

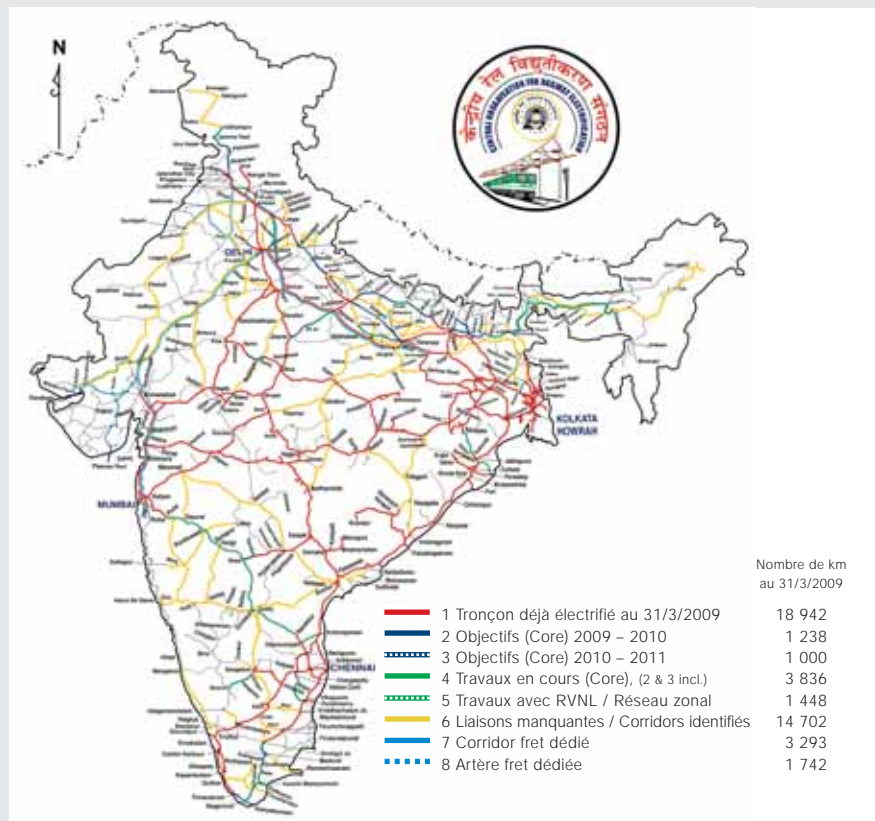


# Feu vert pour les chemins de fer indiens

ABB contribue à la modernisation du rail indien

LALIT TEJWANI – Depuis les débuts du chemin de fer indien, et par là même asiatique, à Bombay en 1853, le réseau s'est considérablement développé : il s'étend aujourd'hui sur plus de 64 000 km et transporte près de 2,5 millions de tonnes de fret et 19 millions de voyageurs par jour. Cet article présente certaines évolutions qui permettront au rail indien de relever les défis de demain, de gagner en efficacité et de mieux protéger l'environnement, grâce aux technologies ABB.

## État de l'électrification du réseau Indien



Progression planifiée de l'électrification des chemins de fer Indiens (premier train électrique : 3/2/1925)

| Plan et période          | Avant indép. 1925-47 | 1er 1951-56 | 2ème 1956-61 | 3ème 1961-66 | Plan annuel 1966-74 | 4ème 1969-74 | 5ème 1974-78 | Plan inter. 1978-80 | 6ème 1980-85 | 7ème 1985-90 | Plan inter. 1990-97 | 8ème 1992-97 | 9ème 1997-2002 | 10ème 2002-2007 | 11ème jusqu'au 31/3/2009 |
|--------------------------|----------------------|-------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------------|
| km de voies électrifiées | 388                  | 141         | 216          | 1 678        | 814                 | 953          | 533          | 195                 | 1 522        | 2 812        | 1 557               | 2 708        | 2 484          | 1 810           | 12 999                   |
| Cumul                    | 388                  | 529         | 745          | 2 423        | 3 237               | 4 190        | 4 723        | 4 918               | 6 440        | 9 252        | 10 809              | 13 517       | 16 001         | 17 811          | 18 942*                  |

\* Démantèlement de 168 km de voies métriques électrifiées

Source : [http://www.core.railnet.gov.in/\\_MapElectrificationofIR\\_eng.htm](http://www.core.railnet.gov.in/_MapElectrificationofIR_eng.htm)

