



**Conseil économique
et social**

Distr.
GÉNÉRALE

TRANS/SC.2/2002/5/Add.2
4 juillet 2002

FRANÇAIS
Original: ANGLAIS

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

COMITÉ DES TRANSPORTS INTÉRIEURS

Groupe de travail des transports par chemin de fer
(Cinquante-sixième session, 16-18 octobre 2002,
point 8 de l'ordre du jour)

**INFORMATIONS SUR LES FAITS NOUVEAUX SURVENUS
DANS DIVERS DOMAINES DES TRANSPORTS
PAR CHEMIN DE FER**

Additif 2

UNE NOUVELLE PERSPECTIVE: LES SYSTÈMES FERROVIAIRES INTELLIGENTS

Communication du Gouvernement des États-Unis d'Amérique

Un sujet qui touche pratiquement à tous les aspects du programme de recherche-développement de la FRA (Federal Railroad Administration) est l'utilisation de divers capteurs, calculateurs et moyens de communication numériques pour la collecte, le traitement et la diffusion de l'information, aux fins de l'amélioration de la sécurité et de l'efficacité dans les transports ferroviaires. Les systèmes de transport intelligents (STI) en service sur les grands axes routiers ou dans les transports en commun sont basés sur ces technologies, comme, d'ailleurs, les nouveaux systèmes de régulation du trafic aérien et de contrôle du trafic maritime. Les armées, les grandes sociétés de messagerie, les exploitants de pipelines, les forces de police, les brigades de pompiers et les services ambulanciers recourent également à ces technologies.

La FRA travaille avec l'industrie ferroviaire à la mise au point de **systèmes de transport ferroviaire intelligents** grâce auxquels les nouvelles technologies relatives aux capteurs, aux calculateurs et aux moyens de communication numériques pourront être appliquées à la conduite des trains, aux systèmes de freinage, au franchissement des passages à niveau, à la détection des défaillances et même aux systèmes de planification et de programmation de la circulation des trains. La FRA est convaincue que ces technologies apporteront des améliorations sur beaucoup

de plans: prévention des collisions, des accidents dus aux excès de vitesse, des actes de piraterie et des pertes de contrôle, augmentation de l'utilisation des capacités et du matériel disponible, gains en fiabilité, meilleure qualité du service à la clientèle, économies d'énergie, réduction des émissions polluantes, viabilité économique et marges bénéficiaires accrues. Elle est convaincue en outre que ces technologies rendront les chemins de fer mieux à même d'évaluer et maîtriser leurs coûts et de faire face à l'imprévu. Les systèmes de transport ferroviaire intelligents permettront aux chemins de fer de s'adapter avec souplesse aux changements rapides qui caractérisent le marché des transports.

Le présent document a pour objet de faire un tour d'horizon des diverses technologies et des divers programmes et systèmes mis au point ou à l'étude.

Les réseaux de communications par liaison de données numériques constituent un moyen d'acheminer des informations à destination et en provenance des trains, des services d'entretien des voies, des aiguillages et des détecteurs en bord de voie, des centres de régulation, des gares de triages, des terminaux intermodaux, des gares de voyageurs, des services de maintenance, des systèmes de gestion des données d'exploitation et enfin de la clientèle. Les communications par liaison de données remplaceront ou compléteront bon nombre de systèmes actuels de communication vocale ordinaire par une messagerie numérique non phonique, ce qui accroîtra nettement la capacité d'acheminement des circuits et fréquences disponibles. Elles reposeront sur les radiofréquences pour les communications entre les composantes du matériel roulant et sur divers moyens de transmission - appartenant soit aux compagnies de chemin de fer soit aux entreprises de télécommunications - pour les liaisons entre les installations fixes. Ces divers moyens pourront être notamment la liaison hertzienne, la fibre optique, le fil de cuivre enterré, le téléphone cellulaire, le satellite ou même la ligne téléphonique aérienne classique. Avec les communications par liaison de données, les informations sont d'abord numérisées avant que chaque message ne soit acheminé individuellement jusqu'à son ou ses destinataires. Par l'intermédiaire de la Federal Communications Commission, le Gouvernement des États-Unis a assigné au secteur des chemins de fer 182 fréquences VHF (160 MHz) et 6 couples de fréquences UHF (900 MHz). Les fréquences UHF sont destinées aux communications numériques et certaines compagnies ferroviaires consacrent une partie des fréquences VHF qui leur ont été assignées à leurs communications numériques et ne les utilisent plus pour des communications analogiques. Cette tendance devrait d'ailleurs devenir plus perceptible au cours de la prochaine décennie.

Le GPS différentiel à couverture nationale (NDGPS) est une amélioration du Système mondial de localisation (GPS), qui offre une précision de positionnement de l'ordre de un à trois mètres¹ lorsque l'on dispose d'un récepteur capable de recevoir le signal de

¹ Selon le document intitulé *1999 Federal Radionavigation Plan*, «La précision attendue du service NDCPS sur l'ensemble des zones effectivement couvertes est inférieure à 10 mètres (en valeur quadratique moyenne). La précision du NDCPS à n'importe quel lieu d'émission est soigneusement contrôlée; en règle générale, elle est de l'ordre de moins d'un mètre». Et ces chiffres sont ceux qui sont donnés au public. Les données recueillies sur le terrain portent à croire que la précision est encore meilleure. Avec des récepteurs haut de gamme, il a été possible de maintenir une précision de l'ordre de moins d'un mètre, même en limite de zone de couverture.

correction différentielle. Élaboré à partir du réseau maritime DGPS utilisé par les gardes-côtes américains, il utilise un certain nombre d'anciens sites déclassés de l'US Air Force qui appartenaient au réseau GWEN (Ground Wave Emergency Network) pour calculer et diffuser les signaux de correction différentielle. Des récepteurs NDGPS équiperont les machines et les véhicules de maintenance des voies; ils calculeront la position instantanée et la vitesse de ces mobiles et communiqueront ces données au centre de régulation de la circulation via le réseau de communications par liaison de données numériques de la compagnie. Avec un système à station de référence unique, le NDGPS n'a actuellement qu'une couverture de 80 % environ de la partie continentale du territoire des États-Unis. D'ici 2004, cette couverture devrait s'étendre à toute la partie continentale des États-Unis, Alaska comprise, grâce à un système à stations de référence doubles. Pour en garantir la continuité, la précision, la fiabilité et l'intégrité, le Centre d'aide à la navigation des gardes-côtes, situé à Alexandria, en Virginie, assure le fonctionnement du NDGPS 24 h sur 24 et 7 jours sur 7. Le NDGPS a la capacité de contrôler l'intégrité du GPS. S'il détecte une défaillance du signal de l'un quelconque des satellites de positionnement, il alerte ses utilisateurs dans les cinq secondes. Les signaux NDGPS sont accessibles gratuitement à tout utilisateur équipé du récepteur approprié.

