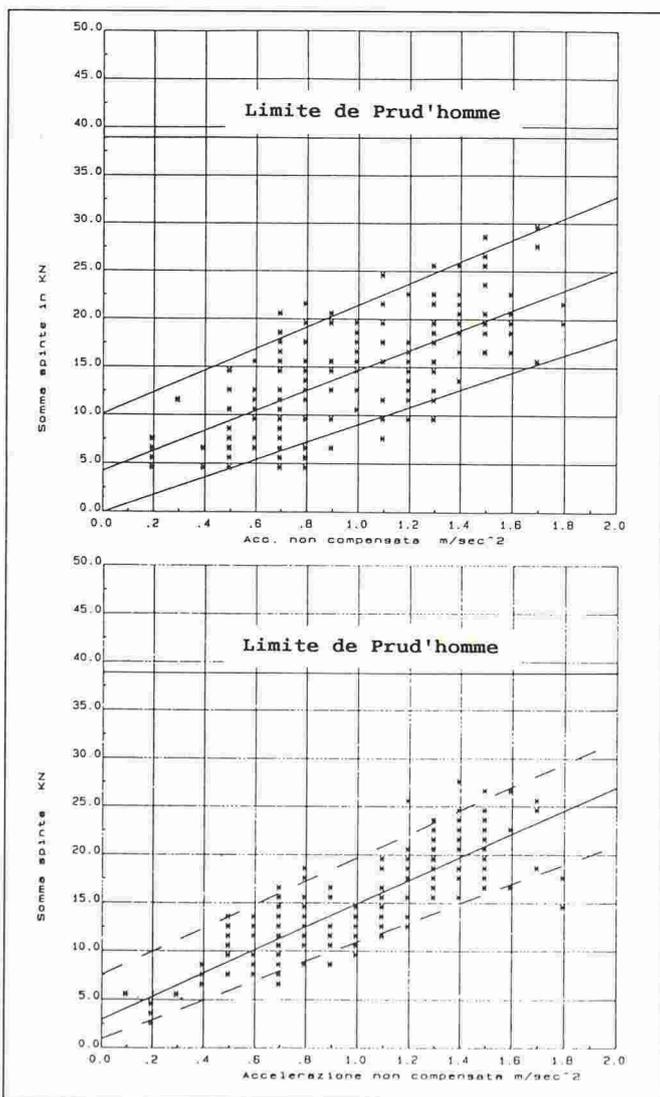


Fig. 10. – Les forces d'essieu relevées sur les lignes DB Eichstätt–Treuchtlingen (à gauche), Trèves–Dillingen (à droite).

de ces différents pays en ce qui concerne le confort, l'interaction, les temps de parcours, l'acceptation de la part du public.

Dans chaque cas ont été enregistrés et proposés au réseau de chaque pays les paramètres les plus importants se rapportant au type d'essais effectués (accélérations, forces, indices de confort, rapports de sécurité au déraillement, etc.).

Dans le cadre de ces essais, les mesures ont été relevées avec la collaboration de l'administration italienne des chemins de fer.

On peut donner de ces essais la synthèse suivante:

- A) Juillet 1987: Essais d'interaction et de confort sur le réseau de l'Allemagne de l'Ouest (DB), sur les lignes de la Moselle et de la Sarre (Coblence-Trier-Sarrebruck) et sur le réseau Intercity de la Bavière (Ingolstadt-Nuremberg).
- B) Avril 1988: Essais sur le confort et sur les qualités fonctionnelles de rotation de la caisse sur le réseau autrichien (ÖBB), sur la ligne Innsbruck-Salzburg (section Wörgl-Zell am See).
- C) Avril 1988: Essais d'acceptabilité et de temps de parcours sur le réseau DB, sur les lignes du nord de la Bavière (Nuremberg-Hof).
- D) Octobre 1988: Essais d'interaction et de confort sur le réseau ÖBB, sur la ligne Graz-Villach, section St. Veith-Knittelfed. Essais d'acceptabilité et de confort sur la section St. Veith-Graz.
- E) Octobre 1988: Essais de confort et d'acceptabilité sur le réseau DB, section Stuttgart-Singen.
- F) Mai 1989: Essais de confort et d'interaction sur le réseau yougoslave-Rép. de Slovénie, section Ljubljana-Jesenice.

Parmi les essais cités précédemment, les plus significatifs sont ceux concernant le confort et l'interaction (A, D et F): ils permettent en effet d'explorer systématiquement la plage des vitesses (et donc d'a.n.c.) de la limite actuelle à la valeur maximale admise (1,6 m/s² pour A et D, la traction se faisant par locomotive; 2,2-2,5 m/s² pour F avec Pendolino automateur).

Forces d'interaction et coefficients de sécurité

La force globale transversale essieu-voie a été relevée (Y_{RIP} somme-y, ou force de ripage) et comparée à la limite maximale admise définie selon Prud'homme:

$$Y_{RIP\ max} = 0,85 \left(\frac{2Q}{3} + 10 \right)$$

2 Q [kN] étant le poids total transmis entre essieu et voie.

Les coefficients de sécurité Y/Q sont définis comme le rapport entre la charge latérale roue/rail (Y) et la charge verticale correspondante (Q). La valeur maximale admise, selon ORE B55 RP8 (Report N° 8), est de 1,2 (pour un angle de boudin de 70°).