La société des chemins de fer indiens IR (*Indian Railways*) est à la tête de l'un des plus grands réseaux ferroviaires de la planète. Entreprise publique, c'est aussi le premier employeur au monde, avec quelque 1,4 million de salariés. La gestion des opérations courantes est assurée par le *Railway Board*. Cas unique dans l'univers du rail, IR est à la fois exploitant du réseau ferré et constructeur de matériel roulant, fabriquant près de 3 000 véhicules ferroviaires et 500 locomotives diesel ou électriques par an, ainsi que des équipements stratégiques de la chaîne de traction tels que roues, essieux et moteurs.

Au 31 mars 2008, IR disposait de 47 375 voitures de voyageurs, rames automotrices électriques<sup>1</sup> comprises. Quelque 8 400 locomotives sont aujourd'hui en service, dont 3 400 électriques. La traction électrique assure plus de 65 % du trafic fret et plus de 50 % du trafic voyageurs.

### Croissance durable

Ces dernières années, l'urbanisation galopante, les besoins de mobilité et la saturation du trafic routier ont placé le développement du réseau ferré aux premiers rangs des priorités en raison des nombreux avantages du rail sur la route : rendement énergétique nettement supérieur, moindre emprise au sol et meilleure rentabilité économique. Par ailleurs, la traction électrique

est le mode de transport ferroviaire le plus efficace sur le plan énergétique. Depuis la mise en circulation du premier train électrique à Bombay en 1925, l'électrification du réseau indien a considérablement progressé : au 31 mars 2009, 18 942 km de voies étaient électrifiés, soit 28 % de l'ensemble du réseau national. À présent, l'objectif est d'électrifier 1 500 km de lignes existantes chaque année → 1.

Sur les grandes lignes, l'électrification permet de transporter du fret plus lourd et d'augmenter la vitesse des trains de voyageurs. Grâce à leur grande capacité d'accélération et de freinage, les automotrices sont particulièrement bien adaptées au réseau suburbain. L'électrification est en outre stimulée par la volonté du pays de réduire ses coûteuses importations de carburants fossiles. Autre atout de la traction électrique : la centralisation de la production et de la distribution d'énergie diminue la pollution atmosphérique et sonore, au bénéfice des voyageurs et de l'environnement.

Si les premiers tronçons ont été électrifiés en courant continu (CC), depuis les années 1950, le courant alternatif (CA) monophasé 25 kV 50 Hz a été adopté pour tous les nouveaux projets. IR prélève l'électricité des réseaux régionaux triphasés 220/132/110/66 kV à 50 Hz pour fournir, après conversion, l'énergie de traction nécessaire à ses trains *via* des lignes de contact aériennes. Actuellement, IR consomme plus de 2 000 MW, principalement par l'intermédiaire d'un réseau national de 400 sous-stations de traction.

Depuis 1980, IR a automatisé la télécouduite de ses sous-stations à l'aide de systèmes de supervision SCADA (*Supervisory*

### Note

<sup>1</sup> Voitures principalement utilisées dans les réseaux suburbains, comportant chacune de multiples équipements d'énergie et de traction : pantographe, transformateur, moteurs, etc. Ces mêmes véhicules moteurs peuvent aussi transporter des voyageurs, contrairement au schéma classique locomotive-train où les fonctions sont séparées : traction d'un côté, transport de l'autre.

Control And Data Acquisition) à microprocesseurs. Le rayon d'action d'un superviseur SCADA régional peut atteindre 200 à 300 km et englober la télésurveillance en temps réel des grandeurs électriques (tension, intensité, facteur de puissance, etc.), le pilotage à distance des appareillages, la détection et l'isolement automatiques des défauts. Cette supervision améliore la gestion des pointes électriques, la recherche de pannes, etc., et se substitue à un système plus ancien, basé sur des appareils de contrôle-commande à distance électromécaniques.

### Contribution d'ABB

IR se heurte actuellement à un certain nombre de difficultés sur une multitude de lignes électrifiées :

- Importantes fluctuations de tension (17 à 31 kV), principalement liées à l'impédance de ligne variant avec la position des trains ;
- Faible facteur de puissance (0,7 à 0,8) dû à la nature inductive de la charge de traction et à l'inefficacité de la compensation dynamique de la charge par les batteries de condensateurs fixes existantes ;
- Injection d'harmoniques de rangs faibles dans le réseau de traction par les locomotives CC classiques.