Les systèmes de contrôle intégral des trains (PTC) sont des systèmes intégrés de commande, de contrôle, de communication et d'information qui permettent de contrôler les mouvements des trains de manière sûre, précise et efficace. Les systèmes PTC contribueront à améliorer la sécurité dans les transports ferroviaires en abaissant considérablement les dangers de collision entre les trains, les risques pour le personnel travaillant sur les voies et pour le matériel et la probabilité d'accidents résultant d'excès de vitesse. Pour le National Transportation Safety Board, le PTC figure au rang des 10 initiatives les plus souhaitables pour l'amélioration de la sécurité des transports à l'échelle nationale. Les systèmes PTC reposent sur un certain nombre de moyens: des réseaux de communications par liaison de données numériques, des systèmes de localisation constante et précise comme le NDGPS, des calculateurs couplés à des systèmes de cartographie numérique à bord des machines et du matériel roulant d'entretien des voies, des écrans de visualisation en cabine, des interfaces agissant sur les moteurs et les freins des machines, des interfaces en bord de voie au niveau des aiguillages et des détecteurs en bord de voie, des ordinateurs et des écrans de visualisation au niveau des centres de régulation. Les systèmes PTC peuvent également permettre de communiquer avec les agents de régulation tactique et stratégique de la circulation, les systèmes d'indication d'exécution des tâches et les systèmes d'information sur l'état de fonctionnement des locomotives. Les systèmes PTC donnent des ordres de mouvement aux trains et aux équipes d'entretien des voies, suivent la position instantanée des trains et du matériel roulant d'entretien des voies, sont capables de faire exécuter automatiquement des ordres de mouvement et d'assurer la mise à jour continue des systèmes de données d'exploitation sur la base des informations concernant la position instantanée des trains, des machines, des voitures et wagons et du personnel. L'aptitude des systèmes PTC à intervenir à distance permettra à un centre de régulation d'arrêter un train en cas de défaillance d'un agent de conduite. Ces systèmes seront un facteur de progrès sur les plans de la sûreté et de la sécurité. De plus, ils permettront à une compagnie de fonctionner selon un programme préétabli et de parvenir à de meilleurs résultats sur les plans des temps de parcours, de la régularité des temps de parcours, de l'utilisation du matériel et de l'intensité de l'utilisation du réseau. Ils aideront les compagnies à maîtriser leurs coûts et à tirer un plus grand parti de leurs dépenses énergétiques. Des versions pilotes ont été testées avec succès il y a une dizaine d'années mais les systèmes n'ont jamais été déployés sur une vaste échelle. D'autres projets de

démonstration sont à l'heure actuelle en gestation ou en cours d'expérimentation. On pense que le déploiement effectif des systèmes PTC dans les chemins de fer sera une réalité dans les dix prochaines années.

Freins pneumatiques à commande électronique (ECP). À l'heure actuelle, les systèmes de freinage des trains font appel à l'air à la fois pour l'exercice de l'effort de freinage et pour le déclenchement ou la suspension du serrage. Avec les nouveaux systèmes de freinage ECP le déclenchement ou l'arrêt du serrage est commandé par un signal électronique, ce qui permet l'entrée en fonction simultanée de tous les freins du train, et, partant, réduit considérablement la distance de freinage, les contraintes longitudinales subies par toute la rame et les effets d'«accordéon». Selon l'un des systèmes testés, les signaux électroniques sont transmis par un fil. Selon un autre, les signaux sont transmis par fréquences radio à étalement de spectre. Mais les deux systèmes permettent aussi bien l'un que l'autre de recueillir, au niveau du matériel roulant, de la voie et des capteurs surveillant les charges utiles, des données qui peuvent être observées dans la cabine de conduite et qui sont transmises via les réseaux de communications par liaison de données numériques aux centres de régulation, aux organes de maintenance ou, selon le cas, à la clientèle. Les systèmes de freinage ECP ont été testés sur des trains cargo transportant du charbon et sur des rames transportant des conteneurs intermodaux sur deux niveaux: aux États-Unis, au Canada et en Australie. Leur contribution aux gains sur le plan énergétique a été démontrée. Leur déploiement sur une plus large échelle sera certainement une réalité au cours de la prochaine décennie.

Les interfaces de visualisation de l'information. Des écrans de visualisation des systèmes PTC en cabine de conduite permettront au personnel de conduite de disposer d'informations sur la situation et de recevoir des instructions. Ces écrans afficheront la position instantanée et la vitesse du train calculées par le système de localisation, le profil du parcours à venir, les efforts subis par la rame, le régime effectif et le régime recommandé de fonctionnement des moteurs et des freins, les instructions concernant la maîtrise de la vitesse et les autres consignes reçues des centres de régulation via la liaison de données, les informations de bord concernant le fonctionnement de toutes les unités composant la rame et, enfin, les données provenant des installations embarquées ou des installations de bord de voie, de la voie et des capteurs de surveillance de la charge utile. Ces écrans permettent également de visualiser la rame, ainsi que les instructions spéciales émanant des systèmes d'indication d'exécution des tâches et concernant la redistribution des wagons, les données provenant du dispositif de fin de rame et du système de freinage ECP ainsi que toute autre information communiquée via la liaison de données. Au Centre de régulation, les écrans des responsables de la circulation affichent la position instantanée et la vitesse de chaque train ou véhicule d'entretien des voies, la composition des rames, les écarts par rapport à l'horaire prévu et les prévisions élaborées par les agents de régulation tactique et stratégique du trafic. La plus grosse difficulté que présente la mise au point des écrans sera de faire en sorte que seules les informations nécessaires s'affichent. Les écrans que l'on installe actuellement à bord des machines et dans les centres de régulation seront capables d'afficher les informations qui seront produites par les systèmes de transport ferroviaire intelligents (STI).

