

**GROUPE INTERDISCIPLINAIRE DE RÉFLEXION
SUR LES TRAVERSÉES SUD-ALPINES
ET L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE MARALPIN**

*Association Loi de 1901 enregistrée au J.O. du 13 mars 1996
Membre de la Commission Internationale pour la Protection des Alpes (CIPRA)*

*SECRETARIAT : Jacques Molinari - 49 avenue Cernuschi - F - 06500 MENTON
Tél/Fax : 33 - (0)4 93 35 35 17 - Messagerie électronique : gir.maralpin@wanadoo.fr*

**CARACTÉRISTIQUES D'INFRASTRUCTURES
COMPARÉES
DES PERCÉES FERROVIAIRES ALPINES
FRANCO-ITALIENNES**

**A - RAPPELS SUR LES PRINCIPAUX CRITÈRES DE PERFORMANCE
D'UNE LIGNE FERROVIAIRE
APPLICATION AUX LIGNES FERROVIAIRES ALPINES**

Jacques Molinari
Ingénieur honoraire du C.E.A.

Septembre 1999

REMERCIEMENTS

Que tous ceux qui ont bien voulu aider à la collecte, à la compréhension, ainsi qu'à l'attestation des nombreuses informations et données techniques ici rassemblées, soient remerciés, et tout particulièrement Monsieur Michelangelo DANIELE, Chef de gare honoraire de Cuneo (FS) ; Monsieur Philippe MARTIN, Délégué aux projets alpins de Réseau ferré de France (RFF) ; Prof. Domenico SANINO, Giornalista e Presidente de Pro Natura Cuneo, ainsi que ses proches collaborateurs.

PRÉSENTATION

Le présent cahier constitue le premier des trois volets d'un dossier du GIR Maralpin traitant des caractéristiques d'infrastructures comparées des percées ferroviaires alpines franco-italiennes (Fréjus et Col de Tende) ; il en constitue la partie introductive.

Le lecteur voudra donc bien se reporter aux deux autres volets de ce dossier "*Contraintes constructives régissant les circulations sur les lignes de Modane et du Col de Tende*", ainsi qu'aux cahiers également élaborés par le GIR et traitant de sujets connexes (notamment les cahiers intitulés "*Éléments de mécanique ferroviaire*" et "*Capacités et potentialités comparées des percées ferroviaires alpines franco-italiennes*"), cahiers dont la liste est dressée en seconde page de couverture.

AVERTISSEMENT

Le présent dossier n'ayant aucune prétention à l'exhaustivité, les données et analyses qui y figurent appellent donc des compléments d'information dont certains, formellement sollicités auprès des administrations ferroviaires concernées, restent en cours d'instruction.

Afin d'en permettre l'examen critique et de faciliter des investigations ultérieures, un grand soin a été attaché à mentionner avec précision chacune des sources, qu'elles relèvent de publications, de "littérature grise", de courriers ou de simples entretiens.

Les références correspondantes, toutes inventoriées selon les cas, soit en tête, soit en fin de chacune des sections de ce document, devraient grandement faciliter les indispensables compléments, révisions, mises à jour, sinon refontes, de ce document de travail.

Ainsi présenté, ce dossier, inévitablement sommaire et incomplet, semble néanmoins devoir constituer une base valide pour des investigations plus systématiques et une analyse plus approfondie.

REMARQUES SUR LA PRÉSENTATION DES RÉFÉRENCES

Le mode d'identification retenu est du type "Harvard", avec quelques nuances toutefois, du fait de notre choix d'un classement catégoriel de ces références, par nature et par sources.

Identifications catégorielles

Tandis que, pour les publications traditionnelles (et, dans le cas présent, pour les articles de bulletins et de revues), la notation est constituée, en premier lieu des noms d'auteurs, et, en second lieu, du millésime de publication (par exemple [TESTA (1999)]), dans le cas des ouvrages collectifs, les noms des auteurs cèdent quelquefois leur rang aux acronymes des organismes auxquels ils ressortissent.

Références émanant d'organisations officielles ou d'organismes reconnus

Pour toute référence bénéficiant d'un tel label, ce dernier figure en tête de notation.

Ce label prend la forme, soit de l'acronyme de l'organisme (UIC, etc.) ou des organismes associés (par exemple [FS/RFF/SNCF (1998)]), soit, dans le cas d'ouvrages ou de documents complexes, d'un acronyme suivi d'une indication de localisation (par exemple [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 3.2.1.5.] ou encore [FS/PGOS-63]).

Signalement d'autres sources

Les références à des entretiens ou à des correspondances, incontournables dans ce type de dossier, ont fait l'objet d'une notation distincte ; le nom et le prénom de l'interlocuteur, ainsi que la date de l'entretien ou du courrier y figurant in extenso (par exemple [MARTIN Philippe (21.04.1999)]).

TABLE DES MATIÈRES

1. LES SPÉCIFICITÉS DES LIGNES ALPINES

- 1.1. Des contraintes et des compromis
- 1.2. Les franchissements ferroviaires des Alpes franco-italiennes
 - (a) Le cas de la ligne du Mont-Cenis
 - (b) Le cas des lignes de Tende
- 1.3. Les paramètres majeurs

2. MODALITÉS D'ÉVALUATION DES PARAMÈTRES MAJEURS

- 2.1. Contraintes du tracé en plan
 - (a) Courbes et vitesses limites
 - (b) Résistance à la traction engendrée par les courbes
- 2.2. Rampes et résistances dues à la gravité
- 2.3. Caractéristiques de ligne
 - (a) Profils en long corrigés et "gradi di prestazione"
 - (b) Distances virtuelles
- 2.4. Caractéristiques d'infrastructure et charges statiques
 - (a) Charges limite et classification UIC des lignes
 - (b) Classement par les Réseaux
 - (c) Catégorie dite "normale" d'un Réseau
- 2.5. Caractéristiques d'infrastructure et effets dynamiques
 - (a) Effets verticaux
 - (b) Effets transversaux
 - (c) Progressivité des sinuosités, des profils et des dévers
- 2.6. La voie
 - (a) La structure d'assise
 - (b) Le rail
 - (c) Les traverses, les attaches et la pose
- 2.7. Gabarits

3. LES CONTRAINTES D'EXPLOITATION

- 3.1. Traction
 - (a) Limites de résistance des attelages
 - (b) Limites de performances
- 3.2. Freinage - aspects qualitatifs
 - (a) Matériel moteur (traction électrique)
 - Freinage rhéostatique
 - Freinage par récupération
 - (b) Matériel remorqué
 - Systèmes de freinage et types de freins
 - Quantification des potentialités de freinage
 - Servitudes du freinage
- 3.3. Freinage - Normes et réglementations italiennes
 - (a) Gradi di frenatura
 - (b) Quelques contraintes de circulation régies par les Gradi di frenatura
 - Limites maximales de poids remorqué
 - Pourcentage minimal de poids freiné
 - Vitesses limite de circulation
 - (c) Longueur maximale des rames (réglementation FS)
- 3.4. Vitesses de ligne

4. ENTRETIEN ET SÉCURISATION DE LA VOIE ET DE SES OUVRAGES

- 4.1. Principes généraux d'organisation et d'exécution des travaux en ligne
 - (a) La maintenance préventive
 - (b) La maintenance corrective
 - (c) Les grandes opérations
- 4.2. Maintenance et "Blancs travaux"
- 4.3. L'organisation
 - (a) L'évolution de l'entretien
 - (b) La programmation des grands travaux

RÉFÉRENCES

TABLEAUX

RAPPELS SUR LES PRINCIPAUX CRITÈRES DE PERFORMANCE D'UNE LIGNE FERROVIAIRE APPLICATION AUX PERCÉES ALPINES

1. LES SPÉCIFICITÉS DES LIGNES ALPINES

1.1. Des contraintes et des compromis

Avant que ne s'ouvre l'ère des tunnels de base, les moyens techniques et financiers dont disposaient les concepteurs des percées ferroviaires ne les autorisaient à franchir les massifs qu'à une altitude relativement élevée afin de réduire l'ouvrage majeur à une longueur compatible avec les difficultés à surmonter lors de son percement.

