

MINISTÈRE DE L'URBANISME,
DU LOGEMENT ET DES TRANSPORTS

CENTRE D'ÉTUDES DES SYSTÈMES
ET DES TECHNOLOGIES AVANCÉES

SECRETARIAT D'ÉTAT
CHARGÉ DES TRANSPORTS

PROGRAMME TECHNOLOGIE-CROISSANCE-EMPLOI
SÉMINAIRE INTERNATIONAL
PARIS, 5/8 NOVEMBRE 1984

Les aspects socio-économiques des trains à grande vitesse

TOME II

LA DOCUMENTATION FRANÇAISE

7783

© La Documentation Française – Paris, 1985
ISBN : 2-11-001400-8

*Le Secrétaire d'Etat
auprès du Ministre de l'Urbanisme,
du Logement et des Transports,
chargé des Transports*

Paris, le 14 mars 1985

Les nouveaux systèmes de transports ferroviaires à grande vitesse ont d'ores et déjà fait la preuve de leurs performances tant que sur le plan technique que commercial comme le démontrent avec éclat les expériences françaises et japonaises.

Ils peuvent ainsi contribuer de manière décisive à l'amélioration de la qualité des services offerts aux usagers des chemins de fer en matière de vitesse et de confort tant sur le plan national qu'international.

C'est donc tout naturellement que les initiateurs du programme « Technologie-Croissance-Emploi » mis en place officiellement lors du SOMmet de Versailles en juin 1982 ont proposé aux chefs d'Etat et de Gouvernement d'engager une réflexion spécifique sur les perspectives de développement de tels systèmes dans le cadre d'une coopération internationale.

La République fédérale d'Allemagne et la France ont été choisies pour piloter conjointement cette réflexion en lui fixant deux objectifs :

1. Comparer les différentes technologies en présence : celles qui ont déjà fait l'objet de réalisations concrètes et celles qui sont en cours d'expérimentation.
2. Evaluer sur le plan socio-économique les potentialités de développement de tels systèmes en Europe, en Amérique du Nord, au Japon et plus généralement dans toutes les régions du monde où ils sont susceptibles d'être implantés dans des conditions économiques satisfaisantes.

Les questions d'ordre technologique ont été largement débattues lors d'un symposium organisé à Munich en octobre 1983 qui a permis de faire le point sur l'état de l'art dans ce domaine.

Les résultats des travaux relatifs aux aspects socio-économiques des trains à grande vitesse ont été exposés à l'occasion d'un séminaire international qui est tenu à Paris du 4 au 8 novembre 1984. Le présent document rassemble l'ensemble des travaux présentés à cette occasion ainsi que les principales conclusions des débats.

Cette manifestation organisée conjointement par les ministères des Transports et de la Recherche et de la Technologie de RFA et par le ministère français de l'Urbanisme, du Logement et des Transports a permis de réunir près de 300 participants représentant 18 pays et organisations internationales.

A l'occasion de cette rencontre se sont exprimés des spécialistes du monde scientifique et technique, universitaire, ainsi que des représentants des réseaux et des Pouvoirs publics des différents pays. Outre la présentation de la politique des Etats les débats ont permis de confronter les bilans des différentes réalisations (TGV Sud-Est, Shinkansen), les projets en cours de construction (TGV-Atlantique, lignes nouvelles allemandes, Dirrettissima italienne) ainsi que les études en cours, notamment la liaison Paris-Bruxelles-Cologne, ainsi que certains projets en Amérique du Nord.

Parmi eux, j'insisterai bien sûr sur la liaison Paris-Bruxelles-Cologne, dont la réalisation semble prometteuse sur le plan économique et social. Une décision de principe concernant sa construction devrait être prise avant la fin de l'année sur la base des conclusions des travaux d'un groupe scientifique créé en juillet 1983.

Les Pays-Bas se sont associés récemment à cette réflexion, ce qui permet d'envisager la réalisation d'une antenne vers Amsterdam.

Ces lignes constitueraient ainsi l'amorce d'un véritable réseau européen de transport à grande vitesse. Les travaux du séminaire de Paris ont montré la nécessité d'engager une réflexion d'ensemble sur ce projet de réseau européen au-delà des études relatives à chaque liaison particulière.

Il en est de même en ce qui concerne les projets envisagés en Amérique du Nord.

Le groupe de travail Technologie-Croissance-Emploi a ainsi déjà largement contribué à faire murir ces projets répondant ainsi aux objectifs qui lui avaient été assignés par les Chefs d'Etat et de Gouvernement.

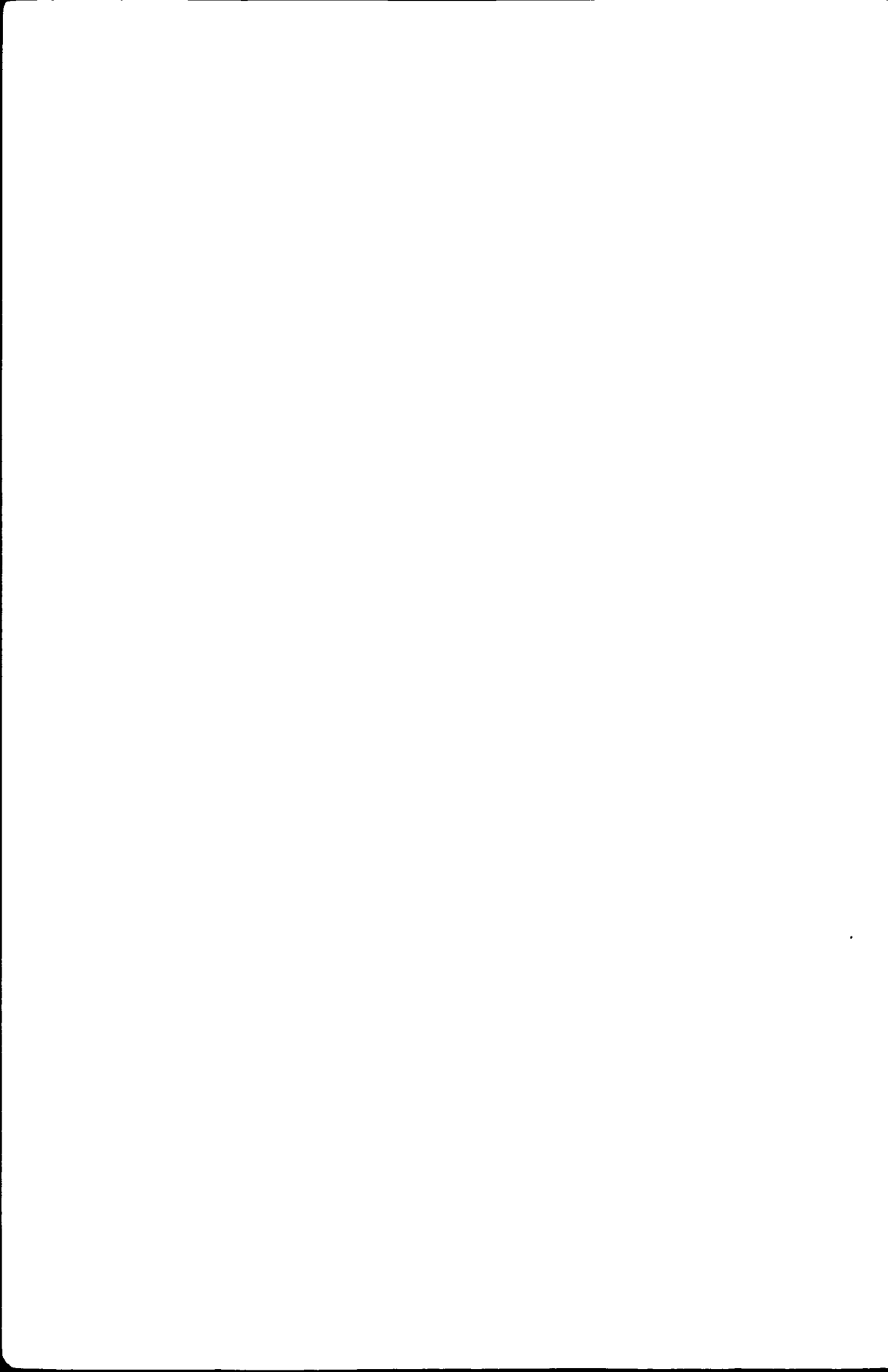
La réflexion engagée doit se poursuivre afin d'aboutir dès que possible à des réalisations concrètes dans le cadre d'une coopération internationale renforcée.

Jean Auroux

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping, fluid strokes that form a stylized, abstract shape. The signature is positioned to the left of the name 'Jean Auroux'.

Sommaire

Thème 1. L'OFFRE	7
Thème 2. LA DEMANDE	109
Thème 3/6. BILAN FINANCIER ET FINANCEMENT	265
Thème 4. BILAN SOCIO-ÉCONOMIQUE	357
Thème 5. PROBLÈMES JURIDIQUES ET INSTITUTIONNELS	471
Thème 7. RÉSEAUX ET CORRIDORS A GRANDE VITESSE	539
QUESTIONS ET RÉPONSES	697



Thème 1

L'offre

M. BINNEWIES - RFA	8
Les véhicules du futur trafic à grande vitesse de la DB <i>DEUTSCHE BUNDESBAHN</i>	
<hr/>	
M. LACOTE - FRANCE	17
Optimisation des caractéristiques techniques du TGV <i>SOCIÉTÉ NATIONALE DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS</i>	
<hr/>	
MM. BONARA, CARDINI - ITALIE	27
Le service de transport rapide de voyageurs sur le réseau FS <i>SERVIZIO MATERIELE E TRAZIONE DELLE FS</i>	
<hr/>	
M. HUCKS - RFA	32
Caractéristiques et études d'application des systèmes magnétiques <i>TRANSRAPID INTERNATIONAL</i>	
<hr/>	
M. KRULL - RFA	55
Réflexions stratégiques pour la conception de l'offre d'un trafic à grande vitesse dans le cadre de l'offre globale du trafic voyageurs à grande distance <i>DEUTSCHE BUNDESBAHN</i>	
<hr/>	
M. LINKERHAGNER - RFA	60
Paramètres des lignes nouvelles et leur optimisation sous des aspects micro-économiques <i>DEUTSCHE BUNDESBAHN</i>	
<hr/>	
MM. EBERLEIN, WEBER - RFA	82
Compétition modale et vitesse ferroviaire optimale <i>D.F.V.L.R.</i>	
<hr/>	
M. KRACKE - RFA	93
Enquête sur la qualité de l'offre des systèmes TGV <i>UNIVERSITÄT HANNOVER</i>	
<hr/>	
M. FORTON - BELGIQUE	101
Etudes relatives au corridor Paris - Bruxelles - Cologne <i>MINISTÈRE DE LA COMMUNICATION</i>	
<hr/>	

M. Binnewies
Deutsche Bundesbahn

RFA

I. Conditions marginales socio-économiques

La constatation qu'un moyen de transport gagne d'autant plus en attractivité et, partant, est d'autant mieux accepté par la clientèle que son temps de parcours est plus court, amène à conclure que les chemins de fer, dans leur effort pour stabiliser et, si possible, étendre leur part de trafic sur le marché global des transports, doivent dans de nombreux pays se tourner de manière accrue vers le trafic à grande vitesse. On entend par ce terme des vitesses maximales supérieures à 200 km/h. Les exemples du Japon et de la France illustrent le succès de ces efforts. A cet égard, une importance particulière doit être accordée à la question de la vitesse maximale à retenir qui, compte tenu des intervalles entre points d'arrêt à desservir, dicte la vitesse commerciale réalisable. Différentes études ont montré que les vitesses maximales à rechercher se situent dans la plage de 250 à environ 300 km/h. Dans des conditions idéales, on compte donc obtenir un optimum micro-économique à une vitesse maximale courante de 250 à 260 km/h. A la Deutsche Bundesbahn, où les lignes nouvelles en cours de construction présentent des distances entre arrêts relativement courtes et une forte proportion de tunnels avec l'accroissement de la résistance au roulement que cela implique, l'optimum se ramène à une vitesse d'environ 230 km/h qui doit être à la base de l'exploitation ferroviaire normale. La vitesse maximale admissible pour le véhicule et la ligne doit donc être fixée à 250 km/h.

La configuration des lignes à grande vitesse est fonction de la structure de l'habitat et de l'économie, différente d'un pays à l'autre, ainsi que des implications socio-économiques qui en découlent. Ceci étant, les relations à grande vitesse établies jusqu'ici au Japon, en France et en Italie ont un caractère essentiellement linéaire, alors qu'il s'agit pour le domaine de la république fédérale d'Allemagne d'un trafic de lignes à caractère de réseau. L'actuel système de trains IC en est une évidente illustration.

En république fédérale d'Allemagne, la structure de la population et de l'économie présente un caractère polycentrique. Ceci conduit d'une part à

une configuration maillée des lignes à grande vitesse et décide d'autre part du type d'utilisation de ce réseau à grande vitesse. A cet égard, la situation en république fédérale d'Allemagne se caractérise par le fait que

- les différents centres n'englobent respectivement qu'une part relativement faible de la population globale ;
- les distances entre centres sont de l'ordre de 70 à 100 km ;
- pour certains secteurs particuliers du trafic marchandises, il existe également un besoin de transport rapide.

De plus, il existe notamment sur certains tronçons du réseau actuel des problèmes de capacité. La Deutsche Bundesbahn fait donc une distinction entre lignes nouvelles, qui viennent compléter le réseau actuel, et l'aménagement des lignes existantes. A noter que les lignes nouvelles de même que les lignes existantes à aménager ne sont pas conçues distinctement pour un trafic voyageurs ou marchandises, mais comme lignes susceptibles d'être empruntées aussi bien par le trafic rapide voyageurs que marchandises. Le réseau de trafic rapide présentera en outre un grand nombre de gares-nœuds, de gares de dépassement et de points de passage dans le réseau existant.

La vitesse maximale prévue sur les lignes nouvelles a été fixée dans ces conditions à 250 km/h pour le trafic voyageurs rapide et à 120 km/h pour le trafic marchandises rapide.

Les lignes nouvelles de la DB, dont la réalisation se poursuit fébrilement, constitueront à partir de 1990, avec les lignes aménagées, l'épine dorsale du réseau rapide de la DB. On espère que la mise en service de ces lignes apportera une nette amélioration de l'offre sur rail et, partant, un renforcement sensible de sa position concurrentielle.