Les systèmes de gestion du personnel de conduite et des emplois du temps feront appel à des techniques d'identification telles que les mots de passe, les cartes à puce ou la biométrie pour veiller à ce que seuls les membres agréés du personnel de conduite aient accès aux commandes d'une machine. Le centre de régulation n'enverra un ordre de mouvement qu'après

avoir eu confirmation que l'agent de conduite désigné est à bord et a signalé être prêt. L'heure exacte à laquelle l'agent de conduite annonce être prêt, quitte le point de départ, arrive à sa destination finale et annonce la fin de son service sera automatiquement communiquée au centre de régulation et au système de gestion des données d'exploitation via le réseau de communications par liaison de données numériques. Cette évolution fera disparaître la tenue à jour manuelle de la main courante. Elle sera en outre un garant de précision dans la comptabilisation des heures par le système de gestion des données d'exploitation aux fins de l'établissement des feuilles de paie.

Les systèmes de contrôle de la vigilance du personnel de conduite apporteront des améliorations sur ce plan en faisant appel à des applications technologiques non intrusives. Les moments d'«absence» et autres défaillances humaines qui sont un facteur d'insécurité au travail résultent souvent d'un relâchement de l'attention ou de la vigilance. L'observation en temps réel du *degré de vigilance de l'individu* et la rétro-information permettront aux membres du personnel de conduite de rectifier éventuellement leur comportement et réduire ainsi les risques de glissement vers une situation dangereuse. Les remèdes appropriés - relaxation, contact avec d'autres collègues ou changement de posture - seront suggérés par le système et, en cas de risque élevé (par exemple, si un agent s'endort), le système avertira le centre de régulation via le réseau de communications par liaison de données numériques et, simultanément, déclenchera l'arrêt du train. Le suivi en temps réel du degré de vigilance des équipes et la rétro-information permettront aux responsables d'ajuster de manière dynamique les horaires de travail et d'être sûr que c'est le personnel le plus dispos qui se trouve affecté aux missions les plus difficiles. Des modèles conceptuels de la fatigue et de la vigilance permettront au système de prédire avec précision les risques de défaut de vigilance pour un individu ou un groupe d'individus et de prévoir avant ou tout au long d'un tour de service, les remèdes susceptibles de garantir le maintien d'une performance optimale.

Les terminaux concernant le personnel affecté à la voie (TFT) constituent un moyen d'acheminer des informations et des instructions en provenance et à destination du personnel affecté à la voie. Un TFT consiste en un ordinateur portable ou en un agenda électronique (PDA), un système de radiocommunication de données et un récepteur de localisation. Depuis le terrain, le TFT signale sa position au centre de régulation via le réseau de communications par liaison de données numériques et il affiche les autorisations données par le centre de régulation au personnel affecté à la voie. Grâce au TFT, ce personnel reçoit des autorisations sans avoir à s'adresser à un responsable. Le TFT fait apparaître la localisation de tous les trains se trouvant dans le voisinage. L'équipe détermine elle-même le moment où la voie sera libre et utilise le TFT pour demander l'autorisation d'occuper la voie au moment considéré. L'ordinateur du centre de régulation contrôle les effets de l'autorisation envisagée du point de vue de la sécurité et, si les conditions sont réunies, le responsable donne l'autorisation, qui s'affiche automatiquement à la fois sur l'écran du responsable et sur celui du TFT. Une fois terminé le travail sur la voie, le TFT sera utilisé pour affecter au secteur considéré une consigne de ralentissement en transmettant les informations à l'ordinateur du centre de régulation. Le TFT permettra également de transmettre des données à caractère administratif (horaires des équipes, situation et utilisation des machines, utilisation du matériel et rapports d'activité) aux organes responsables de la maintenance des voies et au système de gestion des données d'exploitation.

Depuis 1995, aux États-Unis et au Canada, des marques destinées à **l'identification automatique du matériel (AEI)** sont apposées de part et d'autre de la caisse sur tous les wagons

et sur toutes les machines. Des lecteurs de marques AEI, installés le long des voies dans les dépôts, les gares de triage, les terminaux et les nœuds ferroviaires, interrogent les marques sur certaines fréquences UHF (900 MHz) et reçoivent en réponse la combinaison unique de lettres et de chiffres qui identifie tout matériel roulant. Les lecteurs collationnent les informations recueillies sur chacune des unités constitutives d'un train avant de transmettre la composition complète du train au système de gestion des données d'exploitation via le réseau de communications par liaison de données numériques ou bien via des lignes téléphoniques spéciales. Du fait que le système PTC permet de connaître à tout moment la localisation précise de n'importe quel train, le système AEI, combiné au système PTC, permet à la compagnie de connaître à tout moment la localisation exacte de n'importe quel wagon et de son chargement. Certaines compagnies ont installé un nombre considérable de lecteurs et les ont intégrés dans leur système de gestion des données d'exploitation; d'autres ne l'ont pas fait. D'ici la fin de la décennie, l'installation et l'intégration d'un réseau complet de lecteurs devraient être menées à bien. Les lecteurs AEI seront intégrés aux systèmes de capteurs de surveillance du matériel roulant installés en bord de voie, de manière à offrir une identification contrôlée de tout matériel roulant présentant une défaillance.

Les capteurs en bord de voie surveillant le matériel roulant ont pour fonction de déceler un certain nombre de défaillances pouvant affecter certaines composantes du matériel roulant et de transmettre des informations concernant ces défaillances, de telle sorte que les trains puissent, au besoin, être arrêtés et que les équipes de maintenance puissent effectuer les réparations voulues. Au nombre des défaillances pouvant être décelées par des capteurs en bord de voie, on citera la surchauffe des roulements et des roues, la détérioration des roulements, le mauvais fonctionnement des freins, la formation d'accumulations sur les bandages de roue, l'usure anormale des roues, la fissuration des roues, la formation de méplats sur les roues, le déraillement de roues, les mouvements excessifs de galop, les objets à la traîne, les contraintes latérales ou verticales excessives, le défaut d'alignement des bogies et le dépassement du gabarit par le chargement. La combinaison des systèmes de lecteur AEI et des systèmes de capteurs permettra d'identifier sans risque d'erreur les véhicules présentant des défaillances. À l'heure actuelle, les informations émises par les capteurs sont en règle générale transmises par un système radio à synthèse vocalique. Une fois que les réseaux de communications par liaison de données numériques seront installés, les informations seront transmises depuis les unités d'interface en bord de voie au personnel de conduite du train, aux centres de régulation et aux organes de maintenance.