Il en découle trois inconvénients : importantes pertes système, absorption de puissance réactive et perturbation électromagnétique des composants sensibles des équipements de signalisation et de télécommunication. ABB met en œuvre une technologie de pointe pour y remédier et améliorer l'efficacité et la disponibilité globales du réseau.

### Transformateurs de traction

Dans les locomotives électriques et automotrices CA, la tension monophasée 25 kV captée à la caténaire est abaissée par des transformateurs de traction pour alimenter les moteurs. Outre un niveau élevé de fiabilité et de performance, ces transformateurs doivent aussi être compacts, légers et à haut rendement. ABB est aujourd'hui le numéro un mondial des transformateurs de traction, qu'il propose en plusieurs tailles, formes et puissances assignées, permettant leur montage en différents emplacements du train, comme sur le toit ou sous la caisse<sup>2</sup>. En Inde, les transformateurs ABB équipent avec succès des locomotives électriques de grande puissance, des automotrices et des rames de métro.

### 2 Convertisseur auxiliaire BORDLINE M de 180 kVA (Module H)



### Chaîne de traction et alimentation du réseau de bord

Les locomotives d'IR à entraînement triphasé étaient à l'origine équipées de convertisseurs de traction à thyristors GTO. IR vient de lancer un programme de modernisation de ses locomotives avec des convertisseurs à transistors IGBT<sup>3</sup>. IR a opté pour la gamme de convertisseurs BORDLINE CC refroidis par eau d'ABB, basés sur des IGBT HiPak™ 4,5 kV à faibles pertes, nettement plus avantageux :

- Amélioration de l'effort de traction, de la performance et de la disponibilité, grâce à la commande d'essieux et à une nouvelle génération de système de contrôle d'adhérence ;
- Amélioration du rendement global de la conversion de puissance par rapport aux convertisseurs à GTO (du fait des moindres pertes des semi-conducteurs IGBT au même point de fonctionnement) ;
- Amélioration de la forme d'onde du courant moteur, entraînant une réduction des pertes moteur et des ondulations de couple, et une meilleure qualité de conduite.

Les locomotives traditionnelles d'IR à équipements de traction CC utilisaient des convertisseurs rotatifs pour produire l'alimentation triphasée (3 × 415 V 50 Hz) nécessaires aux auxiliaires. Or ces machines tournantes nécessitaient une surveillance et un entretien importants, auxquels s'ajou-

### 3 Armoire STATCON de gestion des flux de puissance réactive



taient d'autres inconvénients : réglage peu précis de la tension, faible facteur de puissance d'entrée, rendement de conversion médiocre, présence d'harmoniques de rangs faibles en sortie et absence d'outils de diagnostic. Ces limites expliquent leur remplacement progressif par des convertisseurs statiques.

ABB occupe ce marché avec ses convertisseurs auxiliaires BORDLINE M180 → 2, refroidis par air et à haut rendement énergétique ; ils utilisent des semi-conducteurs IGBT pour produire une tension triphasée sinusoïdale et équilibrée<sup>2</sup>. Cette solution, équipée d'un redresseur actif à modulation de largeur d'impulsion (MLI) en entrée, permet un fonctionnement avec un facteur de puissance (cosφ) unitaire et une réduction des distorsions harmoniques côté réseau. De surcroît, la mise en route commandée du convertisseur et la forme d'onde sinusoïdale diminuent les contraintes sur l'isolant du moteur, rendant superflu le recours à des moteurs spéciaux. Ces convertisseurs sont réalisés sur mesure pour s'adapter aux spécificités mécaniques et électriques des locomotives existantes, et permettre leur remise à niveau.

### Notes

- <sup>2</sup> Lire également *Annual Year Book, Indian Railways, 2007-08* et *Emerging Technologies & Strategies for Energy Management in Railways*, octobre 2008.
- <sup>3</sup> Voir aussi [www.abb.com/railway](http://www.abb.com/railway).