II. Nouveaux véhicules pour le trafic rapide par fer

Pour la desserte du volume de trafic sur les lignes nouvelles et les lignes aménagées de la DB, il est nécessaire de disposer de nouveau matériel pour le trafic rapide de marchandises et de voyageurs. Ce matériel, d'un type le plus unifié possible, doit satisfaire aux différentes exigences en matière de vitesse maximale et de charge de trains ; ceci dans les différentes relations du trafic à grande vitesse qui emprunteront les nouvelles lignes à 250 km/h pour les trains de voyageurs et 120 km/h pour les trains de marchandises moyennant une inclinaison maximale de 12 ‰, et les lignes aménagées du réseau existant à une vitesse maximale de 200 km/h pour les trains de voyageurs. A cet égard, il convient d'envisager la conception la plus unifiée possible sur l'ensemble du secteur, débouchant sur l'achat d'éléments en grand nombre et contribuant ainsi en même temps à obtenir un entretien peu coûteux. Compte tenu de la sollicitation à laquelle est soumis le châssis de voie sous l'action des trains rapides de voyageurs d'une part et des trains lourds de marchandises d'autre part, les véhicules doivent être conçus de manière à exercer sur la voie une sollicitation faible. Précisément dans ce domaine, la fixation des paramètres de construction véhicule - plate-forme a des incidences considérables sur l'ensemble de la conception de la desserte.

Pour le trafic marchandises rapide sur les lignes nouvelles, la DB dispose aujourd'hui de la locomotive 120, dont les essais ont pu être achevés avec succès et qui, grâce à sa puissance motrice installée continue de 5,6 MW, est à même de remorquer à 120 km/h, sur les rampes de 12 ‰ des lignes nouvelles, des trains de marchandises d'une masse de 750 tonnes. Cette locomotive est également en mesure d'acheminer de lourds trains de voyageurs d'une masse de 700 tonnes à une vitesse de 160 km/h sur une rampe de 8,4 ‰ ainsi que des trains de voyageurs du trafic Intercity d'une masse de 550 tonnes sur des rampes de 2,5 ‰ à une vitesse de 200 km/h. A cet égard, la technique de traction triphasée à moteurs triphasés asynchrones contribue à ce que la forte puissance de propulsion de 5,6 MW soit pleinement disponible, notamment dans la plage de vitesse supérieure, et puisse être transmise sur le rail. Les moteurs de traction asynchrones légers utilisés conduisent à une faible charge de la voie, ce qui est essentiel en matière de réduction des efforts roue/rail, notamment dans la plage de vitesse supérieure. Des marches d'essai ont montré que l'engin était en mesure de circuler également à des vitesses de 250 km/h sans instabilités et, par conséquent, en sollicitant moyennement la voie. A l'aide de la technique moderne de traction à courant triphasé, on peut ainsi couvrir la plage du futur trafic marchandises rapide sur les lignes nouvelles et les lignes aménagées ainsi que celle du trafic voyageurs à grande vitesse, notamment sur les lignes aménagées et les lignes complémentaires.

En ce qui concerne le trafic du réseau à grande vitesse, qui devra être acheminé principalement sur les lignes nouvelles permettant de circuler jusqu'à 250 km/h ainsi que sur des lignes aménagées de prolongement, il faudra en outre que le système actuel de trains remorqués par locomotives soit complété par des solutions analogues aux rames automotrices adaptées au trafic à grande vitesse. Ces solutions doivent tenir compte de la résistance à l'avancement qui croît rapidement avec la vitesse et notamment de la résistance aérodynamique, qui croît avec le quadruple de la vitesse. Ceci afin de maintenir à un faible niveau les charges d'investissement relatives à la puissance de traction et la consommation d'énergie concernant le processus de transport ; de plus, elles doivent répondre, en ce qui concerne la qualité de roulement en voie, à ce qu'il y a de plus récent en fait de possibilités techniques.

Afin de mettre pleinement en valeur les avantages inhérents au système de trafic voyageurs à grande vitesse sur rail, il faut non seulement tenir compte de certains aspects de la conception technique, mais aussi d'aspects concernant l'aménagement attractif et le confort dont le rôle est déterminant. Ceux-ci doivent être intégrés, en fonction du système, à l'offre globale d'un trafic voyageurs à grande vitesse dans l'ensemble économiquement sain.

En ce qui concerne la république fédérale d'Allemagne, pour la phase préparatoire à un futur trafic à grande vitesse sur les lignes nouvelles, on a décidé après de nombreuses études préliminaires, de construire avec l'appui décisif du ministère fédéral de la Recherche et de la Technologie, un train d'essai rapide pour une vitesse maximale de 350 km/h, destiné à sonder en service expérimental les limites du système traditionnel roue/rail du point de vue technique et économique, ce qui en fera le précurseur de futurs trains commerciaux à grande vitesse de la DB. Les études préliminaires ont montré que la solution technique et économique optimale était constituée par un train composé, pour le service expérimental, de deux têtes motrices à quatre

essieux équipées d'un système de traction à courant triphasé ainsi que d'une ou deux remorques non motrices placées entre les deux têtes. Ces éléments intermédiaires sont conçus pour être aménagés en voitures-dynamométriques ou de démonstration. Entre-temps, pour compléter ce modèle expérimental, on a commandé une troisième remorque non motrice destinée à montrer différentes alternatives en matière d'aménagements intérieurs.

La conception du train est dictée de manière décisive par le but des essais ainsi que par le fait que ce train est destiné à être un vecteur d'essais pour diverses technologies nouvelles en matière d'application dans le domaine roue/rail. C'est pourquoi ce véhicule est également connu sous le nom d'« Intercity-Experimental » (ICE).

Ce train d'essai à grande vitesse a été conçu et mis au point en coopération avec l'industrie, le ministre fédéral de la Recherche et de la Technologie, certaines universités et la Deutsche Bundesbahn. Ses objectifs principaux sont les suivants :

- poursuite systématique de la recherche en matière de technologie roue/rail ;
- démonstration des avantages du système roue/rail ;
- expérimentation du système global et de composantes pour l'étude d'un nouveau train à grande vitesse de la DB.

Ce train est en cours de construction. Il sera présenté au public à la fin de l'année 1985.

III. Conception de trains à grande vitesse pour le trafic voyageurs rapide

La conception de trains à grande vitesse obéit dans une large mesure à la nécessité de réduire la part de résistance à l'avancement, qui augmente fortement avec la vitesse aérodynamique, et de maintenir à un faible niveau les efforts de réaction véhicule/voie. Ce dernier impératif s'accompagne pour la DB de l'obligation d'utiliser, pour des raisons de rentabilité, un profil de bandage dit « d'usure », qui se développe tout naturellement sous l'effet des interactions entre les paramètres de la voie et ceux de l'essieu monté et demeure pratiquement inchangé. Ceci permet d'économiser en grande partie les coûts qui interviennent pour le reprofilage répété des bandages.

En ce qui concerne la résistance à l'avancement, les résultats de mesures disponibles ainsi que les connaissances acquises au plan international permettent de partir de l'hypothèse que, pour des rames automotrices d'environ 200 m, les résistances se répartissent à peu près comme suit :

- Partie sous caisse et bogies.....	39 %
- Frottement superficiel.....	27 %
- Pantographes et lignes de toiture.....	17 %
- Résistance à l'avancement des parties avant et arrière.....	12 %
- Organes d'intercirculation, disques de freins, divers.....	5 %

Ceci implique que les véhicules destinés au trafic à grande vitesse possèdent non seulement une forme avant et arrière aérodynamique, mais aussi une

faible section afin de réduire le frottement superficiel, qu'ils soient munis dans la zone sous caisse de carénages aérodynamiques propres à diminuer la résistance et qu'ils possèdent aussi, pour autant que la conception de production le permette, un nombre réduit de bogies. Les lignes et autres superstructures de toiture sont à éviter dans la mesure du possible. Le véhicule doit présenter au total une conception aérodynamique, lisse et sans parties saillantes, analogue à celle que l'on peut observer ces temps derniers dans le secteur automobile. Il faut encore notamment, en cas de train remorqué par une locomotive, que le vide existant entre cette dernière et les voitures soit évité en concevant une unité motrice correspondante comportant une seule cabine de conduite et une intercommunication avec la rame remorquée. Pour les trains à grande vitesse, on a ainsi le choix entre une rame automotrice dotée à ses deux extrémités de têtes de traction analogues à des locomotives possédant chacune une cabine de conduite mais sans compartiment voyageurs, et un élément automoteur équipé d'un grand nombre d'essieux moteurs dont les éléments de traction peuvent également être utilisés comme espace utile. De nombreuses analyses concernant la DB ont montré que, dans le choix entre les deux variantes, il faut accorder la préférence au train à têtes motrices, ceci notamment du fait que la concentration de la puissance de la traction sur deux véhicules seulement occasionne des charges d'entretien plus faibles qu'une rame automotrice où la puissance de traction est répartie sur l'ensemble. Pour le champ d'application de la DB, il est également possible de reprendre des composantes importantes de l'équipement moteur de la locomotive 120 dans les têtes motrices des rames à grande vitesse.

Dans les analyses citées plus haut, on a également pris en compte des variantes équipées de bogies Jacobs. Ces variantes permettent de réduire sensiblement la résistance aérodynamique en raison de la possibilité de restreindre le nombre de bogies dans les rames d'une certaine longueur. Les analyses ont cependant montré que de telles solutions n'apportaient pas d'avantages significatifs du fait qu'à la DB, il est nécessaire d'adapter avec précision le nombre de places offertes au volume de trafic. Ce résultat des études préliminaires est confirmé par les analyses de détail ayant atteint entre-temps un stade avancé, en vue d'un système de desserte concret. Celles-ci conduisent à établir le réseau de trafic à grande vitesse à partir de lignes isolées reliées entre elles, dans lesquelles la capacité de transport respective des différents trains est modulée par ligne et quelquefois par période, par l'adjonction et le retrait de certaines voitures. Pour un système de desserte de ce genre, il est donc prévu des trains composés à chaque extrémité de rame, d'une tête motrice et de remorques intermédiaires non motrices, mais reposant sur leurs propres bogies. La configuration des trains ainsi définis est poussée plus avant en fonction de certaines conditions techniques marginales. A cet égard, il convient de rappeler que, d'une part, les longueurs de quais sont d'environ 400 m et qu'il faut, d'autre part, disposer d'un intervalle minimum de près de 180 à 200 m entre pantographes levés. Ceci débouche en principe sur deux possibilités d'aménagement des trains :

1. Rames automotrices isolées accouplables les unes aux autres, qui mesurent chacune une demi-longueur de quai environ (200 m) et qui, compte tenu de l'intervalle minimum entre pantographes, ne peuvent pratiquement plus être raccourcies.

2. Rames à têtes motrices de longueur moyenne, non accouplables les unes aux autres et possédant un nombre de remorques variant de 7 à 14 environ.

Comme l'ont montré les études relatives aux configurations de trains, c'est à la solution 2 qu'il convient d'accorder la préférence, ceci pour des raisons d'ordre économique. Cette solution exige des têtes motrices ayant chacune une puissance de traction installée de 4,8 MW et une masse de 80 tonnes environ. Cette masse de véhicule, qui correspond à une masse par essieu de 20 tonnes, est sensiblement supérieure aux masses par essieu de 17 à 18 tonnes retenues jusqu'ici pour le matériel à grande vitesse. C'est là un défi lancé à la technique, en ce sens qu'il s'agit de concevoir les organes de roulement de manière à respecter les limites imposées par la voie. A cet égard, on a déjà dit au début que, pour obtenir un achat et un entretien peu onéreux, il convenait en particulier de reprendre sans grands changements le coûteux élément convertisseur de la locomotive 120 dans la tête motrice du véhicule à grande vitesse.

Les solutions prévoyant une masse par essieu plus faible, et donc une puissance plus faible avec incorporation d'autres engins moteurs supplémentaires dans la rame (« Booster »), ne répondent pas à cette maxime et sont tout autant à exclure que les têtes motrices possédant six essieux moteurs au lieu de quatre.

A ce point, on s'aperçoit que l'harmonisation entre véhicule et voie de la « masse par essieu » nécessite le respect de paramètres importants pour la conception de trains à grande vitesse. La fixation des valeurs correspondantes doit avoir lieu en étroite collaboration entre le service de la voie et le service du matériel, en s'efforçant d'épuiser toutes les possibilités de configuration technique actuelle des organes de roulement et d'entraînement, afin d'assurer que les efforts dynamiques supplémentaires entre roue et rail seront les plus faibles possible. Dans l'interaction voie/technique de roulement, c'est assurément dans le rail que réside l'aspect technico-économique essentiel du trafic à grande vitesse.

Dans les conditions d'exploitation en présence sur les lignes nouvelles de la DB, il se pose une autre question capitale : celle du croisement de trains à grande vitesse entre eux ou avec d'autres trains, notamment dans les longues sections en tunnel. Outre certaines questions relatives aux efforts exercés les uns sur les autres, en cas de croisement, par les véhicules considérés, il faut éviter, en particulier dans les trains à grande vitesse, toute dégradation du confort des passagers due aux ondes de chocs induites par le croisement. Ceci implique d'une part que la partie avant du train à grande vitesse ait une forme aérodynamique, non « agressive » extérieurement, et d'autre part que la cabine de conduite et l'espace réservé aux voyageurs soient suffisamment étanches, ce qui suppose la prise de mesures adéquates en matière d'arrivée et d'évacuation de l'air. Ici, des travaux de recherches approfondis sont encore nécessaires ; ils sont en cours d'exécution.

IV. La technique du véhicule expérimental ICE

Comme on l'a déjà indiqué au chapitre II, la rame expérimentale ICE se compose de deux têtes de traction autonomes à disposition d'essieux Bo' Bo' ainsi que, pour le moment, d'un maximum de trois remorques non motrices.