Les contraintes de traction, mais aussi de freinage (qui furent la cause d'accidents catastrophiques), limitant les pentes admissibles pour les rampes d'accès, conduisaient à développer les tracés dans les configurations permises par le relief, en recourant à des déploiements dans des vallées secondaires ou à des circonvolutions adoptant parfois des tracés quasi hélicoïdaux dont la ligne de Tende présente plusieurs exemples remarquables.

Inversement, la tortuosité en découlant, affectant en retour, par les résistances induites, les performances de traction et aussi l'usure des matériels, les caractéristiques de tracé adoptées lors de la construction des percées alpines résultent de compromis, portant à la fois sur les caractéristiques de tracé en plan (courbes) et de profil en long (pentes), et présentent de ce fait d'assez grandes similitudes.

D'autres caractéristiques spécifiques des traversées alpines, également liées aux problèmes de traction, sont à mentionner.

Avant que la traction électrique ne débride la puissance des motrices, la longueur des convois très réduite encourageait la réalisation d'installations de gare et de voies de croisement étriquées. En revanche, les problèmes de ventilation soulevés par la traction à vapeur (et qui subsistent avec toute traction thermique) conduisit, même sur des lignes conçues pour une exploitation à voie unique comme les lignes du Col de Tende, à réaliser les plus grands ouvrages au gabarit de double voie.

Pour le restant d'entre eux, au contraire, en Suisse, en Italie et en France, où la réalisation de nombreux ouvrages souterrains s'imposait, les compagnies ferroviaires adoptèrent des gabarits peu généreux qui font aujourd'hui obstacle à l'essor de certains types d'acheminements du transport combiné.

1.2. Les franchissements ferroviaires des Alpes franco-italiennes

(a) Le cas de la ligne du Mont-Cenis [LESCA (1998)]

Quand, le 29 juin 1857, le Parlement de Turin autorisa le Gouvernement sarde à entreprendre la percée des Alpes entre Modane et Bardonnèche, le chemin de fer n'accédait au Nord qu'à St Jean de Maurienne (reliée en 1856 à Aix-les-Bains par un isolat du Chemin de fer Victor-Emmanuel⁽¹⁾), et au Sud à Susa (reliée à Turin et au delà jusqu'à Gènes depuis peu).

A l'époque, les pionniers que furent notamment les ingénieurs piémontais Ranco, Sommeiller, Grandis, Grattoni, firent leurs premières armes sur la traversée des Appenins de la ligne Turin-Gènes, et eurent à résoudre à la fois des problèmes de tracé, d'exécution et d'exploitation (traction notamment).

L'expérience en matière de tunnels ferroviaires était alors restreinte à des ouvrages réalisés sous faible couverture ; le plus long d'entre eux, précisément celui des Giovi (3255 m), percé entre 1848 et 1852, avait pu en effet être réalisé à partir de plusieurs puits d'accès.

Le percement du Fréjus n'aurait pu alors être mené à bien en moins de treize années (octobre 1857 – 25 décembre 1870) sans la mise au point entre temps de la perforation pneumatique à source d'énergie hydraulique, invention remarquable qui résolut radicalement à la fois les problèmes de forage, de

⁽¹⁾ son raccordement au réseau français ne fut pratiquement achevé qu'au rattachement de la Savoie à la France (avril 1960)

ventilation et d'énergie.

Les caractéristiques géométriques du tracé de cette première percée alpine trahissent, d'une part, les préoccupations des concepteurs (profil du tunnel en dos d'âne trop marqué avec une rampe continue de 23 ‰ sur son versant Nord), ainsi que leurs maladroites (rattrapage d'une erreur de nivellement par une rampe de 34 ‰ sur 500 m à son entrée Sud), et, d'autre part, les avatars de sa réalisation.

Ainsi, le tronçon nord Aix-les-Bains – St-Jean-de-Maurienne, conçu par la société anglaise *Brassey & Co*, concédé à la *Compagnie du chemin de fer Victor-Emmanuel*⁽²⁾, et inauguré en octobre 1856, fut prolongé par cette dernière jusqu'à St-Michel-de-Maurienne en mars 1862. Il semble avoir été géré à partir de 1859 par le *PLM*, et à lui rétrocédé en 1867, en vertu des accords d'annexion de la Savoie à la France. Conformément à ces mêmes accords, c'est le *PLM* qui réalisa la section St-Michel-de-Maurienne - Modane, mise en service en septembre 1971.

Sur le secteur piémontais, le choix très critiqué du versant droit de la vallée, dont la géologie fut difficile à maîtriser, eut sans doute pour conséquence le maintien à voie unique jusqu'en 1985, du tronçon Šalbertrand-Bussoleno.

En résultent des inhomogénéités, en matière de caractéristiques d'ouvrages, et surtout de profil, sur chaque versant et d'un versant l'autre, inhomogénéités examinées dans le Volet B "*Caractéristiques d'infrastructures de la ligne de Modane*" et dont on verra l'incidence sur l'exploitation de la ligne qui présente, de part et d'autre de son point sommital, des rampes dépassant 30 ‰.

(b) Le cas des lignes de Tende

Comme on le verra, les lignes de Tende n'ont pas échappé à toutes ces contraintes, leur construction s'étant échelonnée de 1883 à 1928, et ce, sous des administrations et des tutelles fluctuantes ; elles ont cependant, du fait de leur réalisation tardive, bénéficié de dispositions de tracé relativement avantageuses.

En dépit d'une orographie particulièrement sévère, leurs concepteurs ont en effet retenu des caractéristiques en plan et en profil ménageant la vitesse en ligne (rayons minimaux de 320 m sur le versant piémontais et de 300 m sur le versant méditerranéen) sans obérer la capacité de trafic (rampes maximales de 26 ‰).

La Compagnie du PLM (Paris-Lyon-Méditerranée), en charge des sections françaises, réalisait à double voie (à l'instar du tunnel de Tende sur le tronçon italien) trois de ses plus longs souterrains, et adoptait des dispositions novatrices plus généreuses pour les gabarits des autres ouvrages, sans doute dans la perspective d'une électrification par caténares qu'elle se préparait à expérimenter sur Cannes-Grasse.

Enfin, sa reconstruction tardive (suite aux destructions systématiques de la seconde guerre mondiale) a fait bénéficier l'ensemble de la ligne de la Roya (du tunnel de Tende à Ventimiglia) de dispositions conformes aux besoins nouveaux : la réservation du gabarit GB sur l'ensemble des ouvrages, la mise en place de voies d'évitement longues (de l'ordre de 700 m), ainsi que la commande centralisée de trafic [cf. Volet C "*Caractéristiques d'infrastructures des lignes du Col de Tende*".

1.3. Les paramètres majeurs

Les paramètres majeurs d'une ligne ferroviaire sont constitués par les caractéristiques de tracé en plan (rayon des courbes) et en profil (rampes), par les caractéristiques d'ouvrages (gabarits d'ouverture des ouvrages souterrains et passages supérieurs, résistance des ponts), et enfin par les équipements (armement, longueur des voies d'évitement, signalisation, traction).

