

LE PROJET ASTREE

DE CONTROLE COMMANDE DES CIRCULATIONS FERROVIAIRES

Daniel LANCIEN
Ingénieur en chef
Chef du département ASTREE
de la Direction de la Recherche
Paris - France

1 - LA PHILOSOPHIE DU SYSTEME ASTREE

La SNCF, comme toute entreprise visant à accroître ses parts de marché, poursuit, au travers de la recherche technologique, un double but, d'une part de réduction de ses coûts de production et d'autre part l'amélioration de ses produits afin d'accroître leur attractivité pour la clientèle. Compte tenu, aujourd'hui, de l'âpreté de la concurrence, il ne saurait être question qu'un axe majeur de recherche, soit développé si il n'apporte pas des réponses clairement positives à ces deux objectifs.

Le projet ASTREE n'échappe pas à ces deux impératifs et il se propose d'une part d'améliorer les performances de l'outil ferroviaire en matière de débit des lignes et de gestion des régimes perturbés, tant sur le plan technique que sur celui de l'information de la clientèle, et d'autre part de réduire les coûts de gestion du service et les coûts de maintenance.

Afin de mieux comprendre comment les concepts qui sont à la base d'ASTREE permettent d'atteindre ces objectifs, il est nécessaire de rappeler en quelques lignes les principes qui régissent actuellement la circulation des trains.

Dans le domaine ferroviaire, les systèmes de contrôle-commande des circulations sont basés sur une connaissance de la position des trains qui est acquise au moyen d'équipements le plus généralement implantés sur l'infrastructure (circuits de voie - c'est-à-dire circuits électriques qui sont constitués pour l'essentiel par les deux files de rail et dont le shuntage par les essieux d'un train assure la détection de ce dernier -, balises...). Le système de signalisation, quant à lui, peut être soit également disposé en voie latéralement soit reporté en cabine de conduite au moyen d'une transmission voie-machine nécessitant des installations au sol toutefois importantes.

Cette conception induit des conséquences importantes tant au plan de l'exploitation qu'au plan technique :

- rigidité de l'exploitation liée au caractère "figé" des équipements en voie se traduisant matériellement par une limitation du débit résultant du pas de quantification de l'espace imposé par la dimension finie des circuits de voie (cantonnement),

- spécificité des matériels concourant à la localisation qui n'ont pas d'autres domaines d'application que le ferroviaire ce qui induit des coûts d'acquisition élevés et conduit à des délais d'amortissement longs d'où résulte parfois une obsolescence technique,
- difficulté d'équiper les lignes les moins chargées avec des dispositifs performants dès lors que, le coût étant proportionnel au kilométrage de ligne et non au nombre de véhicules, les bilans économiques sont toujours peu favorables à établir dans ce cas.

Conscient de ces difficultés et des limitations des systèmes actuels, la SNCF travaille depuis 1986 à la conception, l'étude et la réalisation du projet ASTREE qui s'éloigne radicalement des approches traditionnelles car il suppose que les trains se localisent eux-mêmes sur l'infrastructure, la gestion des circulations étant, à partir de ces informations de localisation retransmises au sol, assurée par des ordinateurs répartis sur le territoire et qui entretiennent une base de données décrivant l'état du réseau et des trains qui y circulent.

Concrètement, ASTREE repose sur quatre sous ensembles fondamentaux :

- un dispositif de localisation des trains par eux-mêmes, dispositif naturellement implanté sur chaque engin de traction,
- une base de données complète, précise, sûre et tenue à jour en temps réel représentant l'état du réseau c'est-à-dire, outre les caractéristiques constantes (profils, vitesses limites,...), la position de tous les trains et l'état de toutes les aiguilles,
- des centres informatiques de gestion, en nombre relativement faible (quelques petites dizaines sur l'ensemble du réseau SNCF) avec en antennes des calculateurs de capacité plus restreinte permettant l'interfaçage avec le terrain. Cet ensemble informatique supporte la base de données évoquée ci-dessus et a pour rôle d'élaborer les consignes de commande des trains et des aiguilles,
- un réseau de transmission, à la fois hertzien et filaire, reliant les centres informatiques aux infrastructures et aux mobiles.