L'équipement moteur électrique, en ce qui concerne sa commande est directement repris de la locomotive 120. Les autres grands ensembles sont adaptés aux exigences de l'exploitation expérimentale. C'est ainsi, notamment, que les moteurs de traction ne sont conçus que pour une puissance nominale de 700 kW (puissance continue). Ils sont actionnés, en service expérimental, par une puissance instantanée. Le bogie moteur avec moteurs de traction et système d'entraînement incorporés se caractérise par des roues motrices relativement petites de 950/1 000 mm de diamètre et donc par une masse non suspendue très faible d'environ 1 740 kg ; ceci compte tenu des faibles efforts dynamiques supplémentaires souhaités. A cet égard, le moteur de traction est, d'une part, suspendu directement à la caisse par sa face arrière et, d'autre part, articulé par sa face avant grâce à des potences, qui supportent respectivement le mécanisme d'entraînement et le second palier de l'arbre creux, et à deux biellettes verticales fixées sur la traverse de tête du bogie. Dans ce système, le faible diamètre des roues exige un engrenage à roue intermédiaire, afin que le diamètre des roues motrices et celui du moteur puissent être choisis indépendamment l'un de l'autre. Le corps d'essieu est entouré de deux arbres creux dont le premier, muni d'une articulation, sert à la transmission du couple de rotation tandis que l'autre est destiné à recevoir les trois disques de frein nécessaires. Ce bloc traction/freinage est relié à la caisse au moyen d'un amortisseur horizontal, de sorte qu'en alignement droit il ne participe pas aux oscillations de l'essieu ni du châssis du bogie, mais il peut néanmoins suivre la rotation du châssis de bogie dans les courbes. On obtient ainsi des masses d'inertie minimales, ce qui réduit au minimum les efforts dynamiques supplémentaires dans le sens vertical et horizontal. Les marches d'essai avec un véhicule expérimental spécial dans lequel l'accouplement horizontal à la caisse de voiture est assuré par un dispositif de commutation mécanique ont montré l'efficacité de ce système.

Le train expérimental, outre cette particularité technique de roulement dans le bogie moteur, est équipé dans les bogies porteurs de deux variantes dont l'une repose sur le bogie éprouvé alors que l'autre, à suspension pneumatique, possède un cadre d'accouplement particulièrement élastique, dans lequel les essieux sont reliés entre eux de manière à se guider mutuellement, dans le but d'obtenir une amélioration de la stabilité de marche.

Le véhicule expérimental est équipé en outre d'un frein à récupération à générateur dans les têtes motrices et d'un frein à courants de Foucault ainsi que d'un frein à disques sur tous les véhicules, les freins à courants de Foucault étant notamment nécessaires à l'absorption de l'énergie de freinage élevée dégagée en service d'essai à 350 km/h.

En matière de transmission des informations de commande et d'annonce concernant la rame, on s'est engagé, au plan de la technologie du matériel roulant, sur des voies nouvelles en utilisant des guides d'ondes lumineuses. De même, le véhicule est équipé d'un système de diagnostic DIAS d'un type nouveau, qui ouvre un grand nombre de possibilités d'annonce et d'appel.

Le véhicule est doté en outre d'un système de communication et d'information des voyageurs, qui dépasse nettement le standard de confort habituel.

Les extrémités des véhicules sont reliées entre elles, au moyen d'attelages automatiques à tampon central, par des organes d'intercirculation d'un genre

nouveau, qui garantissent, grâce à une sorte de double articulation, une ligne de fuite presque parfaite du contour extérieur en alignement droit et dans les courbes. A l'intérieur des organes d'intercirculation sont installés des éléments spéciaux destinés à l'amortissement des oscillations verticales et horizontales de la caisse. Dans l'intercirculation, on trouve par ailleurs les accouplements de la conduite de liaison à haute tension de 15 kV des deux têtes motrices. Les organes d'intercirculation sont conçus en outre dans le souci d'isoler au maximum l'intercirculation proprement dite contre le bruit et la pression, afin que la zone d'accès apparaisse, du point de vue de son agencement intérieur, comme un foyer à grand espace.

Quant à l'agencement intérieur, il convient de noter que la conception de détail moderne se double d'un « système multiclassés » de la cellule voyageurs, dont le but est de permettre de convertir l'espace intérieur en 1^{er} ou en 2^e classe sans modifier techniquement le véhicule. S'agissant du contour extérieur du véhicule, on a recherché une construction basse, à surfaces lisses, afin de réduire au minimum la résistance aérodynamique. Ceci est vrai également de la zone des équipements de toiture, dans laquelle la ligne de liaison haute tension a été isolée et placée dans la toiture entre les deux têtes de traction. De même, une nouvelle forme de pantographe basse et optimisée est en cours de mise au point.

Le véhicule expérimental ICE constitue ainsi un vecteur techniquement très ambitieux de mise à l'essai et d'expérimentation des composantes d'un futur train commercial à grande vitesse.

V. Ouverture sur des trains commerciaux à grande vitesse

Les futurs trains à grande vitesse de la DB seront dérivés de la rame expérimentale à grande vitesse et comporteront des têtes motrices séparées par des remorques non motrices. Les nécessités de la vente et de la production conduisent en l'occurrence à prévoir des rames possédant en moyenne douze remorques, dont le nombre pourra être ramené à un minimum de sept et porté à un maximum de quatorze. Exceptionnellement, la rame devra pouvoir comporter également quinze remorques. Il n'est pas prévu d'accoupler entre elles de telles rames. Ceci permettra, pour un minimum de sept remorques, de maintenir les pantographes des têtes de traction en position haute, ce qui évitera également une liaison haute tension entre les têtes de traction. Ceci représente une simplification importante. Les têtes de traction sont conçues pour une puissance continue de moteurs de 4,8 MW chacune, ce qui permettra une bonne utilisation des convertisseurs qui doivent être repris de la locomotive 120. Les moteurs de traction devront être réagencés pour répondre aux exigences en matière de puissance. Les organes de roulement devront être optimisés dans le véhicule expérimental en fonction des résultats des essais. Par ailleurs, lorsqu'on transférera les différents éléments du véhicule expérimental sur le véhicule commercial, il faudra examiner en détail, par une sorte d'analyse de la valeur, si et dans quelle mesure les éléments constitutifs prévus pour 350 km/h sont encore nécessaires pour 250 km/h ou s'ils peuvent être simplifiés. Ceci concerne le frein à courants de Foucault ainsi que les organes d'intercirculation, le diagnostic, l'information des voyageurs et la commande du véhicule. Ceci concerne également la question du schéma du véhicule avec la disposition

des locaux sanitaires, en fonction de celle des organes d'intercirculation. Cette étude est en cours de réalisation et a pour but la mise au point d'un véhicule qui, doté d'une technique adaptée au domaine des grandes vitesses, constitue une offre moderne, attrayante et enfin économique. Il est prévu que la phase de définition s'achèvera sur l'établissement d'un cahier des charges vers la fin de 1985, dans le but de poursuivre le développement du train expérimental ICE pour passer au train à grande vitesse de série HGZ et d'obtenir à la fin des années 80 les premières rames de série. A cet égard, les résultats des essais et des tests réalisés sur le train expérimental ICE seront pris en compte dans la poursuite du développement, afin d'obtenir une amélioration de détail.

Grâce au train à grande vitesse HGZ et à la locomotive 120, la DB est à même de faire face, tant en trafic voyageurs qu'en trafic marchandises rapide, à toutes les évolutions auxquelles elle sera confrontée en matière de transport à grande vitesse.

Optimisation des caractéristiques techniques du système TGV

M. Lacote
SNCF

FRANCE

Introduction

Trois années après la première mise en service de la ligne nouvelle Paris - Sud-Est, le système TGV français est maintenant bien connu, son succès technique et commercial maintenant solidement établi permettant d'en asseoir la réputation. Sans aller jusqu'à cultiver le paradoxe, l'image apportée par la réussite incontestable de la première ligne ferroviaire exploitée à plus de 250 km/h peut laisser croire que les paramètres fondamentaux de définition du système ont été définitivement optimisés à travers les choix effectués pour cette ligne Paris - Sud-Est et pourraient, à terme, nuire à l'image du système TGV qui se veut au contraire un système extrêmement souple et tout à fait capable de s'adapter au contexte géographique, économique et ferroviaire local.

L'objet de cet exposé est ainsi de montrer dans une première partie que les progrès effectués par la technologie ont permis de repousser les limites du système TGV qui, de 270 km/h et 35 %, sont devenues 300 km/h et 50 %, ce qui accroît d'autant l'adaptabilité à la géographie locale et nécessite une réactualisation de l'étude économique du système, en particulier pour le choix de la vitesse limite, ce qui constitue la seconde partie de l'exposé.

La troisième partie est consacrée à la présentation des possibilités d'adaptation du système TGV au contexte ferroviaire local, pour montrer en particulier qu'il est possible de concevoir des systèmes ne faisant pas obligatoirement appel, en tout ou partie, à la traction électrique.

I. Les nouvelles limites du système TGV : 300 km/h - 50 %

La conception des rames TGV Paris - Sud-Est résulte d'une optimisation des paramètres de définition du système à partir des possibilités de la technique connues et vérifiées à l'époque de leur définition, soit il y a une dizaine d'années : ainsi ont été arrêtés les choix de la vitesse limite de 260 km/h, portée à 270 km/h un an après la première mise en service, et

de la rampe maximale de 35 %, pour une composition de rame comprenant deux motrices alimentant 6 bogies moteurs et 8 remorques emportant 386 voyageurs assis.

Depuis cette date, les recherches et essais se sont poursuivis, en étroite collaboration entre la SNCF et l'industrie ferroviaire française, pour faire progresser toutes les composantes du système TGV, afin de tenter de reculer encore les limites du système et améliorer sa productivité. Les recherches ont essentiellement porté, pour ce qui concerne les limites du système, dans deux directions : la vitesse limite et la rampe maximale admissible.

A. L'accroissement de la vitesse limite

Compte tenu de la marge considérable qu'apporte la conception de la rame TGV en termes de stabilité et de vitesse critique des bogies, comme en atteste le record du monde de février 1981 à 380 km/h, les recherches ont dû porter sur les composants suivants :

– *L'équipement de traction* : la nouvelle technique de transmission triphasée à moteurs synchrones autopilotés développée par la SNCF et l'industrie ferroviaire française a été présentée au précédent symposium à Munich en 1983 ; rappelons qu'avec des moteurs de même masse et de même encombrement, mais d'une puissance accrue de 50 % et d'un entretien très sensiblement réduit, cette technique permet de réaliser une motrice TGV bicourant de 3 200 kW, alimentant deux bogies moteurs ; elle permet ainsi de constituer une rame de 10 remorques, transportant 500 voyageurs et déjà capable, pour la traction, de 300 km/h.

– *Le freinage* : l'augmentation de la vitesse, entraînant celle de l'énergie cinétique de la rame à dissiper lors du freinage, a comme conséquence de reprendre la conception de l'équipement de freinage. Le freinage étant tributaire du contact roue/rail pour des raisons évidentes de simplicité et de légèreté de l'équipement de frein, il a fallu associer les derniers progrès de l'électronique et de la mécanique des corps frottants pour concevoir un équipement de frein utilisant des disques de haute puissance, pilotés par des antienrayeurs à microprocesseurs, hautement performants, qui permettent d'assurer une véritable gestion en temps réel de l'adhérence disponible individuellement sur chacun des 30 essieux de la nouvelle rame : il est ainsi possible de réaliser la performance consistant à arrêter en toutes circonstances une rame TGV de 450 t lancée à 300 km/h en 3 500 m.

– *Le confort* : le voyageur est en droit d'attendre que les progrès dans les performances d'un système de transport ne se fassent pas au détriment de son confort ; les réalisations des chemins de fer modernes, pour les vitesses traditionnelles de 160 à 200 km/h, l'ont habitué, dans ce domaine, à un très haut niveau de confort. Et pourtant, les sollicitations transmises par la voie au véhicule croissent très vite avec la vitesse, que ce soit pour les mouvements verticaux ou pour les mouvements transversaux du véhicule ferroviaire ; il faut reconnaître que, pour ce domaine, le passage de 270 à 300 km/h nécessitait une amélioration de la suspension du TGV ; la SNCF a, pour ce faire, réalisé deux rames expérimentales équipées d'une suspension pneumatique très élaborée qui permettra d'offrir au voyageur à 300 km/h le confort de la voiture Corail à 160 km/h, voiture pourtant réputée pour sa grande qualité de roulement.

- *Les autres composants du système* : bien d'autres composants de la rame TGV ont dû également faire l'objet d'études nouvelles, allant d'un simple redimensionnement (transmission mécanique) à une reprise plus profonde de la conception de l'organe considéré, comme, par exemple, le pantographe destiné au captage à grande vitesse.

Tous ces nouveaux composants ont fait l'objet de réalisations prototypes testées sur le matériel TGV Sud-Est, permettant de valider à la fois les performances et le bon comportement en service de chacun.

Il est maintenant permis d'affirmer que la SNCF et l'industrie ferroviaire française disposent de tous les éléments permettant de réaliser une rame TGV de capacité accrue (500 voyageurs au lieu de 386) et capable de circuler à 300 km/h dans des conditions de sécurité et de confort au moins égales à celles des trains classiques.

B. La capacité de franchissement des rampes

L'économie de l'infrastructure d'un système de transport terrestre est extrêmement liée à la capacité de ce système à bien s'adapter au relief des régions traversées, et ce n'est pas le moindre intérêt du système TGV que d'avoir pu s'affranchir des contraintes extrêmement fortes liées à l'incapacité du chemin de fer traditionnel à accepter de fortes rampes. Dans ce domaine également, la nouvelle technique de traction par moteurs autosynchrones a permis de repousser encore les limites du système TGV : dans les basses vitesses, la commutation assistée du moteur synchrone permet, pour des courants rotor et stator équivalents à ceux utilisés en commutation naturelle, de bénéficier d'un niveau de couple moteur très sensiblement supérieur à celui obtenu en commutation naturelle ; cette vertu tout à fait exceptionnelle de la technique autosynchrone permet de concevoir des rames TGV de même diagramme que les rames TGV Sud-Est (6 bogies moteurs - 8 remorques), mais capables à la fois de la vitesse de 300 km/h et de la rampe de 50 ‰, ceci dans les conditions extrêmement sévères du cahier des charges : redémarrage au pied de la rampe avec un bogie moteur hors service.

Les progrès techniques apportés au système TGV depuis la conception de la première génération de matériel TGV, et qui seront appliqués à la seconde génération (la rame TGV Atlantique), permettent ainsi de repousser les limites du système TGV du couple (270 km/h - 35 ‰) au nouveau couple (300 km/h - 50 ‰).