Du fait de l'homogénéité de tracé souhaitée par les concepteurs d'une ligne de montagne, ses caractéristiques géométriques présentent un caractère quasiment définitif, sauf à reconstruire des sections entières.

Il en est pratiquement de même des caractéristiques d'ouvrages souterrains, lesquels, du fait de leur nombre et de leur longueur, ne peuvent faire l'objet que de retouches mineures (rescindements, ripage ou abaissement des voies) permettant de dégager à grand coût des gabarits légèrement améliorés (pour l'électrification de la ligne ou le passage de chargements de catégorie d'encombrement supérieure).

L'allongement ou la création de voies d'évitement, outre le coût de génie civil, peut soulever des difficultés d'insertion dans le profil en long, le stationnement des rames imposant une disposition en

⁽²⁾ société à capitaux français et piémontais ayant son siège à Paris, créée par Cavour et présidée par Charles Laffitte [LESCA (1998)]

palier ou semi palier.

En revanche, peu de contraintes physiques pèsent sur les perfectionnements réalisables en matière de signalisation et de traction (hormis les éventuels dégagements de gabarit requis pour l'électrification).

2. MODALITÉS D'ÉVALUATION DES PARAMÈTRES MAJEURS

2.1. Contraintes du tracé en plan

(a) Courbes et vitesses limites

Le rayon des courbes régit la vitesse de circulation. Du fait de l'effet centrifuge, la vitesse autorisée croît comme l'inverse du carré du rayon de giration et en proportion du dévers (pente transversale de la voie) adopté (lequel résulte d'un compromis entre les circulations lentes et les circulations rapides).

Ce compromis conduit à admettre une *insuffisance de dévers* qui s'accompagne d'une poussée transversale centrifuge sur la voie. On conçoit que la bonne tenue de cette dernière impose une limitation de cette *insuffisance de dévers* et, de ce fait, une limitation de la vitesse de circulation [on trouvera exposées dans le Cahier 5 "*Eléments de mécanique ferroviaire*" les grandes lignes des interactions entre voie et véhicules ferroviaires].

La vitesse limite de ligne est évaluée à la SNCF [MENESSION Alain (04.02.1999)] à partir de l'expression :

$$D_{\text{tot}} = 0,0118 V^2/R$$

où :

- D_{tot} est le dévers total (somme du dévers D et de l'insuffisance de dévers I) exprimés en mètres
- V , la vitesse limite exprimée en Km/h
- R le rayon de la courbe exprimé en mètres

En retenant 0,160 m pour valeur limite de chacun des dévers D et I [valeurs correspondant à des voies performantes], l'expression s'écrit $R = V^2/26$, ce qui conduit à une vitesse limite de l'ordre de 90 km/h sur une courbe de 300 m de rayon.

En pratique, sur une voie de caractéristiques mécaniques données, la vitesse maximale de circulation est dictée par le rayon minimal des courbes. Les gains de vitesse (de l'ordre de 15 %) atteints avec un matériel pendulaire résultent de la compensation des effets centrifuges ressentis par les voyageurs, mais ne peuvent être obtenus sans allègement des charges par essieu de ce matériel, renforcement éventuel des voies, et, si nécessaire, amélioration de sa qualité⁽³⁾.

(b) Résistance à la traction engendrée par les courbes

Cette résistance induite par les frottements est considérée comme indépendante de la vitesse de circulation, elle peut donc être assimilée à une pente fictive dont les effets se cumulent à ceux des rampes.

Cette résistance ρ due aux courbes est considérée en France, à la SNCF, comme inversement proportionnelle au rayon R selon l'expression $\rho = 800/R$ où R est exprimé en mètres et ρ en ‰ [MARTIN Philippe (21.04.1999)].

Les estimations auxquelles cette expression conduit diffèrent quelque peu de celles de l'abaque adoptée par les chemins de fer italiens (FS) [cf. Tableau 1 "*Résistances dues aux courbes*"].

2.2. Rampes et résistances dues à la gravité

La résistance due à la gravité est proportionnelle à la pente i (quotient de la dénivelée par la distance horizontale). La modicité des pentes admissibles sur les tracés ferroviaires permet d'assimiler i au quotient de la dénivelée par le parcours.

2.3. Caractéristiques de ligne

(a) Profils en long corrigés et "gradi di prestazione" [BRUGNETTA (1965)]

⁽³⁾ on trouvera dans le Cahier 5 "*Eléments de mécanique ferroviaire*" le classement adopté par les FS pour caractériser les vitesses admises en fonction de la nature des lignes et des catégories de circulation.

Les résistances dues à la gravité et aux courbes constituent un invariant d'infrastructure, invariant qui conditionne les moyens de traction, et, plus drastiquement, encore la charge remorquée, celle-ci étant strictement limitée (hormis machines de pousse) par la résistance des attelages.

Les administrations ferroviaires sont donc conduites à prendre en considération la "pente corrigée", invariant spécifique de chaque portion du tracé et d'établir le "profil corrigé" $r = \rho + i$ de la ligne dont les secteurs critiques auront à faire l'objet de mesures d'exploitation (traction et freinage) spécifiques.

Les chemins de fer italiens pour leur part ont défini des "classes de prestations" ("gradi di prestazione") au nombre de 31 qui couvrent une gamme de profils corrigés comprise entre 4,5 et 40,5. Ces indications, ainsi que les valeurs maximales des rampes, sont portées en regard de chaque section (ou portion de section) de ligne sur les livrets de circulation des FS [cf. Tableau 2 "*Gradi di prestazione delle linee FS*"].

Ces "classes de prestation" sont, dans la réglementation FS, directement utilisées pour la quantification des charges limite remorquées [cf. 3.1.(a)].

(b) Distances virtuelles [BRUGNETTA (1965)]

Afin de disposer d'appréciations sur les coûts relatifs d'acheminement (en faisant abstraction de l'important paramètre vitesse de circulation), les chemins de fer italiens avaient entrepris d'établir des tables de "distances virtuelles" selon le mode de calcul suivant :

$$\text{longueur "virtuelle"} = \text{longueur réelle} [1 + (i + \rho)/5]$$

Cette formule est assortie de valeurs limites particulières s'appliquant aux sections en descente présentant des valeurs négatives de i largement supérieures à celles (toujours positives) de ρ . Ces limites sont fixées à 1 km virtuel pour 5 km réels, avec un minimum de 1 km virtuel pour une section de station à station.

A titre indicatif, les valeurs ainsi établies pour certaines lignes du réseau piémontais des FS sont reproduites dans le Tableau 3 "*Distanze reali e virtuali esistenti tra alcune località*".

2.4. Caractéristiques d'infrastructure et charges statiques

(a) Charges limite et classification UIC des lignes

L'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) a défini, sous la forme de la Fiche UIC 700-O (1994), un mode de classement de lignes ou sections de lignes en catégories, en vue de l'admission des wagons selon leurs caractéristiques géométriques, leur masse par essieu et leur masse par unité de longueur, afin d'en déduire les chargements limite des wagons admis à circuler sur ces lignes.

Les conditions d'acheminement accéléré [Régimes S (100 km/h) ou SS (120 km/h)] peuvent conduire à des diminutions de la charge utile.

(b) Classement par les Réseaux

Les Réseaux doivent classer leurs lignes ou sections de lignes parmi les catégories A, B1, B2, C2, C3, C4, D2, D3, D4 définies au Tableau 4 "*Classification UIC des lignes selon les charges admises*". Les lignes ainsi classées sont cependant susceptibles de faire l'objet de limitations de vitesse, notamment au franchissement de certains ouvrages d'art [UIC 700-O (1994)].