#### 4 Disjoncteur d'extérieur FSK II 25kV aux spécifications des chemins de fer indiens



#### 5 Turbocompresseurs ABB pour locomotives diesel indiennes



Type TPR 61



Type VTC 304

IR (*Indian Railways*) est une entreprise publique à la tête de l'un des plus grands réseaux ferroviaires de la planète et le premier employeur au monde, avec quelque 1,4 million de salariés.

#### Compensation de puissance réactive

La puissance appelée par les trains circulant sur le réseau est très variable. De plus, les convertisseurs de traction injectent des harmoniques de rangs faibles dans le réseau de traction. La tension de ligne est donc sujette à d'importantes fluctuations. Pour corriger un facteur de puissance en retard, IR équipe la plupart de ses sous-stations de batteries de compensation shunt fixe. Ces condensateurs commutés ont néanmoins deux inconvénients : la graduation grossière des crans de commutation et le temps de réponse. Les fournisseurs d'électricité pénalisent IR à la fois quand le facteur de puissance est en retard et, dans certains cas, en avance, suite à une surcompensation. Ces sous-stations ont donc besoin d'une compensation de puissance réactive à réglage dynamique, en temps réel.

Le convertisseur/onduleur à source de tension STATCON d'ABB peut à la fois absorber et fournir du réactif → 3. Ses com-

posants de commutation IGBT et sa modularité lui permettent de couvrir la croissance des besoins de puissance.

Raccordé en parallèle, STATCON est facile à installer. Il libère totalement la source du réactif, permettant une meilleure utilisation de l'équipement et du réseau d'alimentation. En outre, sa compensation dynamique très rapide améliore le profil de tension et réduit les pertes système et, par conséquent, la charge sur les transformateurs de puissance, l'appareillage électrique, les câbles en entrée, etc.

#### Disjoncteur d'extérieur FSK II

IR utilise des disjoncteurs et des chambres de coupure d'extérieur 25 kV dans toutes ses sous-stations de traction et bornes de commutation. En concertation avec IR, ABB a développé sa gamme FSK II de disjoncteurs et chambres de coupure à actionneur magnétique, qui offre davantage de fiabilité par sa nette réduction du nombre de pièces mobiles<sup>2</sup>. Bistable, l'actionneur magnétique ne nécessite pas d'énergie pour être maintenu en position ouverte ou fermée → 4.

#### Turbocompresseur

Chaque année, quelque 300 nouvelles locomotives diesel sortent des deux usines d'IR en Inde. Les turbocompresseurs ABB ont fortement dopé les performances de ces engins depuis 1975. Des turbocompresseurs très efficaces tels que le TPR 61 et le VTC 304 d'ABB améliorent leur fiabilité et réduisent de 5 % leur consommation de carburant → 5. ABB participe également au programme de réduction d'émissions carbonées d'IR et remet en état ses turbocompresseurs. Les ateliers d'IR fabriquent aussi du matériel roulant exporté dans plus de 10 pays d'Asie et d'Afrique ; ces locomotives sont souvent équipées de turbocompresseurs ABB, notamment en raison du réseau mondial de service et de maintenance d'ABB.

#### Transport urbain

Selon le recensement de 2001, l'Inde compte 300 villes de plus de 100 000 habitants et 35 villes d'un million ou plus, alors que cette dernière catégorie n'en totalisait que 5 en 1951. Près de 30 % de la population indienne vit dans des zones urbaines qui génèrent 55 % du PIB. L'urbanisation progresse plus rapidement en Inde que dans le reste du monde car la population des villes s'enrichit chaque année de millions de migrants. Or cette urbanisation galopante sollicite de plus en plus les

La *Delhi Metro Rail Corporation* (DMRC) a été créée pour mettre en place et exploiter un transport public de masse dans la région de Delhi. ABB travaille en partenariat avec DMRC depuis 2002 et fournit des produits et systèmes pour la traction électrique et le matériel roulant : sous-stations de traction, récepteurs et auxiliaires, électrification des lignes aériennes, systèmes de supervision (SCADA), solutions de gestion intégrée des actifs et des bâtiments, transformateurs et moteurs de traction. Le réseau ferré indien est électrifié en 25 kV/50 Hz et équipé de produits ABB comme des appareils électriques compacts à isolation gazeuse et dans l'air, des chambres de coupure sous vide 25 kV montées sur poteau et des disjoncteurs à actionneur magnétique.