Toute prouesse technique, quelle qu'en soit la qualité, n'a de véritable valeur qu'à travers l'avantage économique qu'elle apporte au système auquel elle est liée. Comment se présente, sur le plan de l'économie du système TGV, le progrès technique qui vient d'être présenté ? Et plus précisément, la vitesse de 300 km/h, maintenant accessible, trouve-t-elle une justification économique ? C'est l'objet de la seconde partie de cet exposé que de tenter de répondre à cette question.

II. L'optimum économique de la vitesse commerciale de pointe du système TGV

L'analyse économique des coûts du système TGV, et de leur variation en fonction de la vitesse commerciale, montre que les deux postes principaux de variation du coût concernent d'une part, le coût de l'énergie de traction et d'autre part, le coût de l'entretien du matériel roulant, les autres postes, notamment l'entretien des installations fixes, ne connaissant pas de variation sensible dans le domaine de l'étude, compte tenu de la spécificité du matériel roulant qui est utilisé. Il est bien évidemment facile, connaissant les caractéristiques de l'infrastructure et du matériel TGV, de déterminer l'évolution du coût énergétique de traction en fonction de la vitesse.

Une première étape de l'étude économique a donc consisté à étudier les variations du coût d'entretien du matériel TGV en fonction de la vitesse. Il a fallu d'abord procéder à l'étude analytique des coûts d'entretien de la rame TGV-PSE, tels qu'ils sont maintenant bien connus après trois ans de service commercial, pour déterminer, poste par poste, leur sensibilité à la variation de la vitesse, certains, comme par exemple le coût d'entretien des aménagements intérieurs ou le nettoyage, y étant tout à fait insensibles. Il fut ensuite nécessaire de corriger les résultats précédents pour intégrer les économies apportées par l'évolution technique évoquée dans la première partie : outre le progrès des performances, elle permet d'apporter une économie d'exploitation très sensible, notamment au niveau de l'équipement de traction qui, rappelons-le, sera sur la rame Atlantique, à performances accrues, réduit d'un tiers par rapport à la rame Paris - Sud-Est.

Il apparaît ainsi que le coût d'entretien kilométrique de la rame TGV Atlantique ne devrait être que de 6 % supérieur à celui de la rame PSE (11,7 F contre 11 F par km) malgré des performances et une capacité accrues. Si l'on rapporte ce coût d'entretien à la recette commerciale, c'est-à-dire au voyageur-kilomètre transporté, seul paramètre significatif dans ce domaine, on voit que l'arrivée de la deuxième génération de matériel TGV marquera non seulement par le progrès des performances et du confort, mais aussi par un *progrès du coût d'exploitation* :

- coût d'entretien par voyageur-km : rame TGV-PSE : 0,0285 F
rame TGV-ATL : 0,0234 F.

Une fois établie l'incidence de la vitesse sur les divers éléments qui composent le coût d'exploitation, l'étape suivante du calcul économique a consisté à construire un modèle économique de dessertes à grande vitesse pour lequel on fait l'hypothèse de trois vitesses limites potentielles : 220 km/h, 270 km/h et 300 km/h, pour lesquelles on définit trois rames TGV, de technologie nouvelle, mais de composition et de motorisation adaptées à ces trois vitesses limites.

Les calculs effectués concernent le cas d'une relation comportant un parcours sur une ligne nouvelle dont les rampes n'excèdent pas 25 ‰ et un parcours sur une ligne ancienne en prolongement, dont la vitesse plafond est de 160 km/h. Les distances parcourues sur chacune de ces deux lignes sont paramétrées.

Le principe des études effectuées consiste à évaluer, sur une relation de ce type, les frais d'exploitation et les charges de capital en matériel roulant

relatifs à des services commerciaux pour lesquels la vitesse sur ligne nouvelle est respectivement limitée à 220, 270 et 300 km/h.

Ces évaluations prennent en compte les effets de la vitesse sur :

- la composition et la motorisation de la rame TGV et, bien entendu, sur sa capacité et son prix,
- l'utilisation de cette rame (parcours annuel),
- les dépenses d'entretien,
- les dépenses d'énergie,
- les dépenses relatives au personnel à bord des trains (conduite et accompagnement).

Les effets de la vitesse sur ces postes ne vont pas tous dans le même sens. Par exemple, à motorisation égale, la vitesse conduit à réduire la composition mais permet d'accroître la rotation du matériel. Autre exemple, la consommation d'énergie est une fonction croissante de la vitesse, mais les dépenses relatives à l'équipement en personnel des rames sont une fonction de sens inverse.

La comparaison des charges d'exploitation et de capital rapportées au voyageur, dans les trois cas de vitesse limite 220 km/h, 270 km/h et 300 km/h, peut conduire, selon les cas, à l'une des deux situations suivantes :

- ou bien l'accroissement de la vitesse réduit les charges et il est alors évident qu'il y a intérêt à augmenter la vitesse ;
- ou bien les charges augmentent en même temps que la vitesse et il faut alors comparer le surcoût lié à la vitesse au trafic supplémentaire que celle-ci permet d'induire, compte tenu de la réduction des temps de parcours.

Le paramétrage utilisé pour les distances parcourues sur ligne nouvelle et sur lignes anciennes en prolongement couvre un très large éventail de relations, notamment les principales relations concernées par le TGV Atlantique.

Compte-tenu des effets de sens opposés de la vitesse sur les frais d'exploitation et les charges de capital du matériel roulant, il apparaît que la vitesse de 270 km/h est généralement plus économique, au plan global, que celle de 220 km/h, notamment à cause de l'augmentation du rendement des rames.

Le passage de 270 à 300 km/h se traduit, dans la plupart des cas, par un surcoût d'exploitation et de capital. L'élasticité du trafic au temps de parcours, permettant de compenser l'élévation de ces charges, a été calculée relation par relation, puis comparée à l'élasticité réelle du trafic sur ces relations obtenue à l'aide des modèles économétriques de prévision de trafic.

Par exemple, pour une relation comme Paris-Bordeaux qui comporte environ 230 km sur ligne nouvelle de Paris à Tours et 350 km sur lignes anciennes de Tours à Bordeaux (soit 40 % de parcours sur ligne nouvelle), le passage de 270 à 300 km/h impose une augmentation de 5 % des frais d'exploitation variant avec la vitesse, soit 3 % de l'ensemble des charges (incluant notamment les charges commerciales) et un peu plus de 1 % des recettes. Pour compenser ce surplus de charges, il faut que le trafic ait une élasticité au temps de parcours au moins égale à 0,75. Or, l'élasticité réelle du trafic au temps de parcours est, sur cette relation, de 1,05 (pour un temps de parcours de l'ordre de 3 h, compte tenu du potentiel de trafic actuellement

transporté par l'avion). La vitesse de 300 km/h est donc justifiée par cette relation. L'écart entre l'élasticité minimum de 0,75 et l'élasticité effective de 1,05 donne une mesure du bénéfice à attendre de l'augmentation de vitesse.

Plus généralement, les principales relations prévues dans la desserte TGV Atlantique ont été étudiées à l'aide du modèle décrit ci-dessus.

III. La flexibilité du système TGV

Un des atouts considérable du système TGV est d'offrir la possibilité de desserte en surface d'une infrastructure ferroviaire nouvelle, sans rupture de charge, du fait de sa compatibilité (notamment pour le gabarit) avec le réseau ferroviaire préexistant : un très grand nombre de relations peut ainsi bénéficier de l'effet de contraction considérable des distances apporté par la ligne nouvelle à grande vitesse.

La première partie de cet exposé a montré que les nouvelles possibilités de franchissement de rampe offertes par la traction triphasée synchrone (50 %, au lieu de 5 à 10 % pour le chemin de fer traditionnel) lui permettaient de s'accommoder très largement de la géographie locale.

Cette très grande souplesse d'adaptation du système TGV se retrouve également dans la prise en compte du contexte ferroviaire local, comme nous allons le montrer dans cette troisième partie.

Le réseau ferroviaire français du Sud-Est de la France étant en grande partie électrifié, et le trafic envisagé pour la ligne nouvelle Sud-Est le justifiant, il fut décidé de construire des rames TGV à traction électrique. Le réseau ancien étant électrifié, pour des raisons essentiellement historiques, en 1 500 V continu, et l'économie du projet imposant l'électrification de la ligne nouvelle en 25 000 V-50 Hz, il fallut ainsi concevoir des motrices bi-courant, le dimensionnement des équipements de traction spécifiques à la ligne ancienne en 1 500 V continu pouvant d'ailleurs être adapté à la réduction des performances (200 km/h au lieu de 270 km/h).

Les études économiques montrèrent rapidement l'intérêt d'une desserte TGV de la Suisse depuis Paris, et en particulier de Lausanne (les résultats du service commercial confirment d'ailleurs la justesse de ces prévisions). Le réseau ferroviaire suisse étant électrifié dans un troisième type de courant : 15 000 V-16 2/3 Hz, c'était donc aux ingénieurs de concevoir, tout en respectant, bien entendu, les contraintes de dimensionnement, notamment la charge limite de 17 tonnes par essieu.

Par l'utilisation de techniques nouvelles, notamment l'isolation en classe H du transformateur permettant des gains de masse substantiels, le projet est devenu réalité et la SNCF dispose à ce jour de sept rames TGV tri-courant assurant les relations entre Paris et la Suisse à grande vitesse.

Ces exemples montrent déjà que le système TGV n'est pas prisonnier du système de traction électrique en 25 000 V - 50 Hz, mais qu'il a su s'adapter, pour les dessertes terminales, aux conditions locales d'électrification du réseau ferroviaire préexistant.

Il ne faut cependant pas en conclure que le système TGV est inéluctablement lié à la traction électrique ; certes, pour une ligne nouvelle à grande vitesse,

l'électrification apporte la puissance de traction nécessaire à la vitesse et au débit. Mais une ligne à grande vitesse électrifiée n'est pas exclusive d'une desserte en surface sur un réseau attendant non électrifié ; la concentration des trains sur le tronc commun à grande vitesse justifie, en général, son électrification ; la diffusion des trains sur les prolongements fait que le trafic résiduel, sur chaque branche attenante, peut être insuffisant pour en justifier l'électrification ; ces considérations ont ainsi amené la SNCF à étudier la faisabilité d'une rame automotrice à grande vitesse que l'on pourrait qualifier de bi-mode, c'est-à-dire fonctionnant en traction électrique à grande vitesse, et en traction autonome sur les prolongements non électrifiés.

La SNCF dispose, en effet, d'une expérience unique en traction autonome à turbines, ce mode de traction permettant de disposer d'une puissance importante dans une masse et un encombrement très réduits ; il s'agit d'un mode de traction tout à fait adapté à la grande vitesse, puisqu'il concilie puissance et légèreté.

Pour permettre une circulation autonome sur ligne non électrifiée, il est apparu comme possible d'adjoindre à l'équipement de traction électrique de la rame TGV un équipement à turbines installé dans une des extrémités de la rame. L'opération consiste à aménager le compartiment situé à l'extrémité de la dernière remorque voyageurs (compartiment actuellement occupé par le convertisseur des auxiliaires sur les rames TGV-PSE) : ce compartiment reçoit deux turbines Turmo XII de 1 200 kW accouplées à un même alternateur qui alimente, par le biais d'un bloc redresseur, la ligne d'alimentation haute tension des motrices, permettant de bénéficier ainsi de tout l'équipement électrique (traction et auxiliaires) préexistant.

Avec un tel équipement, une rame TGV bi-mode, *de composition et de capacité identiques* aux rames actuelles TGV Paris - Sud-Est, serait capable d'une vitesse de 160 km/h en palier sur ligne non électrifiée. Elle permettrait d'offrir sensiblement la même qualité de desserte en surface sur ligne non électrifiée que la desserte actuelle du Sud-Est de la France, moyennant un surcoût d'investissement qui ne devrait pas dépasser 15 % du coût de la rame électrique.

Il s'agit ainsi d'une solution extrêmement intéressante pour l'implantation d'une ligne nouvelle à grande vitesse au sein d'un réseau ferroviaire non électrifié, la double expérience de la SNCF, dans les deux domaines de la grande vitesse sur rail et de la traction par turbines, fournissant la garantie de la faisabilité d'un tel projet. Il n'est d'ailleurs pas interdit de penser que la poursuite de la progression de la desserte du TGV Sud-Est ne lui donne une réalité en France même.

Cette utilisation de la turbine ferroviaire, extrêmement intéressante pour une desserte en surface d'un réseau non électrifié de part et d'autre d'une ligne nouvelle électrifiée, ne doit d'ailleurs pas faire oublier que la grande vitesse reste possible en traction autonome ; rappelons que la première rame à grande vitesse expérimentée en France, la rame TGV 001, était une rame à turbines ; elle a, lors de ses marches d'essai, plusieurs fois atteint la vitesse de 300 km/h, au cours des années 1974 et 1975.

Depuis cette date, des progrès importants ont été apportés dans la conception des turbines, avec l'apparition du nouveau moteur Turmo XII de 1 200 kW, produit par la Société Turboméca. Ces nouvelles turbines, qui ont été appliquées en remotorisation, sur le parc de rames à turbines à gaz (RTG)

de la SNCF, permettent maintenant de concevoir une rame à grande vitesse, équipée, pour chaque motrice, de deux groupes de deux turbines Turmo XII, donc d'une puissance turbine traction installée proche de 5 000 kW ; dans la composition identique à celle de la rame Paris - Sud-Est (2 motrices encadrant 8 remorques) une telle rame serait capable de la vitesse de 270 km/h et toujours de la rampe de 50 %.

L'adjonction aux turbines d'échangeurs de chaleur, actuellement développés par l'industrie française en collaboration avec la SNCF, permet, en récupérant une partie sensible de l'énergie résiduelle des gaz d'échappement, d'améliorer très sensiblement le rendement de la machine thermique, et ainsi d'atténuer fortement, sinon de supprimer, le handicap que possédait la turbine à gaz par rapport au moteur diesel classique en matière de consommation spécifique, tout en lui conservant ses avantages considérables de légèreté et de faible encombrement.

Dans ce domaine du choix du mode de traction, comme dans le domaine précédent du choix de la vitesse optimale, les progrès réalisés depuis une dizaine d'années, aussi bien pour la traction électrique que pour la traction thermique à turbines à gaz, nécessitent une réactualisation des données du choix du mode de traction, ce choix résultant d'une étude économique globale intégrant les paramètres de la situation locale :

- en termes de coût d'investissement, la rame à turbines, à capacité égale, devrait être d'un coût supérieur d'environ 25 % à celui de la rame électrique ;
- en termes de coût d'exploitation, la rame électrique bénéficie également d'un avantage très net pour les dépenses d'énergie de traction et les dépenses d'entretien.