Les capteurs en bord de voie surveillant la voie elle-même ont pour but de déceler un certain nombre de situations, défaillances ou incidents pouvant se produire sur la voie ou le long de celle-ci et de relayer l'information afin que le train puisse être ralenti ou arrêté, selon le cas, et que les équipes de maintenance puissent procéder aux interventions nécessaires. Au nombre des situations ou défaillances susceptibles d'être décelées par des capteurs en bord de voie, on signalera: la position d'un aiguillage, la rupture d'un rail, le désalignement d'une voie, l'envahissement des voies par l'eau, des pierres ou la neige, les contraintes excessives subies par le rail, le désalignement d'un pont ou d'un chevalet, l'obstruction d'un dalot, les données météorologiques (température, vitesse de changement de la température, vitesse du vent, précipitations, etc.), les mouvements sismiques, ainsi que toutes informations générales concernant l'intégrité et la sécurité de la voie et des infrastructures. À l'heure actuelle, les informations recueillies grâce à ces capteurs sont transmises par un système de signaux en bord de voie. Quand les réseaux de communications par liaison de données numériques seront en

service, ces informations seront transmises des unités d'interface en bord de voie au personnel de conduite à bord des trains, aux centres de régulation et aux organes de maintenance.

Les systèmes de suivi des conditions de fonctionnement des machines font appel à des capteurs montés sur les motrices, les moteurs de propulsion, les systèmes électriques, les systèmes pneumatiques, les échappements et les réservoirs de combustible. Presque toutes les nouvelles machines sont équipées de la plupart de ces types de capteurs. Des données provenant de toutes les unités composant la rame peuvent être visualisées dans la cabine de conduite. Elles sont mémorisées par les ordinateurs de bord afin de pouvoir être à nouveau consultées lorsque les machines subissent des opérations de maintenance. Les données seront transmises par un réseau de communications par liaison de données numériques aux centres de régulation, aux organes de maintenance et aux centres de répartition des moyens de la traction, de manière à permettre un suivi en temps réel des conditions de fonctionnement et du rendement de chaque machine. Chacun des intervenants pourra interroger la liaison de données à propos d'une machine et obtenir son «bilan de santé». Les données seront également recueillies par les organes de maintenance, qui les analyseront et s'en serviront pour adapter les opérations de maintenance à la réalité des besoins plutôt que de l'organiser selon une certaine périodicité. Le fonctionnement des organes de traction sera observé aussi bien en mode traction qu'en mode freinage dynamique. Les systèmes de suivi en temps réel des conditions de fonctionnement des machines contribueront à l'amélioration de l'utilisation de celles-ci sur les plans de la dépense énergétique et des émissions polluantes. On a commencé à les expérimenter sur une certaine échelle au cours des dix dernières années. Les enregistrements de données significatives destinés aux investigations ultérieures peuvent inclure les données relatives aux régimes moteur et au freinage recueillies par les systèmes de suivi et les combiner aux références géographiques et temporelles précises fournies par les récepteurs GPS/NDGPS.

Les systèmes de gestion des ressources énergétiques (EMS) sont des programmes informatiques distincts dont on équipe les machines pour optimiser leur consommation de combustible et limiter les émissions polluantes. Un EMS reçoit des informations concernant le profil et les conditions du parcours, les limitations de vitesse, la composition de la rame, les caractéristiques de performance du combustible, les données provenant du système de suivi des conditions de fonctionnement de la machine en ce qui concerne les organes de traction, la longueur et le poids de la rame, les horaires cibles de passage à certains points spécifiés par l'agent de régulation tactique du trafic. L'EMS détermine ensuite une vitesse recommandée du train, qui concilie les impératifs du service et la recherche d'une consommation et/ou d'émissions polluantes aussi faibles que possible tout en répondant à des paramètres aussi satisfaisants que possible sur le plan de la circulation. Les EMS ont fait l'objet d'études théoriques mais aucun prototype n'a encore été expérimenté.

Des capteurs embarqués de surveillance de la voie seront montés sur les véhicules d'inspection et, le moment venu, sur les machines, pour déceler un certain nombre de défaillances ou de situations susceptibles de se produire au long des voies, de telle sorte que les trains puissent être ralentis ou arrêtés, selon le cas, et les équipes de maintenance procéder éventuellement aux réparations nécessaires. Au nombre des défaillances qui pourront être décelées grâce aux capteurs embarqués, on citera les criques ou les fractures dans les rails, les défauts d'alignement des voies, les contraintes excessives subies par les rails. Des données météorologiques (température, vitesse de changement de la température, précipitations, etc.) seront également recueillies. Les informations obtenues grâce à tous ces capteurs s'afficheront

dans le véhicule d'inspection ou bien dans la cabine de conduite de la machine avant d'être retransmises via le réseau de communications par liaison de données numériques aux centres de régulation et aux équipes de maintenance.

Les capteurs embarqués de surveillance du matériel roulant installés à bord des voitures, permettront de déceler un certain nombre de défaillances et de fournir toutes informations utiles pour que le train puisse, au besoin, être arrêté et les équipes de maintenance procéder aux réparations éventuellement nécessaires. Au nombre des situations ou défaillances susceptibles d'être ainsi détectées par les capteurs embarqués, on citera: la surchauffe des roulements et des roues, les chocs et les vibrations induits par un méplat sur une roue, une roue ayant déraillé ou une ondulation du chemin de roulement, des mouvements de galop excessifs, des forces longitudinales excessives et des défaillances des systèmes de freinage. Les données recueillies grâce à ces capteurs seront transmises par les voies de communication propres au système de freinage à commande électronique à la cabine de conduite, où elles pourront être observées par le personnel de conduite et d'où elles seront retransmises, via le réseau de communications par liaison de données numériques, aux centres de régulation et aux organes de maintenance. Des capteurs de ce type ont fait l'objet d'une certaine mise au point, mais le déploiement d'un réseau de communications par liaison de données numériques et celui des systèmes de freinage à commande électronique constituent un préalable à leur diffusion.

Des capteurs embarqués de surveillance de la charge utile sont actuellement en cours d'installation sur les wagons de marchandises. Ils permettront de contrôler l'état de la charge utile en cours de transport. Au nombre des paramètres qui seront mesurés par ces capteurs embarqués, on citera la température, la pression, la position de la charge, les rayonnements et les vibrations. L'intégrité des chargements pourra elle aussi être contrôlée. Les données obtenues grâce à ces capteurs seront transmises par les moyens de communication propres au système de freinage à commande électronique à la cabine de conduite, où elles seront observées par le personnel de conduite et d'où elles seront retransmises, via le réseau de communications par liaison de données numériques, aux centres de régulation, aux organes de maintenance et à la clientèle. En cas de problème, le train pourra être arrêté et les équipes de maintenance pourront procéder aux réparations éventuellement nécessaires. Certains clients utilisent leur propre système de capteurs et de communications par satellite pour disposer directement d'information concernant l'acheminement de leurs marchandises et ne sont pas dépendants des canaux d'information des compagnies ferroviaires.