DMRC, premier exploitant de métro indépendant en Inde, s'est imposé comme modèle d'efficacité et de ponctualité dans l'exécution des projets. Il propose à présent des services de conseil pour la plupart des nouveaux projets de métro en Inde, ainsi qu'à l'international.

La première phase du métro (tronçon de 65,1 km) s'est achevée en 2006. La seconde, qui doit être terminée en 2010, prolongera le réseau de 128 km ; à terme, le trafic devrait atteindre 2 millions de voyageurs par jour. DMRC prévoit de disposer d'un métro de 381 km opérationnel en 2021.

Au cours des phases I et II, ABB aura réalisé environ 163 des 193 km électrifiés.



infrastructures alors même que la dégradation des systèmes de transport urbain peut vite freiner la croissance économique. Des mesures urgentes doivent donc être prises pour améliorer ces transports.

Comparés à la voiture particulière, les transports collectifs ont l'avantage d'une empreinte et d'un taux de pollution plus faibles par voyageur et kilomètre parcouru.

## L'électrification est stimulée par la volonté de l'Inde de réduire ses coûteuses importations de carburants fossiles.

Parmi les nombreuses possibilités, le métro sur rail, du fait de sa grande capacité, constitue le mode de transport en commun le mieux adapté à la densité de population des villes indiennes. Sous l'égide du ministère du Développement urbain, le pouvoir central et les gouvernements des États fédéraux ont mis sur pied des organismes indépendants pour stimuler le développement des transports urbains. Au rang des solutions retenues figurent des contrats de construction, de propriété et d'exploitation « BOO » (*Build, Own, Operate*) en partenariat avec des entreprises privées.

Aujourd'hui, Calcutta et Delhi → 6 sont les deux seules villes disposant de réseaux de métro en service. Leur extension est en cours et de nouveaux projets sont à diffu-

rents stades de réalisation à Bangalore, Mumbai, Chennai et Hyderabad. À Delhi, Mumbai et Bangalore, des exploitants indépendants achètent leurs propres véhicules, dans le respect des spécifications et procédures d'appel d'offres internationales. Portée par l'augmentation du nombre de projets, la demande annuelle en matériel roulant destiné au métro devrait

dépasser le millier de voitures dans les prochaines années. Bombardier Transport a déjà créé une usine de rames dans l'ouest de l'Inde et équipe le métro de Delhi. D'autres entrepri-

ses internationales ainsi que des constructeurs indiens de matériel roulant cherchent à pénétrer ce marché par le biais de coopérations et d'alliances technologiques.

### Supervision

La *Delhi Metro Rail Corporation* (DMRC) → 6 avait besoin d'un centre de téléconduite unifié (avec secours) et souhaitait donc moderniser et intégrer à ce nouveau système l'ancien superviseur et ses postes asservis distants RTU (*Remote Terminal Unit*), sans arrêt d'exploitation. Le dernier système MicroSCADA Pro d'ABB répond à ce besoin : il fédère l'ensemble du réseau, garantit une grande disponibilité et permet d'économiser sur la maintenance et les pièces détachées → 7.

Fort de son expérience avec DMRC et les métros de Mumbai et de Bangalore, ABB s'est imposé en chef de file du marché de l'électrification clé en main, de la supervision et de la distribution d'énergie de traction pour les réseaux métropolitains indiens.

### Perspectives

L'essor industriel et démographique de l'Inde va de pair avec une augmentation des besoins de transport. Tirant profit de sa réussite économique, l'IR a connu une profonde mutation ces dernières années avec un chiffre d'affaires sans précédent. Plusieurs facteurs y ont contribué :

- Accroissement des volumes de fret sans nécessité d'investir massivement dans les infrastructures ;
- Augmentation des charges par essieu ;
- Réduction des cycles de rotation du matériel roulant ;
- Diminution du coût unitaire de transport ;
- Rationalisation des tarifs liée à une augmentation des parts de marché du fret.

Les investissements ferroviaires du 11<sup>ème</sup> plan quinquennal (2007–12) sont estimés à 65 milliards de dollars<sup>4</sup>. Près de 17 % feront appel à des partenariats publics-privés pour des projets de couloirs à priorité fret et grande vitesse, de réseaux de transports urbains, de construction de matériel roulant et de connectivité avec les infrastructures industrielles et portuaires intégrées.