Les chemins de fer italiens ont retenu de ne classer l'ensemble de leurs lignes qu'en quatre catégories, les catégories retenues étant : A, B2, C3 et D4 [FS/PGOS-116 (1986)].

(c) Catégorie dite "normale" d'un Réseau

En outre, les réseaux doivent, pour l'ensemble de leurs lignes, fixer une catégorie dite "normale", qui doit être obligatoirement choisie parmi les 9 catégories du Tableau 4 [UIC 700-O (1994)]. Les catégories "normales" retenues par chacune des administrations européennes sont relevées par FS/PGOS-121 (1988). On y note que la catégorie "normale" retenue par la SNCF est la catégorie C4 [identique à celle retenue par les chemins de fer belges mais inférieure à celle (D4) proposée par les chemins de fer luxembourgeois et les DB].

2.5. Caractéristiques d'infrastructure et effets dynamiques

Ne sont évoqués ici que quelques conséquences pratiques de considérations théoriques développées dans notre Cahier 5 "*Eléments de mécanique ferroviaire*".

(a) Effets verticaux

La valeur moyenne des efforts verticaux exercés sur la voie est proportionnelle à la vitesse des véhicules, à la racine carrée des masses non suspendues ainsi qu'à celle de la rigidité de la voie.

Pour ce qui concerne la voie, leur atténuation s'obtient nécessairement par l'épaississement du ballast et l'interposition, entre rail et traverse, de semelles élastiques.

(b) Effets transversaux

Les efforts transversaux sur la voie, par le risque de dérapage qu'il peuvent occasionner, constituent l'une des contraintes majeures de sécurité de circulation. Ils commencent à s'exercer lorsque la vitesse dépasse la vitesse théorique d'équilibre correspondant au dévers adopté pour la voie. La hauteur des dévers étant limitée pour préserver la stabilité des véhicules lors d'arrêts en voie et ne pas surcharger exagérément la file basse de la voie lors de circulations lourdes à basse vitesse, les administrations ferroviaires admettent un certain niveau d'efforts transversaux.

Ces efforts transversaux (exprimés par l'accélération transversale non compensée A_{nc}) sont liés à l'insuffisance de dévers I par la relation biunivoque : $I = 153 A_{nc}$ (où I est exprimé en mm et A_{nc} en m/s^2). On trouvera donc exprimées, soit en accélérations non compensées, soit en insuffisance de dévers, les valeurs limites d'efforts transversaux adoptées par les administrations pour les différentes voies de leur réseau.

Les FS ont pris le parti de moduler ces valeurs limite à partir d'une valeur de base $A_{nc} = 0,6 m/s^2$ (soit $I = 92$ mm), plafond imposé aux lignes et aux catégories de circulation de rang inférieur (Rang A). L'échelonnement adopté est le suivant (VA, VB, VC et VP étant les vitesses limites maximales autorisées) [TESTA (1999)] :

- "Rang A" : $A_{nc} \max : 0,6 m/s^2 ; VA \leq Vt$
- "Rang B" : $A_{nc} \max : 0,8 m/s^2 ; VB \leq 1,06 Vt$
- "Rang C" : $A_{nc} \max : 1,0 m/s^2 ; VC \leq 1,11 Vt$
- "Rang P" [pendulaires] : $A_{nc} \max : 1,8 m/s^2 ; VP \leq 1,18 Vt$

Ces vitesses sont exprimées en fonction d'une vitesse nominale de ligne Vt définie comme correspondant à une accélération non compensée de $0,6 m/s^2$ avec un dévers de 160 mm, valeur maximale admise [ces informations sont développées dans notre Cahier 5 "*Eléments de mécanique ferroviaire*".].

(c) Progressivité des sinuosités, des profils et des dévers

Le souci d'amoinrir les efforts transversaux exercés sur la voie a conduit très tôt les concepteurs de lignes ferroviaires à prévoir une progressivité des tracés, ainsi le raccordement parabolique est-il déjà utilisé par Chaves sur le Réseau du Nord dès 1865 [ALIAS (1998)].

La progressivité des raccordements en plan, en profil et en dévers semble en outre devoir être particulièrement soignée sur les lignes ouvertes aux circulations à caisses inclinables en raison de l'accroissement des vitesses qui y sont pratiquées, et, en conséquence, de la perception accrue des gradients d'accélération par les passagers.

2.6. La voie [ALIAS (1998)]

(a) La structure d'assise

La portance de la plate-forme dépend de la qualité du sol en place ainsi que de la qualité et de l'épaisseur des couches de forme. Sont définies, en fonction de leur résistance à la compression, trois types de résistances à la compression P1, P2 & P3. La Fiche UIC 719-R définit l'épaisseur à conférer aux structures d'assise, en tenant compte du trafic de la ligne, de la longueur des traverses, de la charge d'essieu, et de la vitesse.

(b) Le rail

L'augmentation de la charge par essieu et de la vitesse des convois a nécessairement conduit au renforcement de la résistance et de la qualité du rail. Dès l'entre deux guerres, les profils se sont étoffés à

46, 50 et même 62 kg/m au PLM. Aujourd'hui, le profil le plus couramment utilisé sur les lignes importantes, y compris les lignes à grande vitesse (LGV), est le U 80 (ou UIC 60) de 60 kg. Un profil 70 kg UIC a été conçu, mais non encore laminé à ce jour.

L'acier à rail est un produit de haut de gamme assumant un compromis entre résistance à l'usure et fragilité. La plupart des réseaux ont généralisé, conformément à la Fiche UIC 860, trois nuances d'acier à rail caractérisées par leur résistance à la rupture, très voisine de la limite d'élasticité : le 700 Mpa, le 900 Mpa à teneur plus élevée en carbone qui constitue maintenant le standard des grands réseaux européens, et les aciers à haute résistance (1100 à 1300 Mpa), qui sont en acier allié (tendance Etats-Unis) ou en acier traité thermiquement à trempé profonde adopté par la SNCF, utilisés dans les zones à forte usure.

La durée de vie d'un rail posé dans les conditions normales est, de ce fait, passée de quelques centaines de millions de tonnes de trafic à un milliard.

(c) Les traverses, les attaches et la pose

A partir de 1950, l'apparition des attaches doublement élastiques a rendu techniquement viable la traverse en béton qui pâtissait d'un manque d'amortissement mais présente l'avantage de sa lourdeur, appréciée avec la pose de longs rails soudés (LRS) maintenant généralisée.

L'évolution récente des caractéristiques techniques des voies nouvelles italiennes et leur pose [TESTÀ (1999)] épouse celle de la SNCF. L'exception que les FS font désormais à la pose de LRS sur traverses béton se restreint aux courbes de rayon inférieur à 275 m où les spécifications à observer, quelle que soit la nature des lignes, sont les suivantes : rails éclissés posés sur traverses bois avec attaches semi-rigides type K.

2.7. Gabarits

[Ce paramètre d'infrastructure fait l'objet d'une analyse approfondie dans nos Cahiers 1A "*Transport combiné et infrastructures ferroviaires*" & 2A "*Transport combiné et infrastructures ferroviaires – Compléments I*" auxquels le lecteur est invité à se reporter]

3. LES CONTRAINTES D'EXPLOITATION

Ainsi que le rappellent les instructions générales des FS [FS/PGOS-60], tout matériel remorqué doit s'inscrire dans des limites

- de performances de traction du matériel moteur ;
- de masse, en référence à la limite de résistance des attelages ;
- de masse, en référence aux impératifs et capacités de freinage ;
- de longueur, en référence au type de freinage en usage sur la rame.