Un certain nombre de résultats relatifs au ripage sont indiqués à la figure 10 (valeurs maximales relevées sur le réseau DB).

Les résultats obtenus, illustrés à titre d'exemple par la figure 10, permettent de remarquer que:

- le Pendolino ETR 401 est en mesure de parcourir des courbes de 250 à 1000 m et plus, avec des niveaux de a.n.c. de 1,8-2,0 m/s², sur une ligne

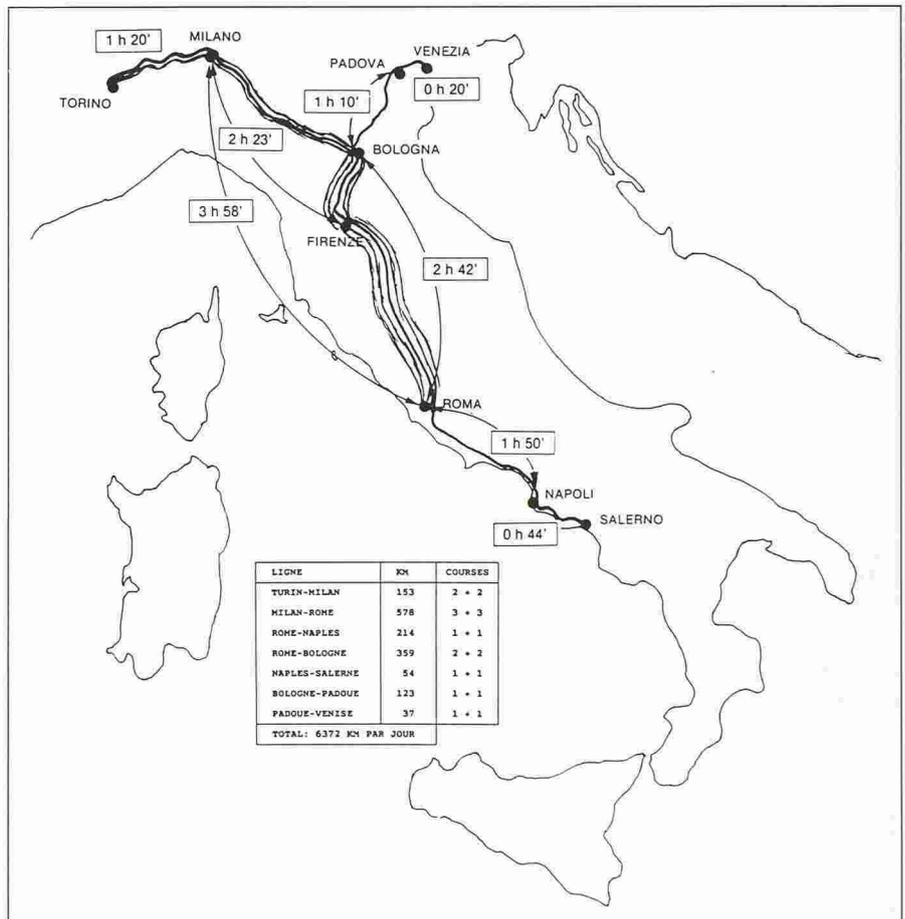


Fig. 11. - Graphique actuel de service sur le réseau FS.

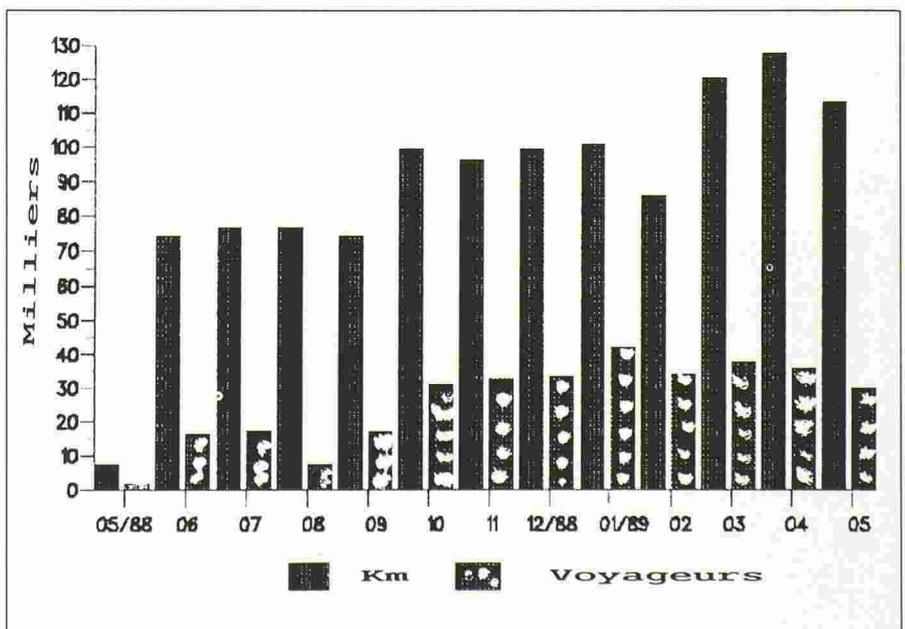


Fig. 12. - Données de transport sur le réseau FS.

caractérisée par des conditions d'entretien passables, sans dépasser les limites de ripage ;

- le confort dans les courbes, dû aux oscillations dynamiques, est satisfaisant et peut être comparé à celui du matériel roulant le plus moderne sur ligne droite.