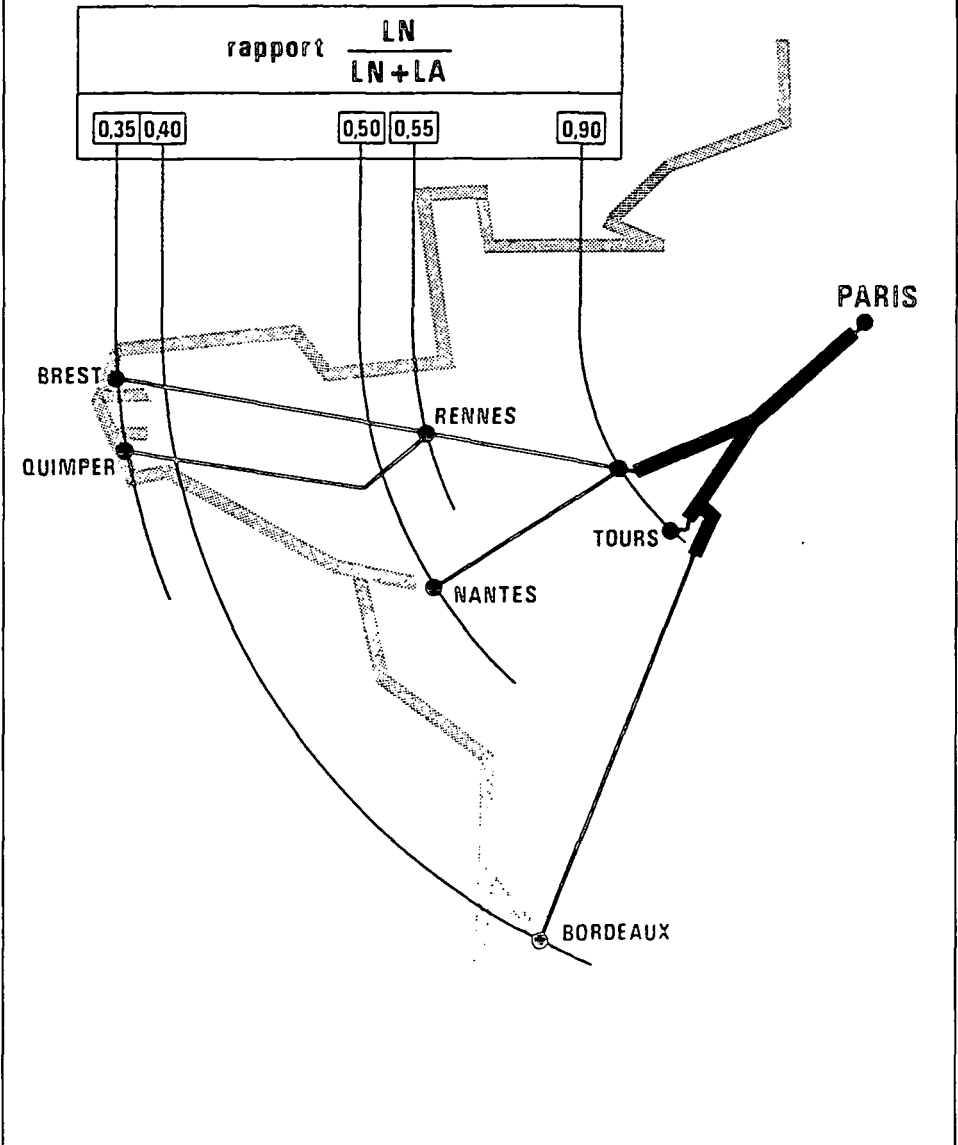
Le choix de l'électrification de la ligne nouvelle résultera donc d'un bilan économique global intégrant toutes ces données et les données liées au contexte local (notamment les qualités du réseau de distribution d'énergie électrique).

Conclusion

Depuis l'époque où la SNCF effectuait ses premiers essais à grande vitesse et préparait la définition de sa première génération de matériel TGV, c'est-à-dire il y a quinze ans, les progrès de la technologie ont ouvert des possibilités nouvelles pour optimiser les paramètres de définition du système TGV. Les progrès réalisés se situent aussi bien dans le domaine des performances (vitesse de 300 km/h - rampe maximale de 50 %) et du coût d'exploitation, que dans la grande flexibilité du système TGV aux conditions locales d'implantation d'une ligne à grande vitesse.

La double expérience de la SNCF, riche d'une quinzaine d'années d'expérimentations et de plusieurs années d'exploitation commerciale intense, dans les deux domaines de la turbine à gaz et de la grande vitesse en traction électrique, témoigne de la diversité et de la richesse des solutions que peut offrir la très grande vitesse sur rail.

RAPPORT DES DISTANCES PARCOURUES sur ligne nouvelle (LN) et sur lignes anciennes (LA)

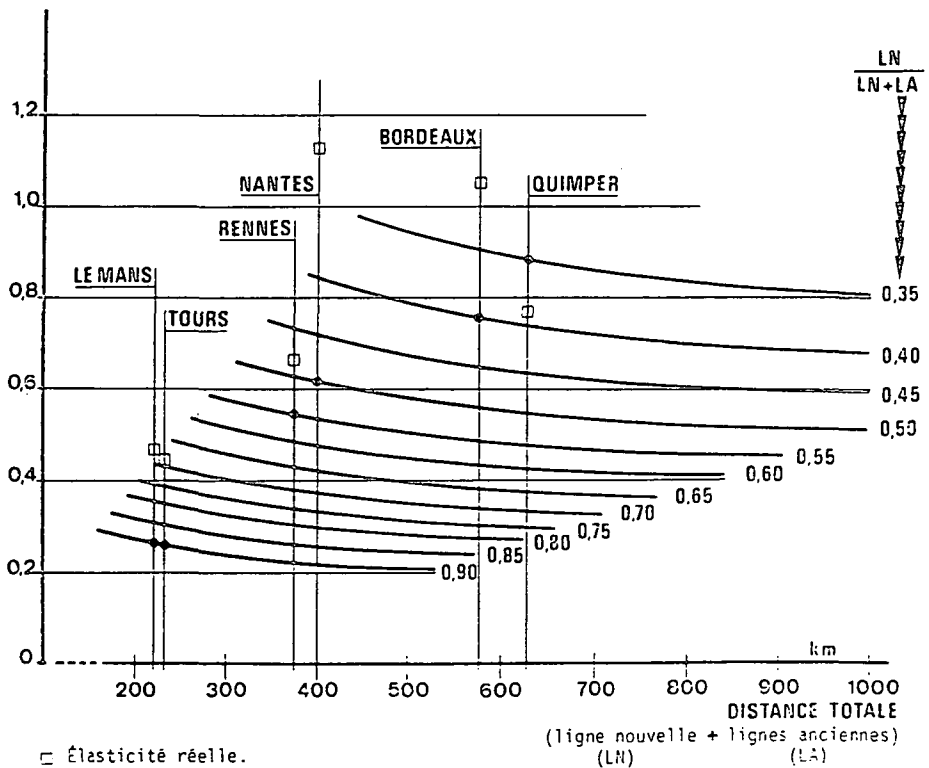


ÉLASTICITÉ DU TRAFIC AU TEMPS DE PARCOURS

Réseau de courbes relatives aux différentes relations classées en fonction du % de distance parcourue sur ligne nouvelle ($LN/LN + LA$)

ÉLASTICITÉ (en valeur absolue)

Trafic/temps de parcours



□ Élasticité réelle.

● Élasticité nécessaire pour compenser l'accroissement des coûts résultant d'une augmentation de la vitesse de 270 à 300 km/h.

Le service de transport voyageurs rapide sur le réseau FS

MM. Bonara, Cardini
FS

ITALIE

En 1983 au congrès de Munich, les FS ont présenté deux communications, concernant les caractéristiques des lignes à grande vitesse envisagées sur le réseau FS (et notamment sur la « Direttissima » Rome-Florence en construction), et les études qui à ce moment-là étaient en cours quant à la définition du matériel roulant le plus apte pour effectuer un service voyageurs à grande vitesse sur le réseau ferroviaire italien. Au congrès d'aujourd'hui, concernant plus les problèmes socio-économiques que techniques du système, cette communication des FS veut préciser d'une part quelles ont été les raisons des choix faits au sujet du développement du réseau ferroviaire italien et son aménagement possible à la fin du siècle, d'autre part le type de matériel roulant prévu pour l'exploitation actuellement dans la phase d'achèvement d'étude et de construction des prototypes, pour le service voyageurs à grande vitesse.

Le réseau ferroviaire italien, comme la plupart des réseaux dans le monde, a été conçu au siècle dernier pour satisfaire aux exigences des transports de l'époque et avec les ressources de la technologie du temps.

Aujourd'hui le système « chemins de fer » est encore appelé à remplir une tâche importante et irremplaçable dans le monde des transports terrestres, et pour y répondre d'une manière adéquate, sont nécessaires non seulement de profondes interventions qui ne doivent pas concerner uniquement une adaptation technologique du système, mais aussi des modifications visant à améliorer radicalement les tracés qui devront être adaptés aux exigences du moment.

Dans le choix de possibles interventions, les exigences pour parvenir à la formulation d'objectifs précis doivent être étudiées à fond : les conditions sociales, la répartition territoriale des activités, la demande de mobilité sont les points de départ pour un examen complet qui doit ensuite être développé en tenant compte des possibilités que le transport par rail peut mettre à profit et qui sont à la base de sa validité.

Nous estimons que des points forts peuvent être repérés :

- l'existence de points terminaux très précieux dans le centre des grandes villes ;
- les possibilités technologiques encore à utiliser en ce qui concerne la vitesse et le confort ;
- le rail est le moyen de transport le plus sûr, et qui peut être exploité en tout temps ;
- le rail est naturellement apte à recevoir les systèmes d'automatisation les plus avancés ;
- le rail n'est lié à aucun type particulier d'énergie et se présente comme le système de transport le moins polluant sous tout point de vue, même celui de la protection du paysage.

Face à ces points forts, le plus grand frein au développement des systèmes de transports ferroviaires est celui des lourds investissements nécessaires, qui ne les rendent économiquement possibles que pour de grands courants de trafic, qui doivent être d'autant plus homogènes que la distance concernée est plus courte.

Exigences, possibilités technologiques, limites économiques : ce sont les termes de l'équation dont le résultat mène aux choix de fond ; dans l'impossibilité d'examiner dans le détail tous les aspects du problème, il est nécessaire de rappeler les caractéristiques géomorphologiques de l'Italie : d'importantes chaînes montagneuses, la nécessité d'assurer les liaisons avec les îles, son long développement dans la Méditerranée, qui comporte de grandes distances.

Quant à la répartition territoriale des activités, en Italie il n'y a pas qu'un pôle d'attraction, mais plusieurs grandes agglomérations, la plupart dans le Nord – plus industrialisé – et au Centre, et de façon moins importante dans le Sud, zone qui bénéficie toutefois actuellement d'un développement économique et industriel soutenu par des interventions du gouvernement.

De tout ceci dérivent des exigences de mobilité qui – surtout en ce qui concerne le problème de la grande vitesse – peuvent être résumées dans la nécessité de réduire les temps de parcours, non seulement pour quelques relations particulières, mais plus généralement pour les courants de trafic Nord-Sud.

Cette exigence a été prise en compte par les FS au moment de la décision de construire la ligne « Direttissima » Florence-Rome, quand on a prévu que les nouvelles lignes s'intégreraient dans le réseau existant et apporteraient un avantage – en ce qui concerne la réduction des temps de parcours – à toutes les circulations.

Par conséquent on a écarté, en connaissance de cause, l'idée d'envisager un nouveau réseau spécialisé pour la grande vitesse, du fait qu'un réseau spécialisé a une valeur d'autant plus grande qu'il est plus étendu et donc oblige à un engagement financier très lourd et prolongé dans le temps.

La ligne Florence-Rome est l'exemple de la solution donnée au problème, et les prochains pas pourraient porter à l'étendre au tronçon Bologne-Milan et éventuellement à la recherche d'une nouvelle solution pour le percement des Appennins entre Florence et Bologne.

Par rapport à une ligne spécialisée, cette solution entraîne sûrement des frais de construction plus élevés en ce qui concerne les interconnexions (5 sont prévues entre Florence et Rome, une tous les 50 km) et les pentes qui doivent être moins importantes pour être compatibles avec tout type de trafic ; cette solution entraîne aussi des problèmes plus difficiles d'exploitation à cause de la non-spécialisation du trafic ; ce genre d'exploitation aura probablement pour conséquence une limitation de vitesse maximale par rapport à celle qui est envisageable sur les lignes spécialisées.

Par contre, les nouveaux ouvrages apportent un avantage concernant tous les services, y compris les trains de nuit et les internationaux ; cet avantage peut être utilisé au fur et à mesure que les différents tronçons de la ligne sont terminés ; les réalisations peuvent alors être distribuées dans le temps.

Les FS estiment pouvoir faire circuler sur les lignes à trafic non-spécialisé, des trains de type traditionnel jusqu'à la vitesse de 200 km/h et ses trains spécialisés à vitesse maximale de 250 km/h.

Dans le choix du matériel roulant se reflètent les nécessités d'exploitation susdites qui, en ce qui concerne le trafic rapide des voyageurs, seront résolues par deux réalisations concernant les deux types de trafic, à savoir une locomotive « universelle » pour les trains de type traditionnel jusqu'à 200 km/h et un matériel spécialisé apte à former des rames à grande vitesse jusqu'à 250 km/h.

Un premier prototype de la locomotive commencera les essais en ligne au début de 1985. Il s'agit d'un engin moteur de nouvelle conception autant pour la partie mécanique que pour la partie électrique, caractérisé par une grande souplesse : sa puissance maximale pourra être développée déjà à partir de la vitesse de 100 km/h et maintenue jusqu'à la vitesse de 220 km/h (le prototype aura une vitesse maximale de 250 km/h pour en essayer les caractéristiques de stabilité de marche).