Cette architecture générale qui privilégie les installations embarquées sur le véhicule permettra donc :

- d'offrir une souplesse d'exploitation et un débit accru grâce à la mise en place d'un système d'espacement des trains non quantifié (block mobile) et à une banalisation - possibilité généralisée de circuler dans les deux sens sur une voie sans procédure particulière complète des infrastructures, ce qui se révèle particulièrement utile en cas de régime perturbé ou suite à incident,
- de recourir massivement aux technologies des télécommunications et de l'informatique, ce qui permettra ipso facto de bénéficier des avancées effectuées en permanence dans ces domaines qui sont portés par un grand nombre d'industries utilisatrices, ceci se traduisant par une réduction des coûts et la possibilité de progrès constants.

- de réduire les coûts de maintenance grâce à la réduction du volume des équipements au sol, en large partie électromécanique aujourd'hui, et leur remplacement par des installations de micro-informatiques embarquées requérant un entretien très sensiblement moins important,
- de développer en synergie avec le système de base de contrôle commande des circulations, de nombreuses autres applications tant dans le domaine technique (maintenance avec la prise en compte du travail réellement effectué par les matériels par exemple) que dans le domaine commercial (annonces, renseignements...) dès lors que la base de données commune renferme une image précise et constamment remise à jour de l'état du réseau.
- d'homogénéiser les conditions d'exploitation en faisant bénéficier les lignes à faible trafic des moyens mis en oeuvre pour les grandes artères dès lors que les matériels roulants circulent sur les deux types d'infrastructure,

De manière synthétique, on peut résumer les avantages potentiels d'ASTREE en trois aspects :

- accroissement de la capacité des lignes rendu nécessaire par le développement important du réseau TGV et les nouvelles dessertes rapides de Fret,
- économies d'exploitation au niveau de l'exploitation et de la maintenance, économies impératives pour améliorer l'attractivité du transport ferroviaire,
- homogénéisation du niveau de sécurité dont il est à peine besoin de souligner que c'est une préoccupation constante de tout exploitant ferroviaire.

On retrouve donc bien là les deux préoccupations évoquées en guise d'introduction auquel se joint la préoccupation sécuritaire, toujours présente dans le transport ferroviaire dont elle constitue un point particulièrement fort.

2 - LES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME ASTREE

L'architecture générale et les principaux modules et composants d'ASTREE ont été représentés schématiquement sur la figure annexée représentant les organisations matérielles et logicielles.

Pour ce qui est des équipements au sol, les principaux modules sont constitués par :

- des stations fixes de radio sol-train permettant d'assurer une liaison hertzienne entre les mobiles et l'infrastructure. Ce lien radio a été spécialement conçu pour pouvoir acheminer simultanément de la phonie et des données ce qui minimise les besoins en canaux radio. Concrètement, il s'agit d'une technique de compression - expansion de la phonie permettant de dégager des créneaux temporels pendant lesquels

prend place la transmission de données. Le débit d'informations est de 2400 bauds en absence de phonie et de 600 bauds dans le cas contraire, ces débits d'informations étant tout à fait suffisants même pour les zones où la circulation des trains est la plus dense. Il est enfin à noter que le média radio est géré par un calculateur spécialisé tenant compte de la priorité relative des divers messages à échanger entre les centres de gestion et les mobiles,

- des balises fixes, portant l'information de leur position sur l'infrastructure (abscisse) jalonnent le réseau tous les kilomètres environ et servent à recalculer l'odomètre des engins moteurs tel qu'il sera exposé plus avant. Ces balises qui supportent en mémoire plusieurs centaines de bits sont de simples répondeurs hyperfréquences passifs, à coût réduit,
- des lecteurs de composition des trains, également basés sur des technologies hyperfréquences, implantés en tous les points où cette composition peut être modifiée, et qui lisent des répondeurs hyperfréquences, analogues aux précédents mais disposés sur chaque véhicule et supportant le numéro d'identification de ce dernier,
- des éléments de commande et de contrôle des postes d'aiguillage ou des aiguilles isolées,
- des centres informatiques opérationnels ASTREE, déjà évoqués, et qui assurent le contrôle et la commande de toutes les circulations à partir de la connaissance de la position de tous les trains et de toutes les aiguilles. Ces centres informatiques tiennent à jour la base de données en temps réel de l'état du réseau, base de données utilisée par les fonctions essentielles telles que sont le suivi-régulation, la commande des itinéraires et des circulations. La dernière fonction et la seule du centre à être conçue et validée en sécurité est le contrôle sécuritaire de l'attribution renouvelée d'un tronçon de voie libre à un train (logique de block mobile), pour lui permettre de progresser, dès lors que la position des aiguilles et des autres trains sont compatibles avec cette profession. Enfin, les centres informatiques disposent de moyens de dialogue avec les opérateurs (tableau de contrôle optique donnant une représentation géographique de l'infrastructure sur laquelle sont localisés les trains et diagramme espace-temps).
- un réseau de télécommunications terrestres à base de MIC dérivable pour relier les diverses entités qui viennent d'être décrites.