Les passages à niveau «intelligents». Les intersections rail/route bénéficient des effets conjugués des systèmes de transport intelligents (STI) propres au secteur routier et des systèmes intelligents propres aux transports ferroviaires. C'est ainsi que les données concernant la position instantanée et l'heure d'arrivée des trains, qui seront obtenues soit grâce au système PTC, soit grâce aux circuits de voie ou aux capteurs en bord de voie, seront transmises par les centres de régulation du trafic ferroviaire aux centres de contrôle du trafic routier via le réseau de communications par liaison de données numériques et aux automobilistes grâce à des panneaux d'information routière, des stations radio spéciales ou des systèmes de visualisation ou d'alerte sonore montés sur les véhicules. Dans le même ordre d'idées, des capteurs placés aux intersections rail/route communiqueront des informations aux centres de régulation du trafic ferroviaire et aux trains via le réseau de communication par liaison de données numériques dans le cas où une intersection viendrait à être obstruée par un véhicule en panne. Des passages à niveau intelligents ont été expérimentés dans huit États. Des éléments d'architecture destinés à

décrire les systèmes d'intersections rail/route ont été ajoutés à l'ITS National Architecture, et grâce aux travaux de mise au point de normes pour les passages à niveau intelligents d'ores et déjà engagés, on est assuré de parvenir à une interopérabilité au niveau national.

Les systèmes météorologiques intelligents font appel à des réseaux de capteurs et d'autres appareils à usage météorologique locaux – installés au bord des voies ou sur les machines qui combinent leurs données aux prévisions météorologiques locales, régionales et nationales et permettent de mettre en garde les centres de régulation, les équipes roulantes et le personnel de maintenance contre les perturbations météorologiques effectives ou potentielles. Les systèmes météorologiques intelligents fourniront une alerte précoce contre les risques découlant des phénomènes météorologiques – inondation ou affouillement des voies par les eaux; obstruction des voies par la neige, la boue ou des rochers; vents forts, brouillard; risque élevé de flambage des rails; toute autre situation imposant une adaptation de la circulation des trains ou une intervention du personnel de maintenance. De même, les données météorologiques recueillies en bord de voie seront communiquées aux centres de prévision météorologiques, qui enrichiront leurs bases de données. Cependant, l'installation d'un réseau de communications par liaison de données numériques est un préalable indispensable à cette initiative.

Les planificateurs tactiques de trafic (TTP) établissent des plans faisant apparaître l'heure à laquelle les trains doivent arriver en un point donné du territoire relevant de la juridiction d'un responsable de la circulation, les lieux où les trains doivent se rejoindre et se dépasser et les trains qui doivent emprunter les voies de garage. Au fil de l'exécution d'un plan, un TTP assimile les informations très détaillées concernant la circulation des trains que le système ETC lui fournit et les compare aux paramètres de fonctionnement souhaités. Si des écarts sensibles apparaissent, le TTP procède à une reprogrammation, en redéfinissant les lieux où les trains doivent se rejoindre et se dépasser, de manière à rattraper le retard indésirable. Le TTP fait appel à des techniques complexes d'optimisation non linéaire pour élaborer un plan de circulation optimal. Une fois le plan élaboré par le TTP, le responsable n'a plus qu'à l'entériner. Ensuite, le système de dispatching assisté par ordinateur du PTC formule tous les ordres nécessaires à l'exécution du plan et les communique aux trains et aux véhicules de la maintenance de la voie grâce au réseau de communications par liaison de données numériques. Des prototypes de TTP ont été mis au point et testés.

Les planificateurs stratégiques de trafic (STP). Un TTP ne peut fonctionner sans avoir connaissance de l'horaire de chaque train. Les STP chiffrent les mouvements des trains en les rapportant à une série d'horaires définis extérieurement et tenant compte de données – internes et externes – relatives aux horaires des changements de cantonnement et des correspondances. Se fondant sur le flux d'informations concernant le fonctionnement effectif du train selon les indications du TTP, la réalisation des correspondances et la composition détaillée de tous les trains telle que communiquée par les systèmes de données d'exploitation, le STP retient l'option la plus favorable sur le plan des coûts lorsqu'il s'agit de décider en temps réel si l'ordre de priorité ou l'horaire doit être modifié. Le STP constitue le moyen de régulation en temps réel du niveau le plus élevé dans la hiérarchie TTC. Il permet de visualiser la circulation des trains par rapport au tableau de marche, la position instantanée de n'importe quel train selon le type (de charbon, intermodal, de céréales, de liaisons interurbaines pour voyageurs), de même que sa position dans un avenir immédiat en se fondant sur les paramètres de son fonctionnement en temps réel. La Federal Aviation Administration a mis au point un STP (appelé «central flow

control») qui complète le système de régulation du trafic aérien des États-Unis. La même optique a été retenue en ce qui concerne les STP applicables aux chemins de fer.

Les systèmes de gestion des gares de triage (YMS) assurent la liaison essentielle entre le mouvement des trains et le mouvement des wagons et voitures. Un YMS reçoit les données en temps réel de l'emplacement et de la composition de chaque train sur le réseau et assure le suivi de tous les wagons et voitures dans la gare de triage. Il reçoit du STP des consignes et objectifs. Avec cela, le YMS peut déterminer les modalités optimales de formation des trains, c'est-à-dire l'ordre dans lequel les wagons et voitures arrivants doivent être retirés des voies principales et l'ordre dans lequel les trains partants doivent être formés. Un YMS tiendra compte de l'heure à laquelle les trains arrivent, de l'heure à laquelle ils doivent partir et du temps requis pour l'exécution de chaque opération de triage. Il fournira au STP une prévision des horaires de départ de la gare de triage pour chaque train afin que le STP soit en mesure de mieux s'acquitter de sa fonction d'élaboration d'horaires cibles axés sur une exploitation harmonieuse du réseau.