Sur les lignes électrifiées, la puissance de traction ne constituant généralement pas un paramètre limitant (pour autant que la puissance délivrée aux caténaires soit suffisante), seuls les trois derniers de ces points feront l'objet d'un examen attentif.

3.1. Traction

(a) Limites de résistance des attelages

La masse maximale remorquable, éventuellement avec plusieurs motrices, est subordonnée au respect des limites de résistance des attelages. Ces limites dépendent du profil de la ligne sur chaque section. Actuellement, en dépit de la normalisation des attelages et de la banalisation du matériel remorqué, du fait de réglementations différentes, ces valeurs diffèrent sur chacun des réseaux [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 4.2.3.].

Sur le réseau FS, la masse maximale remorquable est réglementairement quantifiée en fonction des "*gradi di prestazione*" ("classes de prestation") dont la définition a été donnée en 2.3.(a) [cf. Tableau 5 "*Massimo peso rimorchiato ammesso dalla resistenza degli organi di attacco*"].

A titre indicatif, on trouvera ci-après, en fonction des rampes maximales corrigées, les limites de résistance retenues par les deux administrations ferroviaires sur différentes sections de la ligne Dijon - Torino [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 3.2.1.5] :

- Dijon - Ambérieu (< 10 ‰) : > 1600 t
- Ambérieu - St. Jean de Maurienne (15 ‰) : 1600 t
- St Jean de Maurienne - Modane (34 ‰) : 1000 t
- Modane - Bardonnechia (28 ‰) : 1150 t
- Torino - Bussoleno (11 ‰) : 1580 t
- Bussoleno - Modane (32 ‰) : 1150 t [par dérogation (cf. ibidem § 5.4.2.9.)] (*)
- Modane - Dijon (12 ‰) : 1820 t

(*) Bussoleno - Modane relevant des classes de prestations suivantes : 26 (entre Bussoleno et Salbertrand, sur la voie de gauche au profil le plus favorable), puis 27 en sortie de Bardonnechia (sur moins de 1600 m), les charges maximales admises selon la réglementation FS [cf. Tableau 5 précité] devraient y être en effet respectivement de 900 t et de 870 t.

(b) Limites de performances [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 4.2.2.]

Les fortes pentes et le profil accidenté

- limitent la masse remorquable par les locomotives,
- empêchent d'atteindre la vitesse limite de ligne.

Pour atténuer ces effets, chaque réseau a recours à des engins de traction de grandes performances, et, si nécessaire, à des couplages d'engins, et même à des engins en pousse.

Sur une ligne comme celle du Fréjus, le tonnage de 1600 t représente la limite actuelle de la masse maximale admise, pour un ensemble de raisons autres, telles que :

- organes d'attelage,
- capacité de la pousse,
- infrastructure de la ligne (longueur maximale des trains dictée par celle des voies de garage ou d'évitement).

3.2. Freinage - aspects qualitatifs

(a) Matériel moteur (traction électrique) [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 4.2.]

On peut considérer qu'une motrice assure deux fonctions :

- la traction du convoi, l'engin moteur absorbant l'intensité à la caténaire et transformant l'énergie électrique ainsi captée en énergie mécanique,
- le freinage du convoi, l'engin convertissant l'énergie mécanique de désaccélération en énergie électrique dissipée dans une résistance (rhéostat). ou renvoyée sur la caténaire (récupération) ; ce type de freinage permet de réduire l'usure des sabots de frein et des tables de roulement.

Freinage rhéostatique

Il apparaît qu'aucun des types de machines couramment utilisées sur la ligne de Maurienne ne permet de ralentir un train lourd avec ce seul freinage ; ainsi, en déclivités de 30 ‰, la capacité de ralentissement des motrices en service, comprise entre 450 t et, au mieux, 600 t (locomotives CC 6500), implique le recours au freinage mécanique, entraînant des problèmes de tenue de semelles de frein sur les convois lourds [cf. (b) infra].

Freinage par récupération

Au lieu de dissiper et perdre l'énergie sur une résistance, on peut envisager sa récupération en la renvoyant sur la caténaire pour la traction d'un autre convoi.

Cependant, en dehors de zones à forte densité de circulation (banlieues urbaines), cette probabilité de récupération mutuelle est faible, et il peut advenir que l'énergie de freinage surpasse celle de traction, obligeant ainsi une limitation de récupération.

Cette récupération, aisée en alimentation alternative, achoppe en alimentation continue sur l'unidirectionnalité des redresseurs au silicium des sous-stations modernes, et requiert la mise en place d'onduleurs-redresseurs pour délivrer l'énergie alternative assimilable par le réseau d'alimentation.

(b) Matériel remorqué

Systèmes de freinage et types de freins [FS/PGOS-68]

Bien que le freinage continu soit devenu la règle, dans certains cas particuliers le freinage de certains véhicules peut relever du freinage dit "manuel".

Le freinage continu dispose de deux modes, le mode "voyageurs" (à action immédiate) et le mode

"marchandises" (à action modérée).

Quantification des potentialités de freinage [FS/PGOS-68]

La capacité de freinage d'un train est déterminée par le poids freiné disponible sur l'ensemble du convoi [motrice(s) et véhicules] ; son efficacité est directement dépendante du rapport entre la masse totale du convoi (tare + charge) et le poids freiné. Ce rapport qui est exprimé en % de poids freiné peut dépasser la valeur 100. Ce pourcentage régit l'ensemble des règles de sécurité relatives à la circulation des trains.

Servitudes du freinage

Du fait des nécessités de freinage intense, à l'issue d'une traversée alpine, les wagons de trains lourds présentent un taux élevé d'usure des semelles, voire des porte-semelles. L'arrêt du train pour réparation (afin de garantir un pourcentage de poids-frein acceptable) entraîne alors un retard d'acheminement [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 4.2.3.].

Le contrôle systématique de l'état des freins avant ou au franchissement d'un seuil constitue une servitude affectant les délais d'acheminement.

3.3. Freinage - Normes et réglementations italiennes

(a) Gradi di frenatura [FS/PGOS-67]

Les chemins de fer italiens ont défini dix "gradi di frenatura" ("classes de freinage") pour caractériser les contraintes de freinage liées au tracé des lignes.

Ces classes de freinage, définies en fonction des pentes rencontrées [cf. Tableau 6 "*Gradi di frenatura e pendenze delle linee*"], sont affectées à chaque tronçon de ligne représentatif et sont portées sur les tables de l'Orario di Servizio de la ligne.

Sur les lignes en rampe (ou offrant des tronçons en rampe), en cas d'arrêt du train, son immobilisation doit être assurée, ainsi que sa sûreté de freinage dans le sens de marche inverse en cas de rebroussement. Ces précautions conduisent à mentionner, pour chaque section de ligne, conjointement à la classe de freinage dans le sens normal de circulation, la classe de freinage correspondant à la circulation dans le sens opposé.

La classe de freinage dans le sens normal est indiquée en chiffres romains, tandis que celle du sens opposé figure en indice en chiffres arabes.

(b) Quelques contraintes de circulation régies par les Gradi di frenatura

Limites maximales de poids remorqué [FS/PGOS-73]

Ces limites maximales sont les suivantes :

- 1 300 tonnes pour les classes de freinage à partir de la classe VI comprise ;
- 900 tonnes pour les trains à traction vapeur circulant sur des lignes de classe VIII et IX.

Pourcentage minimal de poids freiné [FS/PGOS-72]

Le Tableau 7 "*Percentuali minime di peso frenato nella parte rimorchiata*" définit le pourcentage minimal de poids freiné en fonction de la classe de freinage de la ligne (ou section de ligne). Ce règlement est assorti de nombreuses spécifications, notamment relatives aux véhicules de queue ainsi qu'à l'emplacement relatif dans le convoi de véhicules non freiné.