### Note

- <sup>4</sup> Lire également *Projections of Investment in Infrastructure during the Eleventh Plan, Planning Commission, Government of India*, octobre 2007.



Pour faire face à l'augmentation du trafic voyageurs et rendre plus compétitifs les trajets interurbains, IR améliore ses structures d'accueil, allonge les quais et met en service un plus grand nombre de trains. Il doit pour cela acquérir plus de 4 500 voitures par an, dont 660 climatisées, pour la desserte des grandes lignes. Ses sites de production intégrés ne sont pas en mesure de répondre à ces besoins, ce qui limite le lancement de nouveaux services ferroviaires et freine le renouvellement des véhicules. Pour dynamiser ses approvisionne-

ments, IR crée de nouveaux sites de production, seul ou en partenariat avec des entreprises privées. De nouvelles usines de locomotives diesel et électriques, sous contrats publics-privés, sont également envisagées afin de doter le parc d'IR de machines plus puissantes et plus modernes.

lendrier du développement ferroviaire. Afin d'augmenter malgré tout la quantité de marchandises transportées et raccourcir les temps de parcours pour les industriels, le projet de corridor dédié «DFC» (*Dedicated Freight Corridor*), doté d'un budget de 12 milliards de dollars, prévoit la réalisation de 3 300 km de lignes à double voie. Il permettra à des trains de marchandises à charge d'essieu plus élevée de circuler à 100 km/h (contre 25 km/h en moyenne aujourd'hui). Le DFC Ouest reliant Mumbai à Delhi sera principalement affecté au transport de conteneurs depuis les ports de la côte ouest, tandis que le DFC Est Delhi-Howrah acheminera surtout des matériaux en vrac, tels que charbon, minerai de fer, acier, etc.

Le projet DFC prévoit en outre le développement, par financement étranger, de wagons spéciaux qui seront opérationnels en 2015.

#### Grande vitesse

Le réseau ferré à grande vitesse décongestionne la route et le ciel pour les vols courts, réduisant ainsi la pollution, le bruit et les accidents, et évitant aux voyageurs la gêne des embouteillages et des files d'attente aux contrôles de sécurité dans les aéroports. En Europe, les émissions de CO<sub>2</sub> par km-passager des trains à grande vitesse ne représentent que le tiers de

celles de la voiture et le quart de celles de l'avion<sup>5</sup>. En Inde, des études de faisabilité ont débuté pour le corridor à grande vitesse Mumbai-Delhi à 350 km/h. D'autres lignes viendront vraisemblablement s'y ajouter par la suite.

IR adopte en permanence de nouvelles solutions en vue d'économiser l'énergie et d'utiliser les énergies renouvelables (EnR) pour alimenter le matériel roulant et les charges ne participant pas à la chaîne de traction<sup>6</sup>. Ces initiatives sont multiples : refonte des systèmes de climatisation et d'éclairage dans les voitures voyageurs, mise en valeur du photovoltaïque pour les équipements des gares ou de l'éolien pour les sites de production. Si l'intermittence des EnR les rend inaptes à la traction, elles se prêtent bien à l'alimentation des installations fixes. Tirant parti à la fois des technologies disponibles, de l'expérience et de sa formidable capacité d'innovation, l'Inde est bien décidée à mettre sur les rails un réseau ferroviaire moderne et plus performant.

**Lalit Tejwani**

ABB Ltd, Marketing and Sales (Railways)  
Calcutta (Inde)  
lalit.tejwani@in.abb.com

#### Notes

- 5 Lire également « Encouraging high-speed trains », 7 janvier 2010, et « Vision 2020, Indian Railways », décembre 2009, *The Hindu*
- 6 Unités de production, ateliers et autres infrastructures

## DMRC, premier exploitant de métro indépendant en Inde, s'est imposé comme modèle d'efficacité et de ponctualité dans l'exécution des projets.

ments, IR crée de nouveaux sites de production, seul ou en partenariat avec des entreprises privées. De nouvelles usines de locomotives diesel et électriques, sous contrats publics-privés, sont également envisagées afin de doter le parc d'IR de machines plus puissantes et plus modernes.

#### Transport de marchandises

Même si le fret est une importante source de revenus pour IR, qui contribue aussi au financement du trafic voyageurs, les trains de voyageurs sont prioritaires dans le ca-