Il est à souligner que l'ensemble du réseau d'ordinateurs et de télécommunications, qui vient d'être sommairement décrit, devra à la fois être sûr et disponible. A cet effet, le système sera conçu de manière modulaire, chaque fonction étant implantée sur un calculateur spécifique, et prévoira des redondances et des procédures de reconfiguration et d'exploitation en mode dégradé permettant notamment, en cas d'avarie d'un centre opérationnel, le report sur les centres encadrants.

Les équipements embarqués, quant à eux essentiellement implantés sur les engins de traction, ont des fonctions de localisation, de communication et de contrôle de vitesse. Il s'agit :

- d'un ensemble de trois radars Doppler mesurant en permanence la vitesse instantanée et l'espace parcouru. Les radars seront de conceptions technologiques différentes et "viseront" des points différents de l'infrastructure (respectivement le pied du rail et le ballast) afin d'éviter les pannes et dysfonctionnements de mode commun. La présence de trois radars est nécessaire pour respecter le haut niveau de disponibilité recherché. Elle permet un fonctionnement normal même lorsqu'un des radars est hors service. De surcroît, ces radars comportent des autotests permettant de s'assurer de leur bon fonctionnement et des logiques de traitement des signaux Doppler afin de compenser par analyse temporelle les manques momentanés de rétrodiffusion dus, par exemple, à la présence de grandes surfaces réverbérantes telles les ponts métalliques,
- d'un lecteur des balises hyperfréquences placées en voie, ainsi qu'évoqué plus haut qui permet d'effectuer un recalage de la mesure d'espace,
- d'un comptage du nombre de tours de roues au moyen d'un capteur optique et d'une roue dentée pour détecter l'arrêt complet du train, les radars Doppler ne fournissant pas d'information de vitesse en dessous de 1 km/h,
- d'une centrale odométrique, dont l'objet est de traiter les signaux élémentaires issus des radars, du recalage hyperfréquence et de la mesure du nombre de tours de roues au travers d'un filtrage de Kalmann qui permet une certaine extrapolation lors de défaillances momentanées des capteurs. Cette centrale odométrique élabore une valeur précise ($\pm 1\%$) et sûre (taux d'erreur contraire à la sécurité de 10^{-9} par heure de fonctionnement et par équipement). Il est à noter que, en cas de dysfonctionnements partiel des capteurs, la centrale est conçue pour conserver le même niveau de sécurité mais au prix d'une perte éventuellement importante sur la précision.

L'ensemble de ces équipements constitue donc la mesure d'espace en sécurité d'ASTREE qui permet tout à la fois de renseigner les centres opérationnels sur la localisation des mobiles et de piloter le contrôle de vitesse déclenchant le freinage d'urgence en cas de non respect par le mécanicien des consignes de conduite. Ces deux fonctions sont bien évidemment à traiter avec un haut degré de sécurité.

- d'un émetteur récepteur radio à transmission de données fonctionnant bien évidemment sur un mode analogue à ce qui a été décrit pour les installations au sol,
- d'un dispositif de contrôle d'intégrité du train destiné à détecter d'éventuelles ruptures d'attelage et pertes de véhicules. Concrètement, la commande des freins étant assurée par voie pneumatique dans le domaine ferroviaire, il s'agit d'un dispositif à auto-apprentissage qui examine l'évolution de la pression et du débit dans la conduite pneumatique de

commande de frein, cette évolution étant représentative, lors du desserrage des freins, du volume des installations de freinage et par suite, de la composition du train,

- d'un calculateur de bord qui gère l'ensemble des dispositifs embarqués et qui de surcroît assure d'une part l'affichage au mécanicien, au travers de deux écrans spécialisés l'un indiquant les ordres de conduite - vitesse limite, espace libre, vitesse et distance but - et l'autre le programme de marche qui minimise la consommation d'énergie de traction. En outre, ce calculateur supporte le contrôle de vitesse dont le but est de déclencher le freinage d'urgence si les ordres de circulation ne sont pas respectés. Les logiciels correspondants sont traités en sécurité et la sécurité du matériel est obtenue dans un processeur unique par des techniques de codage, de signature et de datation des informations).

Enfin, chaque véhicule, moteur ou remorqué porte, comme il a déjà été mentionné un badge d'identification (répondeur hyperfréquence passif) portant son propre numéro et qui est lu par des stations au sol pour acquérir la composition des trains.