Vitesses limite de circulation [FS/PGOS-81]

Sur des lignes ou tronçons de ligne en pente, les vitesses maximales de circulation sont conjointement plafonnées par les classes de freinage et les pourcentages de poids freiné.

Le Tableau 8 "*Velocità massima assoluta ammessa per treni serviti da freno continuo tipo viaggiatori*" révèle que pour les classes de freinage qualifiant les lignes alpines, des convois bénéficiant pourtant d'un pourcentage de poids freiné très élevé peuvent avoir leur vitesse de circulation sérieusement limitée.

(c) Longueur maximale des rames (réglementation FS) [FS/PGOS-73]

Les chemins de fer italiens fixent aux valeurs suivantes, selon leurs type de freinage, les longueurs maximales de rames tractées :

- 680 m pour tous les modes de freinage (trains de voyageurs ou de marchandises), avec pour exception :
- 1000 m pour les rames à freinage continu type marchandises.

3.4. Vitesses de ligne [FS/PGOS-63 ; TESTA (1999)]

Pour définir les vitesses maximales à observer sur leurs lignes ou tronçons de ligne, les chemins de fer italiens distinguent quatre catégories de circulations :

- Catégorie "P" : ce sont les rames spécialisées à grande vitesse (notamment les pendulaires),
- Catégorie "C" : ce sont les matériels à voyageurs admis à circuler à des vitesses supérieures à 160 km/h et tractés par des locomotives de rang "C",
- Catégorie "B" : ce sont en général les automotrices et rames légères, ainsi que les matériels à voyageurs à bogies admis à circuler à des vitesses de 120 à 140 km/h et tractés par des locomotives de rang "B",
- Catégorie "A" : Ce sont toutes les autres circulations, ainsi que les locomotives isolées.

Les lignes peuvent être ouvertes à une ou plusieurs catégories, l'ouverture à la catégorie "C" n'impliquant pas nécessairement l'ouverture à la catégorie "P".

4. ENTRETIEN ET SÉCURISATION DE LA VOIE ET DE SES OUVRAGES

4.1. Principes généraux d'organisation et d'exécution des travaux en ligne [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 3.1.6.]

On distingue trois grandes catégories de travaux en ligne :

- la maintenance préventive
- la maintenance corrective
- les grandes opérations

(a) La maintenance préventive

L'ensemble de l'infrastructure, voie, signalisation, installations de traction électrique (notamment caténaires), etc., fait l'objet d'une maintenance préventive organisée selon un principe de visites et de révisions cycliques. Ces révisions cycliques sont généralement programmées d'une année sur l'autre.

(b) La maintenance corrective

Elle consiste à remettre en état une installation en dérangement (panne). Elle est par nature non programmable.

(c) Les grandes opérations

Elles consistent à procéder aux remplacements importants d'éléments constitutifs de l'infrastructure. Il s'agit principalement de renouvellements de voie et de ballast (RVB), de grands entretiens de la caténaire (GEC), de remplacements d'appareils de voie, de travaux de génie civil, etc. [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 3.1.6.].

Les grands travaux d'entretien sont, en règle générale, toujours très importants sur la partie la plus accidentée d'une ligne [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 2.1.].

4.2. Maintenance et "blancs travaux"

Pour procéder aux visites et réaliser la maintenance préventive, les services d'équipement des administrations ferroviaires se réservent un créneau d'interruption de circulation appelé "blanc travaux". Ce "blanc travaux" est d'environ 1h 50 par voie et par jour à la SNCF où existe cependant une volonté de limiter leur utilisation en regroupant la maintenance sur des périodes programmées. Aux FS, la tendance serait plutôt d'assurer une durée des plages travaux de deux heures par voie [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 3.1.6.3.].

4.3. L'organisation

(a) L'alignement des "blancs travaux"

L'alignement des blancs travaux apporte à l'écoulement du trafic des améliorations considérables pour autant que les vitesses moyennes des circulations diffèrent peu. La mise en place de ces alignements se heurte néanmoins à des limites : ainsi l'alignement des blancs travaux n'apparaît pas possible sur l'ensemble de l'axe Dijon-Turin, les prolongements sur le parcours italien étant soit trop tardifs, soit trop

matinaux ; dans ce cas particulier, une amélioration sensible pourra être néanmoins apportée en alignant les blancs travaux dans les deux sens, respectivement sur Dijon-Modane et Modane-Turin, autour de l'interface de Modane, arrêt actuellement obligatoire pour la grande majorité des convois [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 5.2.2.b.].

(b) L'évolution de l'entretien

Les opérations d'entretien sont de plus en plus mécanisées. Ainsi, tandis que des remplacements manuels de traverses ne nécessitent pas d'interruption de trafic, un même remplacement de traverses mécanisé s'effectue avec des machines sur la voie et nécessite une interruption de circulation.

(c) La programmation des grands travaux

A la SNCF, le programme des grands travaux (PGT) prépare, avec deux services, d'avance (soit une année) les mesures à prendre pour assurer l'écoulement du trafic dans le cas d'interruptions de circulation importantes (8 heures par jour ou davantage). Les horaires de circulation des trains sont alors conçus en tenant compte de ces travaux et en ajoutant éventuellement une marge pour ralentissement [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 3.1.6.1.4.].

Aux FS, il existe plusieurs niveaux de programmation préventive des interruptions et ralentissements :

- période longue pluriannuelle (avec trois ans d'anticipation)
- période moyenne (programmation annuelle basée sur l'horaire de l'année suivante)
- période courte (programmation de détail avec détermination spécifique des jours d'utilisation, à délai mensuel tenant compte d'une programmation annuelle préétablie) [FS/RFF/SNCF (1998) ; § 3.1.6.2.3.].

RÉFÉRENCES

ALIAS Jean (1998)

Cent vingt ans de voie ferrée

Revue Générale des Chemins de Fer ; ISSN 0035-3183 ; Elsevier, Paris ; n° 7-8 "120^{ème} anniversaire", juillet-août 1998; pp. 39-49.

BRUGNETTA Edoardo (1965)

Meccanica della trazione

Appunti tratti dal corso A. M. tenuto a Torino nel 1965 dal Capo Deposito Brugnetta Edoardo.

FS/PGOS

Prefazione Generale all'Orario di Servizio

Ministerio dei Trasporti - Ferrovie dello Stato ; Edizione 1963, ristampa 1982 e aggiornata con Orari di Servizio ; Roma.

FS/PGOS-60

(ibidem) Art. 60 (O.S. 2/1989) "Massimo peso e massimo numero di assi del materiale remorchiato", p. 94.

FS/PGOS-63

(ibidem) Art. 63 (O.S. 5/1991) "Velocità massima ammessa dalla linea", pp. 97-98

FS/PGOS-67

(ibidem) Art. 67 "Gradi di frenatura delle linee", p. 110, Tabella 35.

FS/PGOS-72

(ibidem) Art. 72 (O.S. 2/1989) "Determinazione del peso frenato occorrente ai treni - Velocità massima ammessa e norme varie", p. 115, Tabella 36.

FS/PGOS-73

(ibidem) Art. 73 (O.S. 24/1992) "Massima composizione ammessa dalla frenatura", p. 117, Tabella 38.

FS/PGOS-116/118

(ibidem) Capitolo XIII "Limite di carico dei carri – Peso per asse e per metro corrente – Relativi regimi di velocità", pp. 191-197.

Art. 116 (O.S. 15/1986) "Generalità"; Art. 117 (O.S. 26/1994) "Regimi di velocità – Indicazioni del limite di carico sui carri"; Art. 118 (O.S. 5/1991) "Classificazione delle linee FS in categorie in relazione al limite di carico".