Cette caractéristique de souplesse est très importante en Italie compte tenu que le long des lignes se suivent des tronçons qui peuvent être parcourus à grande vitesse et d'autres à pentes accentuées. Les principales caractéristiques de la locomotive sont les suivantes :

Dispositions des essieux.....	B'o B'o
Longueur totale.....	18 440 mm
Ecartement des pivots.....	10 400 mm
Empattement des bogies.....	2 850 mm
Diamètre des roues.....	1 250 mm
Masse totale.....	82 t
Puissance demi-horaire.....	6 000 kW
Puissance continue.....	5 100 kW

L'étude des bogies et des transmissions du mouvement a été particulièrement soignée afin de diminuer au maximum les masses non-suspendues et pour permettre les affaissements longitudinaux et transversaux prévus par les liaisons boîte d'essieux/châssis du bogie.

En ce qui concerne la partie électrique, la locomotive est caractérisée par l'utilisation de moteurs de traction asynchrones triphasés.

Les deux moteurs de chaque bogie sont alimentés en parallèle par un convertisseur c.c./c.a. du type « PWM » alimenté à son tour par un hacheur élévateur à la tension de 4 200 V.

Abstraction faite du filtre d'entrée, la locomotive se présente avec deux équipements de traction complètement séparés, chacun alimentant les deux moteurs d'un bogie ; de même le système prévu pour le freinage rhéostatique, avec régulation réalisée par les hacheurs du premier étage, est indépendant pour chaque bogie, le passage de la traction au freinage se produisant sans intervention de contracteurs ; le freinage à récupération est néanmoins possible.

Comme on l'a déjà dit, la puissance demi-horaire à la jante est de 6 000 kW, et la puissance continue est de 5 100 kW. En freinage électrique la puissance transformée dans le rhéostat est de 3 300 kW et 5 100 kW en cas de récupération.

Les caractéristiques de cette locomotive – qui s'appellera E 402 – la rendent apte à tracter tous les trains de voyageurs qui sont aujourd'hui prévus sur le réseau FS, travail actuellement effectué par des locomotives à six essieux de type traditionnel à démarrage rhéostatique.

Quant à la réalisation dont on a parlé plus haut – qui concerne plus précisément la grande vitesse – il s'agit de matériel roulant spécialement conçu pour des services jusqu'à 250 km/h. En 1983 à Munich on a fait allusion aux études préliminaires pour en définir la typologie, et aujourd'hui nous pouvons préciser qu'il s'agira de trains formés par deux engins aux extrémités encadrant des véhicules remorqués au milieu. Les solutions à composition fixe ont été écartées soit parce que correspondant mal aux exigences de l'exploitation, soit parce que bien plus coûteuses surtout à cause du plus grand nombre d'unités de réserve qui doivent être prévues.

Les unités motrices auront une disposition des essieux B'o B'o, et les moteurs de traction seront suspendus directement à la caisse.

La puissance continue de chaque unité sera de 3 500 kW à la jante et les entraînements utiliseront des moteurs de traction asynchrones triphasés. En 1987 sera disponible une rame prototype avec laquelle les solutions envisagées pourront être testées en ligne et éventuellement confrontées avec d'autres solutions alternatives : on pourra, de même, commencer une pré-exploitation expérimentale qui pourra donner des indications quant aux sujétions découlant du trafic non-spécialisé.

Un bref exposé des choix effectués par les FS en ce qui concerne le service rapide des voyageurs a été fait ; les interventions en cours et celles en projet ont pour but d'améliorer les transports ferroviaires en Italie, mais elles sont d'ailleurs prévues afin d'arriver à un réseau de transport ferroviaire rapide en Europe.

L'amélioration des tracés et la construction de nouvelles lignes sont des projets qui entraînent soit des efforts financiers considérables soit la résolution des difficultés liées à leur adaptation aux territoires concernés.

Afin que ces efforts n'aient pas un caractère régionaliste, mais qu'ils correspondent à une vision plus européenne, on souhaite que ces journées de travail puissent se terminer par un mandat aux techniciens responsables des différentes administrations ferroviaires pour qu'ils s'engagent à dépasser

tous les obstacles techniques et à effectuer des études communes pour réaliser des rames rapides ayant pour caractéristique de permettre les liaisons directes entre les grandes villes européennes, franchissant les frontières.

Caractéristiques et études d'application des systèmes magnétiques

M. Hucks
Transrapid International

RFA

I. Données et propriétés techniques du système de locomotion magnétique ; répercussions et résultats

Dès 1935, Hermann Kemper effectuait les premières expériences sur un banc d'essai simple pour étudier la technique de sustentation électromagnétique. Ensuite, il est vrai que 35 autres années durent s'écouler jusqu'à son utilisation orientée vers les applications pratiques pour une nouvelle technologie des transports : le système de train magnétique. Des développements déterminants dans le domaine de l'électronique et de la technique des courants de puissance furent des éléments capitaux à cet effet.

En Allemagne fédérale, on se penche activement depuis environ 1970 sur le développement d'un chemin de fer à traction magnétique, dans un premier temps en différents endroits, mais aussi à partir de conceptions différentes quant aux techniques de sustentation et de guidage, ainsi que de traction.

Aussi paraît-il opportun de brosser dès maintenant un bref aperçu « historique » de ces différentes directions du développement, puis d'exposer plus en détail l'état atteint actuellement.

Si, dans les premiers temps, certaines firmes, seules ou réunies en groupements d'entreprises – nous évoquerons encore succinctement ces aspects par la suite – poursuivirent différentes conceptions de développement, on en est arrivé depuis, en Allemagne fédérale à ne poursuivre, pour le transport à grande vitesse par voie ferrée, plus qu'un système unique basé sur le principe du stator de grande longueur.

Il doit sans aucun doute être d'une grande évidence qu'un tel projet porteur d'avenir entraîne non seulement des frais de développement considérables, mais comporte aussi des risques de développement qui ne sont guère évaluables ni contrôlables. Cependant, cela veut dire que les moyens financiers nécessaires ne peuvent en toute certitude être fournis par les seules firmes parties prenantes dans ce développement. Fort heureusement, cet aspect des choses a aussi été considéré sous le même angle de vue par le ministre fédéral de la Recherche et de la Technologie (BMFT) qui a encouragé jusqu'à présent ce développement de façon fondamentale.

II. Comparaison des différents systèmes de traction magnétique

Nous allons maintenant aborder brièvement les divers concepts de développement déjà évoqués plus haut dans leur globalité, tels qu'ils furent étudiés dans la première phase. Il semble nécessaire à cet effet de présenter tout d'abord l'étude comparative entre le système magnétique de sustentation et de guidage et le système roue/rail (R/R).

Les différences fondamentales résultent des principes physiques différents mis en œuvre pour la sustentation et le guidage, ainsi que pour la traction. Il s'agira ici uniquement de mettre en relief explicitement un aspect capital. Dans le système R/R, la transmission de la totalité des forces pour tous les états de marche concevables intervient par l'intermédiaire de « l'interface » – en déplacement rectiligne uniquement sur l'ellipse de contact des roues – qu'est la zone de contact entre la roue et le rail. Des dispositions spéciales permettent ainsi, par exemple avec le dispositif anti-patinage, de s'approcher de très près de la limite d'adhérence. Et pourtant, en dépit de quelques réserves de potentialité qui peuvent certainement être exploitées, le système roue/rail à grande vitesse évolue désormais à la limite-plafond des vitesses réalisables.

Avec le système de sustentation électromagnétique, on ne peut, à l'heure actuelle, évaluer les limites du développement. Pour les vitesses, on atteint pour l'instant la zone des 400 km/h. Mais ceci ne doit sans doute pas représenter la limite haute pour cette technologie nouvelle ; celle-là peut fort bien se situer autour, voire au-delà d'une vitesse de l'ordre de 500 km/h.

La sustentation magnétique est fondée sur des forces électro-magnétiques. Pour ce faire, toutefois, il est indispensable d'assurer un intervalle précis par l'intermédiaire d'un circuit régulateur. On crée de cette façon un état de sustentation libre de tout contact physique. La locomotion est assurée par un moteur de traction linéaire.

Dans le cadre des diverses orientations de développement, on rechercha tout d'abord différentes combinaisons techniques pour réaliser les conceptions de sustentation et de guidage ainsi que celles de la traction. C'est ainsi que furent testés, pour la sustentation et le guidage, les principes électrodynamiques et électromagnétiques, et pour la traction, différentes versions du moteur électrique linéaire.

Le système électrodynamique (SED) demande, sur la voie et dans le véhicule, des électro-aimants se repoussant l'un l'autre. Le système électrodynamique exige, pour fonctionner, une certaine vitesse initiale de base afin de dégager des forces magnétiques suffisantes pour assurer le décollement. C'est pourquoi, tant pour la phase de l'accélération que celle de la décélération, le véhicule a encore besoin de roulements. Pour atteindre une plus grande efficacité, on opère avec des aimants supraconducteurs pour ce genre de systèmes électrodynamiques, ce qui exige cependant la mise en œuvre d'un dispositif cryotechnique important.

En Allemagne fédérale, le BMFT procéda en 1977 à une décision de fond en faveur des systèmes électromagnétiques, avec pour objectif de resserrer la gamme des concepts de systèmes à l'étude. Au Japon en revanche, la Japanese National Railways s'est engagée sur le concept électrodynamique.

La sustentation électromagnétique repose, contrairement au système électrodynamique, sur des forces d'attraction entre les rails ferromagnétiques et les électro-aimants montés dans le véhicule.

Afin de conserver un écartement invariable, il faut prévoir le dispositif électromagnétique de régulation déjà signalé. En règle générale, cet intervalle fait aujourd'hui 10 mm.

Pour pouvoir maintenir les capacités de sustentation même en cas de défaillance de certains aimants isolés, on réalise d'entrée de jeu les aimants sous la forme de modules indépendants les uns des autres que l'on appelle les « roues magnétiques » et qui constituent, associées au châssis magnétique, les « bogies magnétiques ». La construction schématique de la « roue magnétique » est illustrée en figure 1, et la figure 2 présente une prise de vue photographique.

La technique de sustentation magnétique sans contact demande également une transmission sans contact de l'énergie pour la traction. Le moteur linéaire s'impose à cet effet. Ce sont pour l'essentiel deux variantes de ce moteur qui ont été mises en œuvre à cet endroit :

- le moteur linéaire asynchrone à stator court ;
- le moteur linéaire synchrone à stator de grande longueur.

En figure 3 est reproduite la comparaison des deux moteurs linéaires dans leur principe.

Pour le moteur linéaire à stator court, la partie active du circuit primaire est logée dans le véhicule, tandis que la partie du secondaire est prévue dans les installations fixes de la voie. La distribution électrique est assurée par des contacts sur le véhicule.

Pour le moteur linéaire à stator de grande longueur, la partie active du primaire est intégrée dans la voie fixe, l'injection de l'énergie étant assurée de l'extérieur. La partie du secondaire, ou inductrice, fait un avec l'aimant de sustentation du véhicule. Dans ce cas, toute distribution électrique du véhicule est inutile.

Le développement effectué en Allemagne fédérale porta tout d'abord plus activement sur la technique du stator court. Les tableaux 1 et 2 énumèrent ainsi les principaux projets du développement effectués sur la lancée du système électromagnétique dans leur ordre chronologique.

Dans le cadre de cet exposé, nous allons encore présenter un exemple de technique à stator court et un autre de technique à stator de grande longueur.

C'est ainsi que la figure 4 montre le véhicule Transrapid TR 04 à traction par moteur à stator court (1974) sur une ligne d'essai spéciale, la figure 5 représentant le véhicule HMB 2 avec le premier système de traction à stator de grande longueur apte à fonctionner (1974).

En raison d'avantages évidents au niveau technique et économique, ce fut en définitive la technique de sustentation et de guidage électromagnétique avec moteur linéaire à stator de grande longueur qui réussit en 1978 à s'imposer comme axe principal du développement à suivre.

Fondés sur cette option fondamentale, le développement, la construction et la mise en service de la première installation de train magnétique, réalisée

en coopération à échelle industrielle, virent ainsi le jour en république fédérale d'Allemagne pour l'exposition internationale des transports (IVA) de 1979 à Hambourg.

La mission à assurer en l'occurrence était de relier le centre des expositions à l'espace de plein air situé à environ 1 km du centre et de faire du même coup la démonstration, pour les visiteurs de l'exposition et le public international de spécialistes, des avantages de la technique de sustentation électromagnétique.

Il fut nécessaire de faire subir au système un examen très complet en matière de tests de sécurité par les autorités d'agrément en raison du transport prévu de personnes.

Au terme d'une période d'à peu près un an et demi pour les études de dimensionnement et la construction des véhicules et de la voie, l'installation put être inaugurée et mise en service à la date voulue pour l'ouverture de l'exposition internationale des transports 1979 à Hambourg.

On trouvera dans le tableau 3 les caractéristiques essentielles du tracé de la voie de cette installation de l'IVA, et au tableau 4 celles du véhicule TR 05. La figure 6 donne encore une idée de ce qu'était une partie de l'installation avec le véhicule sur sa voie ferrée d'acier. A droite sur le cliché, on reconnaît l'un des deux bâtiments de gare.

Qu'il nous soit encore permis de résumer succinctement comme suit le résultat enregistré à la suite des six mois d'exploitation :

- au cours d'une exploitation permanente et pour ainsi dire sans accroc aux horaires de marche, ce furent au total plus de 50 000 passagers qui furent transportés ;
- le système de train magnétique avec traction par moteur synchrone à stator de grande longueur fit preuve d'une fiabilité d'environ 99 %.

Ce faisant, toutes les espérances mises dans cette première application grandeur nature se virent dépassées.

Dès le début, la concession d'exploitation de ce train magnétique à Hambourg n'avait été accordée que pour un temps limité. Par conséquent, il fallut en effectuer le démontage à la fin 1979. Par la suite, il fut réinstallé à Kassel sur les terrains industriels de la société Thyssen Henschel où il sert jusqu'à ce jour à des fins de démonstration et à des essais et tests de complément très ciblés.

III. L'installation d'essai Transrapid Emsland (TVE)

En raison des résultats remarquables enregistrés par l'exploitation du train magnétique à Hambourg, le ministre fédéral de la Recherche et de la Technologie (BMFT) se déclara disposé à favoriser, dans le cadre d'une nouvelle phase de développement, l'édification et l'exploitation d'une installation d'essai de train magnétique ayant une ampleur conforme à la réalité, permettant la mise à l'épreuve dans des conditions proches de celles de l'exploitation réelle et la qualification du système pour son application.