Les systèmes d'indication d'exécution des tâches (WOR) transmettent par le réseau de communications par liaison de données numériques les instructions du centre de régulation au personnel de conduite en ce qui concerne la localisation et la collecte des wagons vides et des wagons chargés tout au long du parcours. Lorsque le personnel de conduite envoie un signal d'indication d'exécution des tâches, le système procède automatiquement à la mise à jour des informations de la cabine de conduite relatives à la composition de la rame et renvoie les données relatives à la position des wagons et à la composition de la rame via le réseau de communications par liaison de données numériques au système de gestion des données d'exploitation de la compagnie et à la clientèle. Les informations WOR s'affichent dans la cabine de conduite sur le même écran que les instructions et informations PTC. Une grande compagnie ferroviaire a déjà mis en service un système WOR utilisant un réseau spécifique de communications par liaison de données numériques.

Le système de programmation de l'utilisation des machines se base sur plusieurs séries de données – horaires des trains, configuration du parcours, caractéristiques des machines, fonctionnement des machines, calendriers d'entretien des machines et les prévisions concernant la composition des rames – pour assigner chaque machine à un train, utilisant pour cela des algorithmes de programmation linéaire. L'affinement de l'information concernant la composition des rames, grâce aux systèmes de réservation et de programmation de la circulation des wagons, permettra d'améliorer l'affectation des machines. Le respect des horaires des trains et, partant, des machines, est une condition nécessaire pour la réaffectation de celles-ci. Des systèmes de programmation de la circulation des machines ont été mis au point et sont utilisés dans la plupart des compagnies. Si l'on parvient à fournir à ces systèmes des informations en temps réel concernant les conditions de fonctionnement des machines, la position instantanée et la position prochaine des trains et la composition prévue des rames, le taux d'utilisation des machines se trouvera sensiblement amélioré.

Les systèmes de réservation et de programmation de la circulation des wagons.

Les systèmes de réservation des wagons de marchandises permettent aux clients de réserver d'avance un moyen de transport sur un parcours donné; la programmation de la circulation des wagons permet à une compagnie de programmer les mouvements de l'ensemble des wagons d'une manière qui réponde à la demande connue de la clientèle. La programmation de la circulation des wagons permet de réduire les déplacements à vide ainsi que les immobilisations des wagons – vides ou en charge – au niveau des gares de triage intermédiaires. Ce système

réduit les besoins en matériel roulant et améliore l'utilisation du parc disponible. Comparable aux systèmes de réservation des sièges et de programmation des vols des compagnies aériennes, ce système ne peut fonctionner que dans la mesure où les compagnies ferroviaires programment leur circulation. En contrepartie, il est une source potentielle d'informations pour les systèmes de programmation de la circulation des machines et il entre obligatoirement en jeu dans l'optimisation de la recette unitaire. Une grande compagnie ferroviaire a mis au point et applique depuis un certain nombre d'années un système de programmation de l'utilisation des wagons, mais son incapacité à se tenir à sa programmation de la circulation des trains a eu pour résultat que les wagons ont souvent dû être rattachés à des trains différents pendant le parcours.

Les systèmes de programmation du travail du personnel roulant. Lorsque la circulation des trains résulte d'une programmation préalable et qu'elle respecte cette programmation, l'affectation du personnel peut elle-même être programmée un certain nombre de jours, voire de semaines, à l'avance. Cela présente l'avantage, pour la plupart des membres du personnel roulant, d'avoir un horaire de travail prévisible et de bénéficier ainsi de périodes de repos et de détente bien échelonnées, ce qui contribue à réduire les tensions familiales ou sociales et le stress mental aussi bien que physique. Les systèmes de programmation du travail du personnel roulant combineront des données provenant du STP et du PTC et les paramètres concernant le personnel (priorités dues à l'ancienneté, déplacements en cours, préférences en matière d'horaires, horaires effectués récemment) ainsi que les prescriptions découlant de la législation du travail et des dispositions contractuelles, en vue de concilier les besoins et les disponibilités de la manière la plus économique possible. Certaines compagnies ferroviaires européennes appliquent à l'heure actuelle de tels systèmes de programmation à long terme du travail du personnel roulant.

Les systèmes d'optimisation de la recette unitaire permettent aux compagnies ferroviaires de se doter d'une politique des prix variables et de réaliser des marges bénéficiaires plus élevées en mettant en équation les prix pratiqués et la demande de la clientèle. S'appliquant à la gestion aussi bien du trafic marchandises que du trafic voyageurs, cette technique fait appel à certains moyens de réservation et de programmation de la circulation et à un système d'information élaboré permettant de tenir compte des fluctuations de capacité, des variables complexes afférentes aux services et de la multiplicité des tarifs. Avec ces systèmes, les compagnies ferroviaires peuvent trouver les opportunités les plus propices à une utilisation maximale de leur capacité disponible en réservant les services les moins onéreux à la clientèle la moins exigeante sur ce plan. Parallèlement, ces systèmes permettent de savoir quand et dans quelle mesure augmenter les tarifs appliqués aux clients exigeants qui expédient des marchandises ou voyagent aux périodes de pointe. Amtrak applique ce système à l'instar de toutes les grandes compagnies aériennes.

Les systèmes de notification d'une situation d'urgence équipant les centres de régulation notifient automatiquement toutes les entités concernées par un accident, un incident ou une menace sur le réseau. Ces systèmes sont un facteur de progrès sur le plan de la coordination de l'action des entités susvisées: équipes d'intervention; services de police, lutte contre l'incendie et secours d'urgence, autres autorités locales, régionales ou nationales compétentes. Ils sont connectés à des interfaces géographiques. Lorsque des accidents, des incidents ou des menaces sont signalés via le réseau de communications par liaison de données numériques avec une indication précise et exacte des coordonnées géographiques, ces systèmes peuvent déterminer eux-mêmes quels sont les intervenants pour le lieu considéré, les aviser et

leur fournir toutes informations pertinentes. Ils comptabilisent les délais de réaction des services d'intervention, ce qui permet d'en évaluer l'efficacité. Ils permettent de résoudre les problèmes et de rétablir le service dans des délais plus courts.