L'impression positive donnée par les graphiques de synthèse est confirmée par les données temporelles. Celles-ci permettent également d'apprécier la rapidité et la progressivité du dispositif de rotation de la caisse qui compense l'accélération latérale en courbe sans oscillations, ni retards, ni amorçage de phénomènes dynamiques.

Résultats d'exploitation

Le 29 mai 1988, le Pendolino ETR 450 a été mis en service sur le réseau FS :

d'abord avec deux trains sans arrêts entre Rome et Milan et retour, puis - au fur et à mesure que les livraisons des trains le permettaient - en renforçant le service jusqu'au niveau actuel (fig. 11) : 3 trains par jour Rome-Milan, 2 Milan-Turin, 2 Rome-Naples, 1 Rome-Venise et retour, c'est-à-dire un total de 18 trains par jour.

Le graphique mensuel des kilomètres et des passagers transportés en un an, entre la mise en service et le mois de juin 1989, est représenté à la figure 12.

Autres données significatives :

- nombre actuel de trains disponibles : 10
- nombre total de passagers transportés : 338 000
- parcours total : 1 155 000 km
- utilisation actuelle : environ 65 % sur le trajet Milan-Rome

- fiabilité relevée :

2 réserves

2 autres retards de plus de 30'

4 autres retards de plus de 15'

- parcours maximal d'un train : 255 000 km.

Les données ci-dessus mettent en évidence une situation satisfaisante d'exploitation et une acceptation flatteuse de la part du public.

Adresse de l'auteur :

Alessandro Elia
Direzione Progettazione e Prove
Servizio Calcoli ed Esperienze
Fiat Ferroviaria
Corso Ferrucci, 112
I - 10138 Turin

Actualité

Alberto Sartoris, docteur *honoris causa* de l'Ecole polytechnique de Turin

Il y avait foule, le 10 octobre dernier, pour célébrer les mérites de notre confrère Alberto Sartoris, dans l'Aula Magna de l'Ecole polytechnique de Turin : les autorités, le recteur, le président de la Faculté d'architecture, les professeurs, les étudiants, ainsi que de très nombreux amis parmi tous ceux que compte Alberto Sartoris.

Finalement, cette manifestation n'est qu'un juste retour des choses, et l'expression de la reconnaissance d'une ville et d'une école à un homme qui a consacré soixante-dix ans de sa

vie à une activité inlassable de critique, mais aussi de « découvreur » de l'architecture moderne ; de projeteur, mais aussi de réalisateur et de maître à penser.

Nous ne ferons à personne l'injure de traduire la *laudatio* accompagnant le parchemin du nouveau docteur *honoris causa* ; nous vous la livrons dans sa version originale :

« considerata l'opera da lui svolta, riconosciuta in sommo grado nel suo lavoro di progettista, studioso e pubblicista nel campo dell'Architettura ;

» considerata la sua acclarata fama internazionale per gli originali contributi dati alla comprensione dell'architettura contemporanea... »

La Suisse était représentée par le professeur Maurice Cosandey, président honoraire des Ecoles polytechniques fédérales, les professeurs Jacques Gubler et Alberto Abriani, de l'EPFL, l'architecte Marina Sommella Grossi, enfin le professeur Riccardo Mariani, qui représentait l'EAUG.

La présentation du lauréat a été faite par le professeur Mario Federico Roggero, président du Conseil de la Faculté d'architecture.

Alberto Sartoris, ému, a déclaré : « Oggi, grazie a voi, Torino mi sorride ! », rappelant qu'en 1928, en compagnie d'autres architectes de talent, il avait été accusé, au même endroit, de menées subversives et d'anarchisme futuriste. Il saisit cette occasion pour défendre une fois encore les principes pour lesquels il s'est toujours battu, et engagea les architectes et les urbanistes à ne pas sombrer dans le misérabilisme du mercantilisme, et plus particulièrement les jeunes à réaliser des constructions pleines de sa-

gesse et de savoir, qui soient nécessaires et utiles à la vie des habitants. Il développa aussi le rapport à respecter de la tradition à la modernité.

Il faut relever que l'Ecole polytechnique de Turin est très avare de ses doctorats *honoris causa* : à notre connaissance, trois seulement ont été décernés par cette grande école avant celui de Sartoris, dont un au grand Pinin Farina. Cela ne fait que mieux situer encore l'hommage rendu au maître de Cossonay, par ailleurs déjà docteur *honoris causa* de l'EPFL.

La rédaction de notre revue, avec laquelle Alberto Sartoris a noué des contacts privilégiés, est heureuse de présenter au lauréat le témoignage de sa très sincère admiration.

F. N.