Le site sélectionné en définitive comme étant le plus propice à cette application à échelle industrielle fut un secteur dans la région de l'Emsland

dans le nord de l'Allemagne fédérale. C'est la raison pour laquelle ce projet prit le nom de « Installation d'essai Transrapid Emsland » (TVE).

Les études de conception de ce train magnétique à grande vitesse reposèrent sur deux cas d'utilisation principaux :

1. Trafic pour voyageurs à une vitesse maximale de 300 km/h comme moyen de liaison en navette d'aéroports sur des trajets de 50 à 150 km.
2. Moyen de transport surajouté pour relier de grands centres urbains à des vitesses de 400 km/h. Dans ce cas également, le trafic voyageurs se place au premier rang des missions, mais le transport de marchandises de grande valeur en conteneurs doit également être praticable.

L'objectif essentiel fixé, qu'il vaut la peine de citer, comporte, pour cette installation d'essai Transrapid (TVE) :

- une justification d'aptitude de fonctionnement de tous les éléments et organes constitutifs dans les conditions réelles d'exploitation ;
- le recensement de la tenue du système en exploitation ;
- la justification du taux de disponibilité et de fiabilité, de la manipulation, de la maintenance et de l'entretien des éléments et organes constitutifs et des systèmes en service permanent ;
- la vérification des comptes d'exploitation ;
- l'établissement des règles nécessaires pour l'homologation d'un système de train magnétique au titre de moyen de transport public.

Un consortium fut mis sur pied, dont on notera la composition dans le tableau 5, pour exécuter les travaux nécessaires d'étude, de fabrication et de montage et les essais de fonctionnement de cette installation de train magnétique.

La figure 7 reproduit le tracé retenu sur le terrain pour les installations fixes de cette installation d'essai Transrapid Emsland (TVE). La première, qui a déjà été évoquée, a une longueur de 20,6 km. Avec la boucle nord, c'est ainsi la plus grande des deux boucles qui est déjà réalisée. Cette boucle présente de surcroît un tronçon de voie de 5 km de longueur en voie métallique, tandis que le restant de la voie établie est construit en béton.

La figure 8 est une vue d'avion sur la boucle nord. La figure 9 fait apparaître la différence des parties de voie en béton ou en acier, toutes deux réalisées en voie aérienne sur piliers. Il apparaît que la voie métallique autorise une solution un peu plus « élégante ». Ceci a des répercussions particulièrement heureuses dès lors que pour franchir des longueurs de travée autres, il s'agit de changer la section inerte.

Dans ses embranchements, l'installation est équipée d'aiguillages métalliques à élément flexible. Un aiguillage à élément flexible de ce type est représenté schématiquement dans ses deux positions finales, une fois pour la traversée rectiligne et la seconde pour une traversée en déviation à la figure.

On aura une idée de la vue d'ensemble de l'aiguillage à élément flexible, tel qu'il est déjà posé à l'entrée de la boucle nord, avec la figure 10.

Avant d'aborder plus en détail le véhicule, précisons « l'interface » : la voie est montée sur chevalets ou sur piliers ; le système combine sustentation, guidage et traction. Le moteur linéaire synchrone à stator de grande longueur

est monté en association avec le système de sustentation et de guidage. L'alimentation électrique en triphasé est assurée par l'intermédiaire d'onduleurs alimentant le bobinage triphasé du stator de grande longueur. La puissance de traction est engendrée lorsqu'il y a synchronisation entre la vitesse de traction et la fréquence d'onduleur. On agit sur la puissance de locomotion et partant, sur la vitesse de croisière en modulant la régulation. La régulation demande, elle, une information continue et au fur et à mesure de la position des polarités et donc du point de parcours où se trouve le véhicule pour régler le moteur linéaire à stator de grande longueur.

Pour limiter la puissance nécessaire des onduleurs, on découpe le moteur à stator de grande longueur en plusieurs tranches d'alimentation qui font généralement une longueur de un à deux kilomètres, mais peuvent parfaitement être adaptées aux conditions de la topographie.

Pour des raisons économiques et de rationalisation, on alimente dans ces conditions plusieurs tranches à la fois à partir d'un onduleur central (sous-station d'alimentation). La répartition de la puissance est assurée par l'intermédiaire de commutateurs correspondants, manœuvrés en fonction de la position du véhicule.

Après ces explications plus approfondies des circonstances et phénomènes intervenant au niveau de « l'interface » du système combiné de sustentation, de guidage et de traction, donnons maintenant quelques éclaircissements sur le véhicule TR06 que l'on peut voir photographié à la figure 11, très précisément sur la dérivation vers le centre d'essai. Le véhicule est composé de deux sections autonomes faisant une longueur d'au total 54 m pour un poids global de 120 t et une capacité en places assises de 200 passagers. Ce véhicule est calculé pour une vitesse de 400 km/h au maximum. La figure 12 montre à son propos encore l'un des bogies magnétiques.

A l'heure actuelle se déroule la phase de mise en service que le consortium en charge du projet jusqu'ici continue encore à réaliser. Si l'on veut bien tenir compte du fait que le train magnétique constitue une direction de développement foncièrement nouvelle, pour laquelle il convenait de rassembler également des axes de développement différents suivis par différents partenaires, on est en droit de juger fort satisfaisant l'ensemble de la procédure effectuée jusqu'à présent dans la mise en service du système global. N'a-t-on pas tout de même atteint dans le cadre des deux tranches intermédiaires des vitesses de plus de 200 km/h pour finir à 302 km/h. La vitesse recherchée de 400 km/h ne sera réalisable qu'après achèvement de la boucle sud au début 1986.

Une fois les stades essentiels menés à bonne fin pour la mise en service de l'installation partielle déjà édifiée, celle-ci sera transférée sous peu pour exploitation à la société nouvellement créée à cet effet, la Magnetbahn-Versuchs- und Planungsgesellschaft (MVP). La Deutsche Lufthansa, la Deutsche Bundesbahn et la Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft (IABG) ont des participations dans cette société d'essai et d'études du train magnétique.

On bénéficie d'ores et déjà, à la suite de toutes les phases de travaux réalisés jusqu'à présent en rapport avec l'installation d'essai Transrapid Emsland (TVE), d'un acquis considérable d'expériences. Dans toute la mesure du possible, celles-ci devront être prises en compte dans les études de dimensionnement et de conception et dans la construction de la boucle sud

pour laquelle la Thyssen Henschel sera l'entreprise-pilote. Mettons encore en relief ce transfert d'expériences à l'aide de quelques temps forts.

On trouvera regroupées au tableau 6 les conditions-cadres spécifiques pour la réalisation de la boucle sud. Le problème, tel qu'il est posé en l'espèce, prévoit en connaissance de cause une réalisation qui ne soit pas une mesure de pure construction du génie civil, mais bien au contraire un problème complexe du système, censé fournir des solutions technologiques en partie neuves et mûries jusqu'au stade des applications. Ceci vise entre autres :

- un équipement du stator de grande longueur qui soit simplifié, d'un coût plus intéressant et d'un niveau de maturité technique autorisant l'application pratique ;
- un passage à un équipement en régulateurs de courant d'alimentation de 100 kHz de grande sécurité ;
- une solution fiable d'un coût plus intéressant et d'un niveau de maturité technique autorisant les applications pratiques pour le troisième aiguillage ;
- des formes de construction perfectionnées et d'un niveau de maturité technique autorisant les applications pratiques pour la voie et les installations fixes, y compris la technologie des équipements.

A titre d'exemple, sur le côté droit, la conception de la voie métallique est modifiée par comparaison avec sa réalisation pour la première tranche de construction, telle qu'elle sera désormais prévue pour la boucle sud. Des éléments essentiels d'équipement ont été d'emblée complètement intégrés dans la nouvelle conception. Ceci aboutit à des simplifications, à un degré supérieur dans la précision, à des sécurités plus élevées et à des compressions de coûts.

Nous signalerons encore un point essentiel supplémentaire, à savoir le projet de rééquipement du véhicule TRO6 avec une « roue magnétique » fonctionnant avec un système « fail safe » c'est-à-dire de sécurité en cas de défaillance. Les stades nécessaires à cet effet sont inscrits dans le tableau 7.

IV. Le programme technologique

Le « programme technologique » qui est exécuté parallèlement par le BMFT et présente la structure de développement suivante est, lui aussi, orienté dans un sens analogue à la direction empruntée par les perfectionnements mis en évidence dans les paragraphes qui précèdent pour la boucle sud :

- Niveau du système.
- Technique du véhicule.
- Technique de la voie.
- Technique de la traction linéaire.
- Technique de conduite.

Des phases fondamentales sur l'axe de développement des techniques du véhicule concernent à cet égard par exemple, le châssis de lévitation, une nouvelle configuration des aimants, et un senseur d'intervalle sans contact, associé à une surveillance sûre du fonctionnement.

Pour l'axe de développement de la technique de la voie, les stades essentiels se situent environ au niveau de l'équipement du stator de grande longueur avec un enroulement en câbles d'aluminium et avec un paquet ou empilage modifié pour le stator, ou encore pour un réseau ferré à double voie monté sur piliers au moyen d'une technique appropriée de fabrication et de pose.

Citons encore parmi les stades essentiels de l'axe de développement de la technique de la traction : la technique de montage et de commutation électriques du stator de grande longueur ; le système de régulation de la traction et la variante de traction par stator court U-LIMAS.

Dans cet axe de développement, il est bon d'évoquer tout particulièrement encore le dernier projet mentionné. U-LIMAS est le code abrégé d'un système de transport à traction par moteur asynchrone à stator court et technique électromagnétique de sustentation et de guidage sur lequel les travaux sont conduits dans le cadre d'une coopération germano-française dans le prolongement du développement d'un moteur de conception française. La figure 13 illustre cette conception qui présente sur le côté de la voie un moteur linéaire à induction sur un rail en U. Le dimensionnement et les essais du concept de guidage et de traction reposent sur les résultats acquis dans des essais avec des prototypes à Grenoble. Une plate-forme d'essai spéciale pour roues magnétiques, installée à Kassel, sert à contrôler et à tester les aimants.

V. Les conditions nécessaires pour l'introduction du système de train magnétique

Dans une autre partie de notre exposé, nous entendons nous pencher sur les questions de principe concernant l'introduction du système des trains magnétiques.

Le tableau 8 est un résumé des actions exercées par le système de train magnétique sur l'environnement. Il fait clairement apparaître que, par rapport à d'autres systèmes, tributaires d'un réseau ferré fixe, ce système présente un certain nombre d'avantages de poids, ainsi par exemple au plan des émissions de bruit, des vitesses ou de la consommation d'énergie.

Les paramètres de dimensionnement du système de train magnétique sont, pour partie, définis par la vitesse prévue dans les calculs, et on relèvera ainsi à cet égard des données chiffrées essentielles au tableau 9.

Pour la comparaison avec d'autres moyens de transport, les durées de voyage de porte à porte semblent être un critère important à rapporter aux distances de parcours.

La succession chronologique des stades à venir jusqu'à l'inauguration du premier train magnétique en utilisation commerciale a fait l'objet d'une étude ; il s'impose de mettre plus particulièrement en exergue la signification de deux stades différents :

- la preuve de la capacité du TVE d'atteindre la vitesse de 400 km/h imposée dans les calculs de l'étude en toute sécurité, pour une exploitation pour ainsi dire conforme aux horaires de marche sur une période de fonctionnement d'une durée appropriée ;

– les importants efforts de planification et d'étude de marché engagés dès maintenant.

Aussi allons-nous, dans cette dernière partie de notre exposé, aller plus au fond de ce dernier point. On peut faire valoir à ce propos que toute une série d'études sur les possibilités d'application a d'ores et déjà été réalisée ; d'autres sont en cours de réalisation en ce moment. Ce genre d'études est non seulement censé mettre en lumière les possibilités techniques de conception ; il doit aussi contenir des éléments comparatifs entre les systèmes en concurrence et énoncer des pronostics sur les coûts à envisager pour les investissements en matériels concernant la voie et le matériel roulant, la maintenance, l'entretien et l'exploitation.

C'est pour obtenir en l'occurrence une démarche cohérente et coordonnée à l'échelle mondiale que fut créée la Transrapid International (TRI), au sein de laquelle les entreprises en tête du peloton de ce développement, c'est-à-dire Messerschmidt-Boelkow-Blohm (MBB), Krauss-Maffei et Thyssen Henschel, ont mis leurs atouts en commun.

Et maintenant, avant de présenter quelques-unes des études lancées par la TRI, faisons encore auparavant état d'un projet en coopération comportant une « étude comparative des systèmes à très grande vitesse » portant sur un trajet fictif de Paris-Francfort et lancée à l'initiative du ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports français, en liaison avec le ministère fédéral d'Allemagne de la Recherche et de la Technologie.

La ligne fictive retenue présente l'avantage d'être assez représentative des conditions de tracé existant en Europe et de surcroît, de ne pas traverser d'autres pays tiers. A la base de cette étude, on prit le système roue/rail français du TGV, le système roue/rail allemand du Intercity-E et le système du train magnétique Transrapid.

L'étude comprend également un examen comparatif des coûts pour les investissements en matériel concernant l'infrastructure et les équipements de la ligne dégagée, sans raccordements ; nous renoncerons, dans le cadre de cet exposé, à en donner une reproduction qui demanderait trop d'explications. A propos de la différence dans les investissements au kilomètre de ligne, telle qu'elle apparaît ici également entre le TGV et le ICE, on précise dans cette étude « que celle-ci ne trouve pas son origine en premier lieu dans des causes d'ordre technique ». On y explique cette différence essentielle-ment par :

- une différence dans la structure d'implantation des localités et zones résidentielles ;
- une différence dans les dépenses d'acquisitions foncières ;
- une grande ampleur des opérations de remembrement en France.

Le traitement des conditions-cadre de ce type est pratiqué de manière fort différente dans les deux pays. Il s'ensuit des problèmes demeurant encore à résoudre, avant de pouvoir concrétiser des liaisons à grande vitesse interfrontalières.