FS/PGOS-121

(ibidem) Art. 121 (O.S. 4/1988) "Classificazione delle linee delle amministrazioni estere – limite di carico per trasporti diretti all'estero", pp. 208-210.

FS/RFF/SNCF (1998)

Etude d'amélioration d'écoulement du trafic fret franco-italien sur l'axe international Dijon-Modane-Turin

Rapport définitif (septembre 1998) [document provisoire]

Rapport (207 pages) complété par 34 annexes comportant de nombreux tableaux et planches.

LESCA Corrado (1998)

Tre ingegneri per un traforo – La storia della ferrovia del Frejus

Editrice Melli,; I-10050 Borgone di Susa ; luglio 1998 ; 190 pages, 1 planche.

MARTIN Philippe (21.04.1999)

Délégué aux projets alpins de Réseau Ferré de France

Entretien en ses bureaux de Chambéry le 21.04.1999 avec J. Molinari

MENESSIER Alain (04.02.1999)

Chargé de mission "Gabarits" ; Département VP (VPN1) ; SNCF, Direction de l'Equipement et de l'Aménagement

Entretien en ses bureaux de Paris, rue des Poissonniers, le 04.02.1999, avec J. Molinari

TESTA Mario (1999)

[Armamento e Opere d'Arte, Direzione tecnica, Divisione Infrastrutture ; FS Roma]

Requirements on infrastructure maintenance and track geometry by higher curving speed

UIC-UNIFE-ERRI Interactive Seminar « Can your railway benefit from tilting train technology » ; Paris 6-7 May 1999.

European Rail Research Institute, Utrecht (NL) ; preprint 8 pages.

UIC 700-O (1994)

Classification des lignes – Limites de chargement des wagons qui en résultent

Union Internationale des Chemins de fer ; Code UIC 700-O, mod. 01.01.1994 ; Paris ; 27 pages.

TABLEAUX**Tableau 1**

Résistances dues aux courbes – Pentas fictives équivalentes (Règles FS et SNCF)

Tableau 2

Gradi di prestazione delle linee FS (Indicateurs de contraintes de traction en usage aux FS)

Tableau 3

Distanze reali e virtuali esistenti tra alcune località (Distances réelles et virtuelles entre quelques localités sur le réseau piémontais des FS)

Tableau 4

Classification UIC des lignes selon les charges admises

Tableau 5

Massimo peso rimorchiato ammesso dalla resistenza degli organi di attacco attacco - Treni di materiale ordinario trainato da locomotive e senza locomotive attiva in coda (Charge maximale remorquée admise)

par la résistance des attelages – Cas d'un train de matériel ordinaire tracté par une locomotive et sans motrice de pousse [règlementation FS])

Tableau 6

Gradi di frenatura e pendenze delle linee (Indicateurs de freinage en usage aux FS et pente des lignes)

Tableau 7

Percentuali minime di peso frenato nella parte rimorchiata (Pourcentage minimum de poids freiné de la partie remorquée d'un convoi [règlementation FS])

Tableau 8

Velocità massima assoluta ammessa per treni serviti da freno continuo tipo viaggiatori (Vitesse maximale absolue admise pour des convois équipés du frein continu type voyageurs [règlementation FS])

| Résistances dues aux courbes - Pentés fictives équivalentes (en ‰) | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| R (m) | | 1000 | 900 | 800 | 700 | 600 | 500 | 450 | 400 | 350 | 300 | 250 | 200 | 180 |
| FS | r | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 2 | 2,4 | 2,8 | 3,4 | 4,2 | 4,5 |
| SNCF | r | 0,8 | 0,9 | 1 | 1,15 | 1,3 | 1,6 | 1,75 | 2 | 2,3 | 2,7 | 3,2 | 4 | 4,4 |

LÉGENDE

Rayons des courbes : R ; Pentés fictives équivalentes : r (‰)

SOURCES

FS : BRUGNETTO Edoardo (1995) [communiqué par DANIELE Michelangelo (1998)]

SNCF : La pente fictive équivalente est donnée par le quotient 800/R (m) [MARTIN Philippe (1998)]

GIR/FsSnCFPentEquiv/JM(98.12.26)

TABLEAU 1

Résistances dues aux courbes – Pentés fictives équivalentes (Règles FS et SNCF)

| Gradi di prestazione delle linee FS | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| i + p | grado | i + p | grado | i + p | grado | i + p | grado |
| 4,5 | 1 | 9,2 | 9 | 17 | 17 | 27,8 | 25 |
| 5 | 2 | 10 | 10 | 18,4 | 18 | 29,3 | 26 |
| 5,5 | 3 | 11 | 11 | 18,8 | 19 | 30,7 | 27 |
| 6 | 4 | 12 | 12 | 20,9 | 20 | 32,5 | 28 |
| 6,5 | 5 | 12,9 | 13 | 21,9 | 21 | 34,2 | 29 |
| 7 | 6 | 13,8 | 14 | 22,7 | 22 | 37,5 | 30 |
| 7,7 | 7 | 14,6 | 15 | 24,6 | 23 | 40,5 | 31 |
| 8,4 | 8 | 15,8 | 16 | 25,7 | 24 | | |

COMMENTAIRE

(1) Ces indicateurs, spécifiques aux FS, caractérisent les contraintes de traction. Ils reflètent sensiblement la somme des valeurs (exprimées en ‰) des rampes (i) et des pentés équivalentes (r), et sont attribués à toute section ou portion de ligne de l'ensemble du réseau.

(2) Les valeurs indiquées en regard d'un niveau (grado) sont les valeurs maximales admises pour ce niveau

SOURCE

BRUGNETTO Edoardo (1995) [communiqué par DANIELE Michelangelo (1998)]

GIR/FsGradiPrestaz/JM(98.12.26)

TABLEAU 2

Gradi di prestazione delle linee FS (Indicateurs de contraintes de traction en usage aux FS)

Distanze reali e virtuali esistenti tra alcune località

| TRATTO DI LINEA | DIST. REALE | DIST. VIRT. ANDATA | DIST. VIRT. RITORNO |
|-------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|
| Torino – Savona | 147 | 220 | 238 |
| Torino – Mondovì | 83 | 120 | 56 |
| Torino – Modane | 106 | 314 | 99 |
| Torino – Milano | 153 | 144 | 183 |
| Torino – Limone | 119 | 279 | 56 |
| Torino – Genova | 169 | 213 | 239 |
| Torino – Fossano – Ceva | 101 | 142 | |
| Torino – Fossano | 63 | 88 | 43 |
| Torino – Cuneo | 90 | 153 | 49 |
| Torino – Chivasso | 29 | 20 | 37 |
| Torino – Bussoleno | 46 | 89 | 25 |
| Torino – Bra – Ceva | 101 | 149 | 91 |
| Torino – Bra | 50 | 61 | 44 |
| Torino – Bardonecchia | 87 | 300 | 35 |
| Torino – Asti | 56 | 47 | 84 |
| Torino – Alessandria | 91 | 78 | 124 |
| Limone – Ventimiglia | 67 | 130 | 288 |
| Fossano – Savona | 84 | 132 | 197 |
| Fossano – Cuneo | 26 | 62 | 6 |
| Fossano – Ceva | 38 | 54 | |
| Cuneo – Ventimiglia | 98 | 159 | 296 |
| Cuneo – Limone | 29 | 126 | 7 |
| Cuneo – Breil | 74 | 149 | |
| Ceva – Savona | 49 | 75 | |
| Bussoleno – Susa | 7 | 18 | 2 |