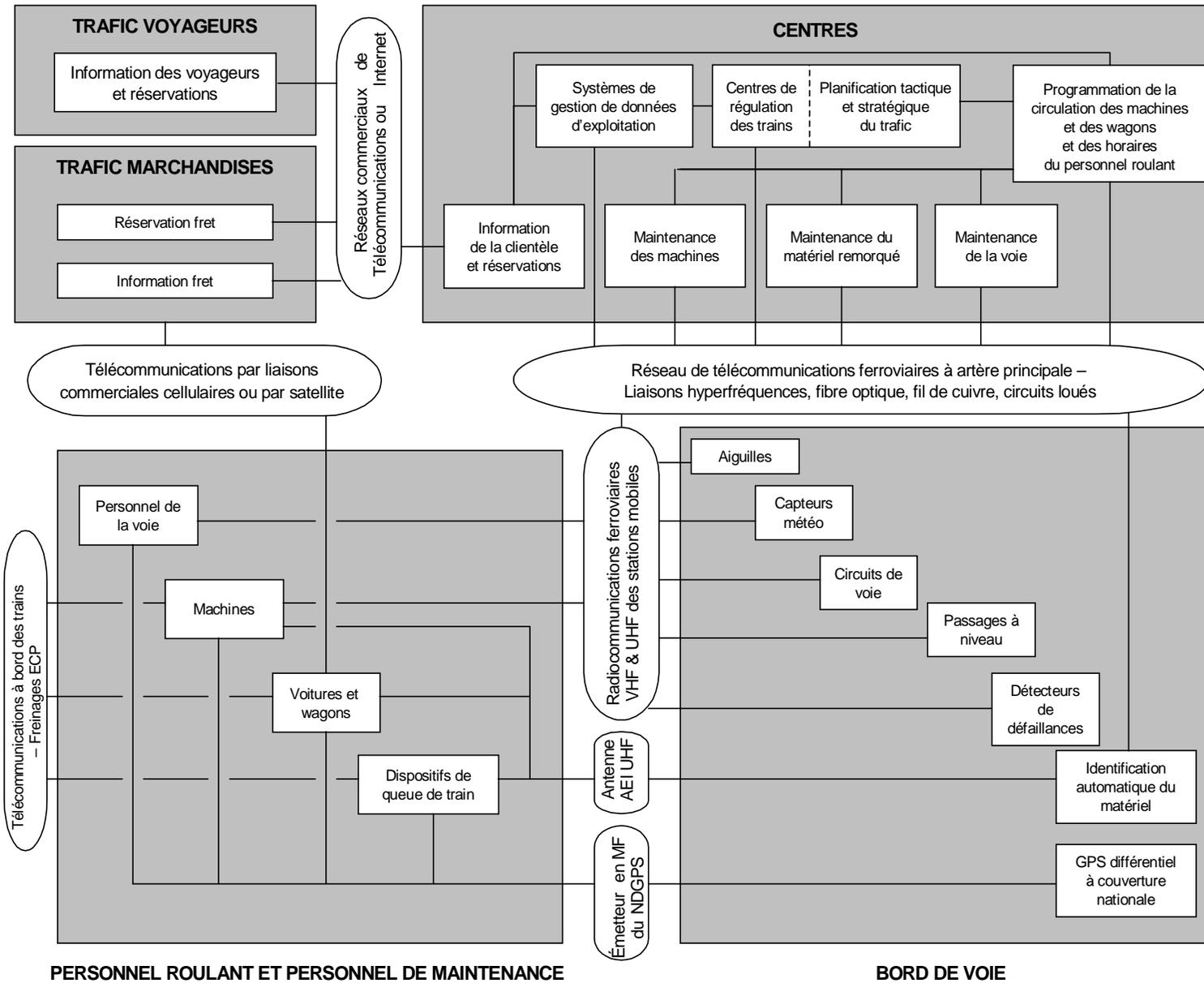
Les services consultatifs pour voyageurs sont basés sur les informations relatives à la position instantanée des trains fournie par les récepteurs GPS installés dans les cabines de conduite et transmises par liaison de données numériques. Ils permettront aux passagers des trains interurbains ou des trains de banlieue de connaître l'heure exacte d'arrivée de leur train. Ces données pourront être consultées grâce à des panneaux à affichage dynamique installés dans les gares et aussi par affichage cartographique sur Internet. Les compagnies ferroviaires transportant des voyageurs, qui ne sont bien souvent que preneurs à bail d'une compagnie de transport de marchandises, s'en serviront pour évaluer automatiquement le respect des horaires de leurs trains. En règle générale, ces systèmes fonctionnent de manière indépendante et font appel à des réseaux de communication cellulaire ou par satellite, mais ils seront intégrés aux autres systèmes, et utiliseront des informations provenant des systèmes PTC et les transmettront via le réseau de communications par liaison de données numériques de la compagnie.

La sécurité des systèmes, une des questions primordiales à l'origine du déploiement de la plupart des systèmes et des initiatives que l'on vient de décrire, doit être intégrée dans les systèmes de transport ferroviaire intelligents au stade de leur conception. La confidentialité des données concernant les trains, les wagons, le personnel roulant et les expéditions doit être assurée, toute obtention non autorisée d'informations à partir du réseau de communications par liaison de données numériques devant être rendue impossible. L'authentification des données doit garantir leur authenticité, leur intégrité et leur caractère exhaustif. Le codage est une mesure de sécurité qui consiste à convertir du texte clair en texte codé, inintelligible pour ceux qui n'ont pas accès aux clés appropriées. Pour en prévenir la perte, les données provenant des systèmes de transport ferroviaire intelligents devront être archivées de manière sûre, en recourant à un filtrage des accès. Les systèmes de notification des situations d'urgence permettront aux centres de régulation d'identifier la nature de ces situations, d'en vérifier la réalité à partir des données leur parvenant et d'aviser de la situation les autorités publiques concernées et les responsables compétents.

L'architecture des systèmes de transport ferroviaire intelligents

Pour évaluer la compatibilité de tous les systèmes et initiatives décrits dans les chapitres précédents et faciliter l'identification des interfaces qui sont déterminantes pour la standardisation, on s'emploie actuellement à mettre au point une architecture pour systèmes de transport ferroviaire intelligents. La figure présentée ci-après est l'illustration d'une première étape dans ce sens. Il s'agit d'un diagramme principal d'interconnexion, dans lequel on distingue les éléments clefs des systèmes de transport ferroviaire intelligents ainsi que les interfaces de télécommunication entre ceux-ci. Ce diagramme a été établi sur la base des conventions élaborées par l'équipe de développement d'architecture pour la National Architecture ITS. Ce type de diagramme est appelé communément diagramme «à saucisses». Les «saucisses» représentent les divers types de liaison de télécommunication acheminant l'information entre le matériel roulant, les installations fixes disposées tout au long du réseau, les centres de gestion et d'exploitation et la clientèle.