3 - LE DEVELOPPEMENT DU PROJET ASTREE

ASTREE modifiant, comme cela a été souligné à plusieurs reprises, très largement le mode d'exploitation actuel du chemin de fer et faisant appel à des composants matériels et logiciels complexes, le projet se déroule suivant deux axes :

- réalisation de prototypes pour les composants les plus sensibles (centrale odométrique avec ses capteurs, réseau de téléinformatique, calculateurs de sécurité...)
- développement d'expérimentations intégrées (démonstrateurs) permettant de matérialiser les principes de l'exploitation ferroviaire sous ASTREE et de servir de support concret à la spécification complète du système.

Concernant ce second axe, une première réalisation expérimentale est en test depuis l'automne 90. Cette réalisation concerne une ligne de 10 km (BONDY - AULNAY dans la banlieue parisienne) et une dizaine de véhicules. Sur cette base, qui est gérée par un centre opérationnel informatisé où sont implantés tous les modules informatiques décrits plus haut, sont testées les principales fonctionnalités d'ASTREE : suivi des circulations, régulation du trafic, transmission d'ordre de conduite aux mécaniciens, protection contre les nez à nez, convergences, rattrapages... Il s'agit d'un test strictement fonctionnel destiné à montrer aux exploitants les diverses possibilités d'ASTREE, les modules n'étant pas tous validés en sécurité. Les situations complexes d'exploitation sont matérialisées rendues en intercalant des trains simulés (mais avec tous les attributs et fonctionnalités d'un train réel) entre les trains réels.

Ce premier test ayant montré à la SNCF la validité des concepts ASTREE, il a été décidé d'étendre ce premier démonstrateur à l'ensemble de la région SNCF de PARIS EST (soit 100 locomotives et 600 km de voie simple) afin de tester les aptitudes fonctionnelles du système à supporter la charge élevée inhérente à l'exploitation d'un système réel de grande dimension. Parallèlement, une partie de cette infrastructure et des véhicules sera équipée de composants validés en sécurité afin de permettre le test technique complet du système pour homologation sécuritaire.

Ces expérimentations permettront de mieux cerner quantitativement les avantages d'ASTREE, son coût et par suite sa rentabilité. A cet égard, les premières projections effectuées conduisent à des accroissements de débit possibles de l'ordre de 20% sur les infrastructures les mieux équipées actuellement et à un coût global de l'ordre de 15 MMF pour l'équipement de l'ensemble du réseau conduisant à une rentabilité supérieure à 15%.

Enfin, il importe de souligner le fait qu'ASTREE a des prolongements importants au niveau international où il fait l'objet de coopérations bilatérales ou multilatérales. En effet, les principes d'ASTREE conduisent à un système de contrôle commande présentant de multiples intérêts, déjà évoqués, en matière d'augmentation de capacité, de gestion des régimes perturbés et dégradés, d'information et de réduction des coûts, multiples intérêts qui n'ont pas échappé à la plupart des réseaux de chemin de fer européen et en particulier aux chemins de fer de la RFA (DEUTSCHE BUNDESBAHN - DB -). C'est ainsi que :

- une coopération bilatérale s'est instaurée entre la SNCF et la DB qui vise à concevoir un système dit ARTEMIS à partir des concepts développés dans ASTREE et de ceux à la base d'une approche de même type conduite en Allemagne. Cette coopération concerne à la fois la conception globale du système et la spécification des composants les plus sensibles (odométrie, transmission hertzienne, lecteurs et répondeurs hyperfréquence),
- une coopération multilatérale a été mise en place au niveau européen, coopération comportant deux pôles, un concernant essentiellement les réseaux de chemins de fer et dont l'objectif est de spécifier un système généralisé de contrôle commande des circulations ferroviaires et un pôle constitué par un groupement d'industriels dont le but est de concevoir un système avec des modules normalisés à partir de ces spécifications.

La démarche bilatérale, d'un fonctionnement plus souple sert pour une large part aux développements conduits dans le cadre européen.

Ainsi, fin 93 il devrait être possible de prouver définitivement la validité des concepts qui sont à la base d'ASTREE et la faisabilité opérationnelle des composants les plus sensibles. La SNCF disposera alors des éléments lui permettant le cas échéant d'industrialiser le système en tenant compte des aspects normatifs qui interviendraient au niveau européen en vue d'une première mise en service vers les années 1998 à 2000.

LES MODULES ET LES COMPOSANTS D'ASTREE