TABLEAU 3

Distanze reali e virtuali esistenti tra alcune località (Distances réelles et virtuelles entre quelques localités sur le réseau piémontais des FS)

Source

BRUGNETTO Edoardo (1995) [communiqué par DANIELE Michelangelo (1998)]

Une ligne ou section de ligne est classée dans une de ces catégories quand elle est capable de recevoir, sans limitation de nombre, des wagons comportant les caractéristiques de masse indiquées au tableau ci-après (1).

| Classification ↓ Masse par unité de longueur = p | | Masse par essieu = P | | | |
|--|---------|----------------------|------|------|--------|
| | | A | B | C | D |
| | | 16 t | 18 t | 20 t | 22,5 t |
| 1 | 5,0 t/m | A | B1 | | |
| 2 | 6,4 t/m | | B2 | C2 | D2 |
| 3 | 7,2 t/m | | | C3 | D3 |
| 4 | 8,0 t/m | | | C4 | D4 |

p = Masse par unité de longueur, c'est-à-dire la somme de la masse du wagon et de la masse du chargement divisée par la longueur du wagon, mesurée tampons compris non serrés.

P = Masse par essieu.

La classification suivant la masse maximale P par essieu est faite à l'aide de lettres majuscules (A, B, C, D) ; la classification suivant la masse maximale p par unité de longueur est faite à l'aide de chiffres arabes (1, 2, 3, 4), sauf pour la catégorie A.

(1) Par dérogation et à titre exceptionnel, la masse de 20 t par essieu peut être dépassée d'une valeur allant jusqu'à 0,5 t sur les lignes de la catégorie C pour :

- les wagons longs à 2 essieux pour lesquels on a $14,10 \text{ m} < L_{ht} < 15,50 \text{ m}$ afin de porter leur charge utile à 25 t ;
- les wagons conçus pour une masse de 22,5 t par essieu afin de compenser la surtare dont ils sont affectés pour les rendre aptes à cette masse par essieu.

En l'espèce, la masse maximale admissible par roue est de 11,1 t.

TABLEAU 4

Classification UIC des lignes selon les charges admises [UIC 700-O (1994)]

**Treni di materiale ordinario trainato da locomotive
e senza locomotive attive in coda**

| GRADI DI PRESTAZIONE | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| MASSIMO PESO RIMORCHIABILE IN DECATONNELLATE | | | | | | | | | | | | | | | |
| 250 | 250 | 250 | 250 | 244 | 235 | 224 | 214 | 203 | 194 | 183 | 173 | 166 | 158 | 152 | 145 |
| GRADI DI PRESTAZIONE | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | |
| MASSIMO PESO RIMORCHIABILE IN DECATONNELLATE | | | | | | | | | | | | | | | |
| 137 | 130 | 123 | 118 | 114 | 111 | 104 | 101 | 95 | 90 | 87 | 83 | 80 | 74 | 69 | |

TABLEAU 5

Massimo peso rimorchiato ammesso dalla resistenza degli organi di attacco - Treni di materiale ordinario trainato da locomotive e senza locomotive attiva in coda (Charge maximale remorquée admise par la résistance des attelages – Cas d'un train de matériel ordinaire tracté par une locomotive et sans motrice de pousse [règlementation FS])

Source : FS/PGOS, Art. 61, Tabella 20 (O.S. 18/1984)

Nota Bene : La charge indiquée est exprimée en dizaines de tonnes

Gradi di frenatura e pendenze delle linee

| Gradi di frenatura | I _a | | I | | II | | III | | IV | | V | | VI | | VII | | VIII | | IX | |
|--------------------|----------------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|
| | dal | al | oltre | al | oltre | al | oltre | al | oltre | al | oltre | al | oltre | al | oltre | al | oltre | al | oltre | al |
| pendenze ‰ | 0 | 4 | 4 | 6 | 6 | 8 | 8 | 11 | 11 | 13 | 13 | 16 | 16 | 20 | 20 | 25 | 25 | 30 | 30 | 35 |

TABLEAU 6

Gradi di frenatura e pendenze delle linee (Indicateurs de freinage en usage aux FS et pente des lignes)

Source : FS/PGOS, Art. 67, Tabella 35

Percentuali minime di peso frenato nella parte rimorchiata

| Gradi di frenatura | I _a - I - II | III - IV - V o con indice da 3 a 5 | VI o con indice 6 | VII o con indice 7 | VIII o con indice 8 | IX o con indice 9 |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Percentuale di peso frenato | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% | 35% |

TABLEAU 7

Percentuali minime di peso frenato nella parte rimorchiata (Pourcentage minimum de poids freiné de la partie remorquée d'un convoi [réglementation FS])

Source : FS/PGOS, Art. 72, Tabella 36 (O.S. 2/1989)

TRENI SERVITI DA FRENO CONTINUO TIPO VIAGGIATORI
(compresi i treni di mezzi leggeri)

| | | VELOCITÀ MASSIMA ASSOLUTA AMMESSA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | Percentuale di peso frenato esistente nel treno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gradi di frenatura della linea | 150 | 145 | 140 | 135 | 130 | 125 | 120 | 115 | 110 | 105 | 100 | 95 | 90 | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 | 25 | |
| | I ^a | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 145 | 145 | 145 | 140 | 140 | 135 | 130 | 125 | 120 | 115 | 110 | 105 | 100 | 95 | 90 | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 |
| I | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 145 | 145 | 140 | 135 | 135 | 130 | 125 | 120 | 115 | 110 | 105 | 100 | 95 | 90 | 90 | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 |
| II | 150 | 150 | 150 | 150 | 145 | 140 | 140 | 135 | 130 | 130 | 125 | 120 | 115 | 110 | 105 | 100 | 100 | 95 | 90 | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 | 50 |
| III | 150 | 150 | 145 | 145 | 140 | 135 | 135 | 130 | 125 | 120 | 115 | 110 | 105 | 100 | 95 | 90 | 90 | 85 | 80 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 | 50 | 45 |
| IV | 140 | 140 | 135 | 135 | 130 | 130 | 125 | 125 | 120 | 115 | 110 | 110 | 105 | 100 | 95 | 90 | 85 | 80 | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 | 45 | 40 |
| V | 135 | 130 | 130 | 125 | 125 | 120 | 120 | 115 | 110 | 110 | 105 | 105 | 100 | 95 | 90 | 85 | 80 | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 | 50 | 40 | 35 |
| VI | 125 | 125 | 120 | 120 | 115 | 115 | 110 | 105 | 105 | 100 | 100 | 95 | 90 | 85 | 80 | 80 | 75 | 70 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 | 50 | 40 | 35 | - |
| VII | 115 | 115 | 110 | 110 | 105 | 105 | 100 | 100 | 95 | 95 | 90 | 90 | 85 | 85 | 80 | 75 | 70 | 70 | 65 | 60 | 60 | 55 | 45 | 40 | 35 | - | - |
| VIII | 100 | 100 | 100 | 100 | 95 | 95 | 95 | 90 | 90 | 85 | 85 | 80 | 80 | 75 | 70 | 65 | 65 | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | - | - | - | - |
| IX | 90 | 90 | 90 | 85 | 85 | 85 | 80 | 80 | 80 | 75 | 75 | 70 | 70 | 65 | 65 | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 | - | - | - | - | - |

TABLEAU 8

Velocità massima assoluta ammessa per treni serviti da freno continuo tipo viaggiatori (Vitesse maximale absolue admise pour des convois équipés du frein continu type voyageurs)

Source : FS/PGOS, Art. 81, Tabella B [Quadro 1°] (O.S. 2/1989)