SYSTÈMES FERROVIAIRES INTELLIGENTS



Synthèse et conclusions

La mise en œuvre des systèmes de transport ferroviaire intelligents ne va pas sans un certain nombre de difficultés. Pour ne mentionner que les plus importantes, on citera: l'ampleur des coûts, la difficulté d'accès des compagnies ferroviaires aux capitaux et la concurrence qui s'exercera entre elles sur ce plan. De plus, il faudra que les compagnies ferroviaires soient convaincues qu'un investissement judicieusement réalisé dans des systèmes de transport ferroviaire intelligents entraîne, grâce à une intensification de l'utilisation des moyens disponibles, une réduction du montant des capitaux à consacrer aux machines, au matériel remorqué et aux voies. Les compagnies pourraient exploiter les possibilités offertes par le programme de financement de la remise en état et de l'amélioration des réseaux (RRIF) de la FRA pour se doter de systèmes de transport intelligents.

Les options envisageables en vue de l'adoption de tels systèmes sont multiples. Les compagnies ferroviaires ne souhaiteront pas toutes investir dans la totalité des composants. Cependant, si leur décision s'appuie sur des critères qui ne sont pas pertinents, comme la réduction maximale du coût d'un seul et unique sous-système (par exemple celui des télécommunications), il peut en résulter, du fait de la majoration d'autres coûts, un déploiement non optimal – voire totalement infructueux – du sous-système en question. Le défi que posent les systèmes de transport ferroviaire intelligents consiste, pour les compagnies, à optimiser le rapport entre les avantages et les coûts du système complet et non seulement le rapport entre les avantages et les coûts d'un sous-système.

Les problèmes de compatibilité opérationnelle se posent avec certains des systèmes de transport ferroviaire intelligents mais non pour l'ensemble. Pour que le système de commande intégrale des trains (PTC) puisse se généraliser, il faut que les machines soient équipées de radio fonctionnant sur des fréquences et selon des protocoles communs, qu'elles soient dotées de systèmes de positionnement communs et que les calculateurs utilisent une logique commune. Par ailleurs, étant donné que les deux systèmes de freinage ECP ne sont pas compatibles entre eux, il faudra que les compagnies ferroviaires décident de ce qui devra être la norme. En ce qui concerne les autres systèmes, comme la planification tactique et la planification stratégique du trafic, le contrôle du fonctionnement des machines et les capteurs équipant les installations de bord de voies, l'harmonisation entre les diverses compagnies n'est pas nécessaire.

Les systèmes de transport ferroviaire intelligents prendront probablement dix ans ou plus pour se mettre en place, horizon plus lointain que la fin de la vie active de bon nombre de cadres supérieurs aujourd'hui en poste dans les compagnies ferroviaires. À l'heure actuelle, plusieurs compagnies ne disposent pas en nombre suffisant d'un personnel familiarisé avec ces nouvelles technologies. Il leur faudra en recruter ou bien en former. Des compagnies ont exprimé leurs préoccupations au sujet des obligations devant lesquelles elles risquent d'être placées si elles reconnaissent que ces technologies nouvelles tendent à rendre leurs opérations à la fois plus sûres et plus efficaces.

Lorsque de nouvelles technologies sont adoptées et que les méthodes de travail changent, il est bien naturel que des personnes, voire des institutions, manifestent de l'inquiétude et opposent une certaine résistance. D'autres, en revanche, feront bon accueil à cette évolution. Pour certaines compagnies, il est pénible d'avoir à inscrire en profits et pertes ou au poste des coûts

irrécupérables des investissements dans du matériel qui deviendra inutile avec la mise en place des systèmes de transport ferroviaire intelligents.

Les fabricants eux-mêmes hésitent à investir un montant appréciable de leurs capitaux propres dans la mise au point de systèmes ferroviaires intelligents sans avoir quelques assurances quant à la volonté des compagnies ferroviaires de s'engager dans des dépenses afin de s'en équiper. La FRA est consciente de cette situation et c'est pourquoi elle parraine la recherche-développement et l'expérimentation d'un certain nombre de composantes de ces systèmes.

Chez certaines compagnies, les services commerciaux ont émis des doutes quant à l'accueil que leur clientèle pourrait réserver à l'amélioration du service. Selon eux, il est douteux que la clientèle soit disposée à payer plus pour obtenir un meilleur service ou à faire acheminer davantage de leur fret par voie ferrée plutôt que par la route. Les compagnies ferroviaires ne disposent pas de beaucoup d'éléments pour connaître l'élasticité éventuelle de la demande de leur clientèle par rapport à une amélioration sensible du service. Par contre, un grand nombre d'éléments montrent comment la clientèle réagit en cas de détérioration puis de rétablissement de la qualité du service, comme cela a été le cas à la suite de récentes fusions.

La FRA reconnaît que la somme de ces problèmes peut paraître redoutable pour les entreprises qui doivent envisager de se doter de ces systèmes. Elle sait aussi que le déploiement des systèmes ITS et des nouveaux systèmes de régulation du trafic aérien et d'observation du trafic maritime ne va pas sans quelques complications. Elle reste cependant convaincue que les nouveaux systèmes de transport ferroviaire intelligents sont un passage obligé pour que les diverses activités ferroviaires – transport de marchandises, liaisons interurbaines voyageurs et desserte des banlieues – deviennent plus sûres et subissent moins de retards, pour que les compagnies voient leurs coûts baisser, gagnent en capacité et en fiabilité, donnent plus satisfaction à la clientèle, progressent sur le plan des dépenses énergétiques et des émissions polluantes et enfin, d'une manière générale, pour que les transports ferroviaires deviennent économiquement plus viables.

Les systèmes de transport ferroviaire intelligents permettront aux compagnies de faire face à des situations imprévues du fait qu'elles disposeront d'informations en temps réel concernant les activités en cours et les conditions dans lesquelles ces activités s'exercent. Grâce à eux, les décideurs et les responsables de secteurs connaîtront mieux la situation sur l'ensemble du réseau et pourront remédier très tôt à toute perturbation. L'information parviendra précisément aux destinataires ayant compétence pour prendre toute mesure corrective.

Les systèmes de transport ferroviaire intelligents peuvent être mis en œuvre en tant que systèmes indépendants, mais dans ce cas, les avantages qu'ils apporteront seront limités. En revanche, s'ils sont mis en œuvre en tant que systèmes intégrés, les avantages qu'ils apporteront s'en trouveront multipliés. Dans l'optique de la mise en place de tels systèmes, le secteur ferroviaire a donc vivement intérêt à privilégier une approche intégrée.