La Transrapid International (TRI) a procédé, entre autres, aux études d'application suivantes pour le système du train magnétique :

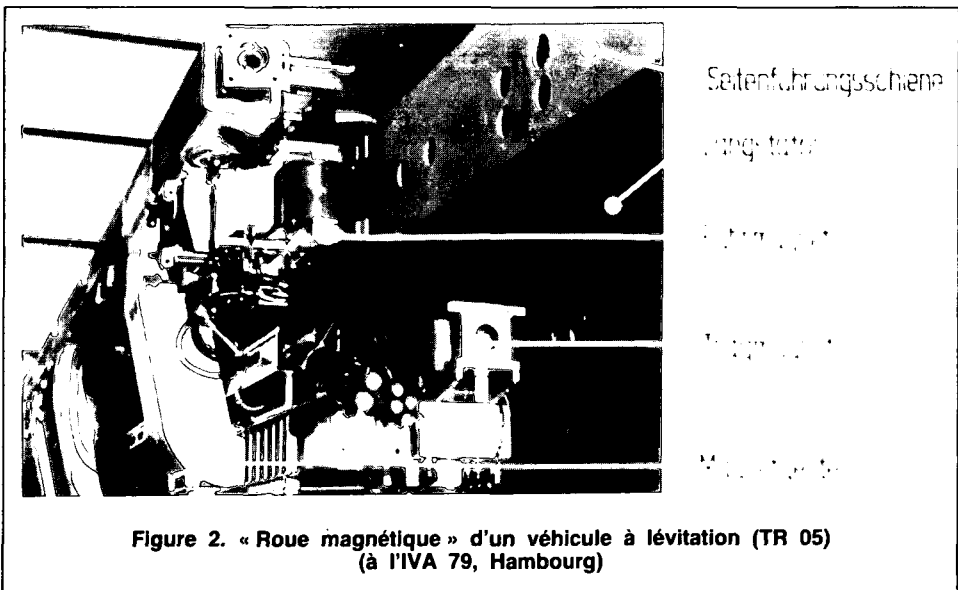
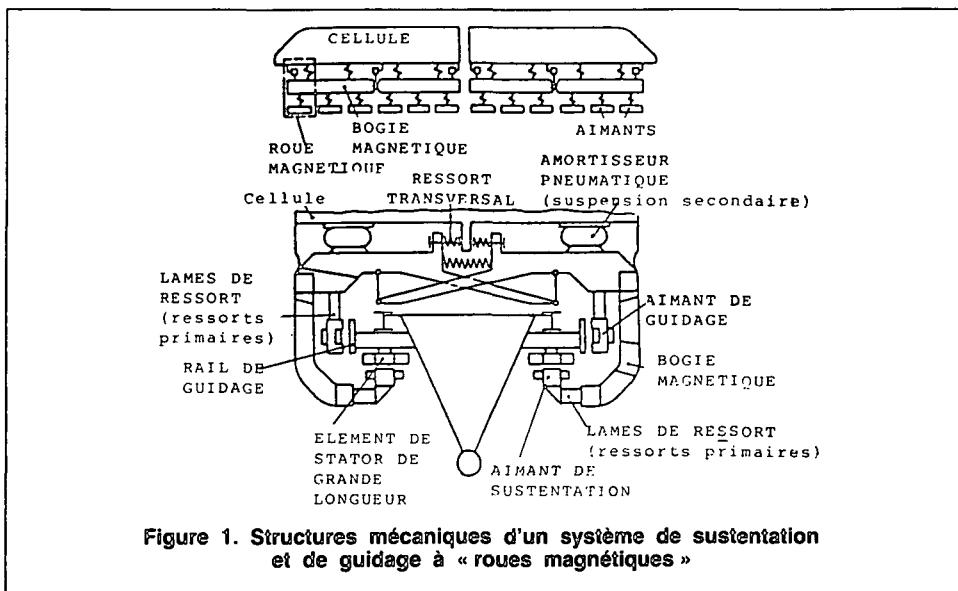
- réseau européen Transrapid ;

- études de corridors en république fédérale d'Allemagne (à la figure 14 est représentée un réseau en superposition) ;
- face à une concurrence internationale de systèmes roue/rail, il fut possible d'arracher l'adjudication de la city de Las Vegas pour une ligne de chemin de fer à grande vitesse reliant Las Vegas à Los Angeles. Sur la base des résultats, le système du train magnétique fut sélectionné pour la suite des études. La figure 15 en montre le tracé projeté, le tableau 10 représentant enfin la comparaison chiffrée entre le train magnétique et un train à grande vitesse du type roue/rail.

VI. Résumé

La présente communication ambitionne de mettre en lumière les jalons essentiels marquant les travaux de développement de grande envergure conduisant au système du train magnétique. Tandis que l'objet de la recherche vise pour le système roue/rail à appréhender les limites technologiques et à perfectionner dans ce sens le système, l'application du système du train magnétique fait encore défaut dans la vie pratique. Et pourtant, il s'agit de réaliser dès le premier pas une vitesse de pointe de 400 km/h. La mise à l'épreuve à échelle industrielle naturelle est exécutée sur l'installation d'essai Transrapid Emsland, circuit fermé par deux boucles en fin de parcours et qui doit être complété et achevé début 1986. Sur le circuit partiel déjà achevé, faisant une longueur de 21 km à peu près, la vitesse atteinte entre temps est de 302 km/h.

Avec le train magnétique, c'est un moyen de transport à grande vitesse qui prend forme et qui, pour diverses raisons, trouvera place entre les transports aériens et le système roue/rail. Les risques infimes qu'il représente pour l'environnement et les avantages qu'il dégage du point de vue de la consommation énergétique, ainsi que les temps de déplacement de porte à porte qu'il permet d'obtenir, comparés à ceux d'autres modes de transport, sont autant d'éléments militant en sa faveur.



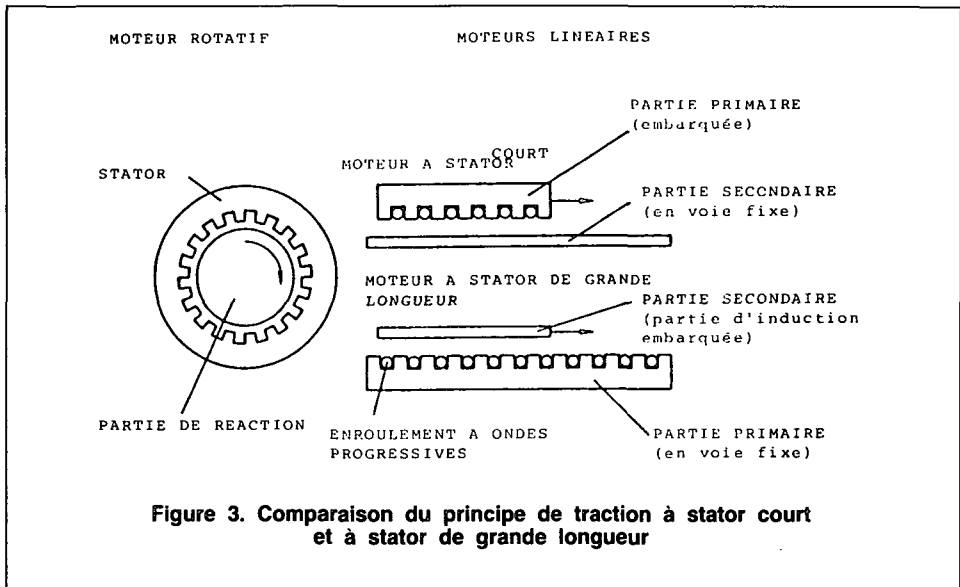


Tableau 1. Véhicules d'essais EMS I 1971 - 1974

	Véhicule de principe	Transrapid 02	HMB 2
Véhicule :			
Longueur (m).....	7,6	11,7	5,0
Poids total (t).....	5,8	11,3	2,5
Passagers	6	8	4
Traction	KST	KST	LST
V maxi (km/h)	90	164	30
Long. de trajet.....	660	930	100
Mise en service	1971	1971	1974

Tableau 2. Véhicules d'essais EMS 1974 - 1979

	Véhicule KOMET	Transrapid 04	Transrapid 05
Véhicule :			
Longueur (m).....	8,4	15,0	26,2
Poids total (t).....	9,6	20,0	36,0
Passagers	-	20	68
Traction	par moteur extérieur	KST	LST
V. maxi (km/h)	401	253	75
Long. de trajet (m).....	1 300	2 400	900
Mise en service	1974	1974	1979



Figure 4. Voie à deux poutres/béton et métallique

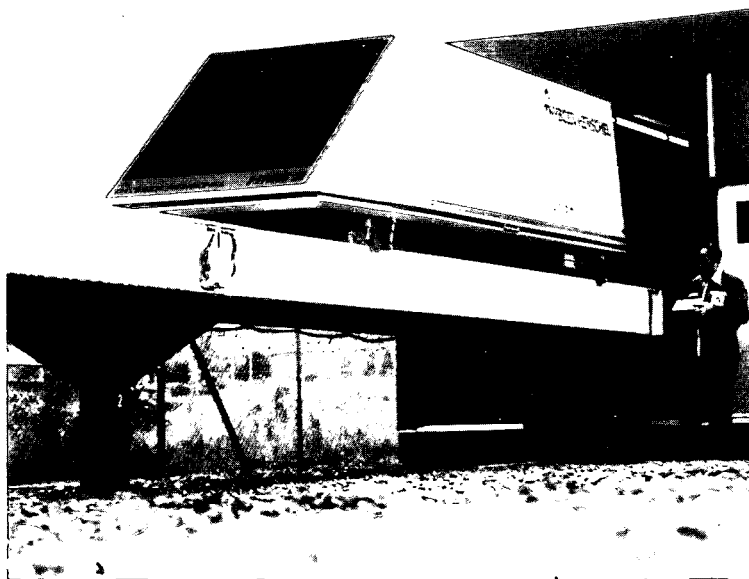


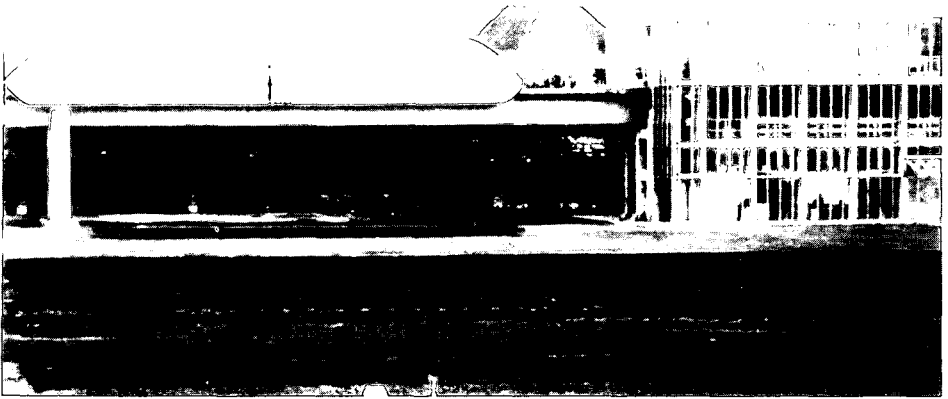
Figure 5. Véhicule d'essai HMB 2 (1974)

Tableau 3. Caractéristiques du tracé et de la voie métallique

Construction du support	Poutre monobloc à travée unique, charpente métallique
Longueur de ligne	908 190 m
Ecartement entre piliers (L)	de 15,44 m à 49,06 m
Rayon (horizontal)	R = 1 800 m
Flèche de la poutre verticale	L/2 000 sur L/1 000
Fondations	Fondations à plat
Piliers	Piliers jumelés en béton armé
Hauteur de montage	5,5 m de hauteur de passage libre

Tableau 4. Caractéristique du véhicule (IVA)

VÉHICULE TR 05	
Type de véhicule	à deux sections couplées
Longueur	26,24 m
Largeur	3,10 m
Hauteur	3,43 m
Traction	par moteur synchrone linéaire à stator de grande valeur
Puissance de traction maximum	28 kW
Vitesse de pointe	100 km/h
Frein de service	électrique (moteur linéaire)
Frein direct et de secours	4 freins à mâchoires pneumatiques par section
Poids total	36,0 t
Poids à vide	30,8 t
Charge utile	5,2 t



**Figure 6. Installation de démonstration à la IVA 79 de Hambourg :
68 passagers – 36 tonnes – 100 km/h**

Tableau 5. Entreprises responsables du projet

Composition du Consortium Magnetbahn Transrapid

AEG - TELEFUNKEN AG

BROWN BOVERI & Cie AG

DYCKERHOFF & WIDMANN AG

KRAUSS - MAFFEI AG

MESSERSCHMITT - BOLKOW - BLOHM GmbH (MBB)

SIEMENS AG

THYSSEN INDUSTRIE AG HENSCHEL

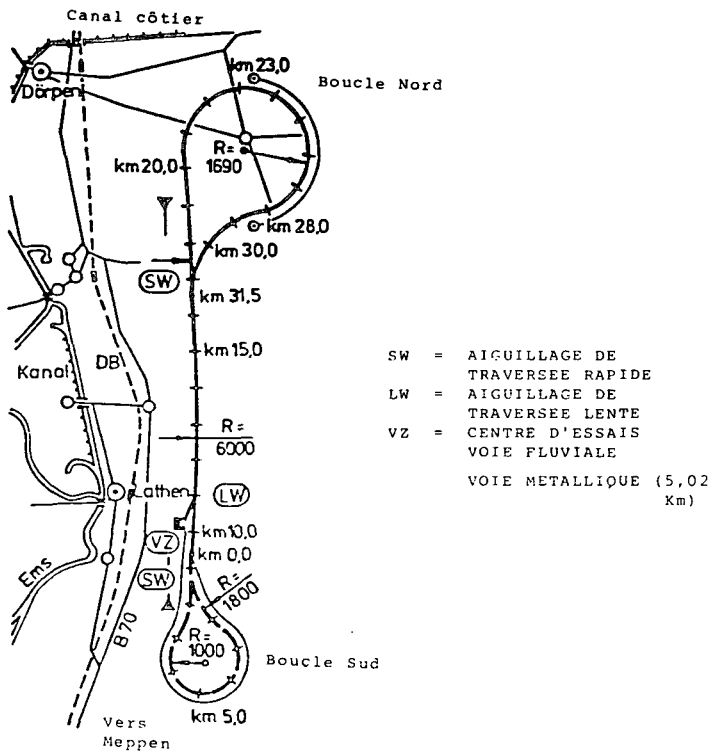


Figure 7. Plan topographique du TVE
 (Boucle Sud, construction du km 0,0 au km 10,9)



Figure 8. Installation d'essai Transrapid Emsland (TVE) - 1^{re} tranche de construction

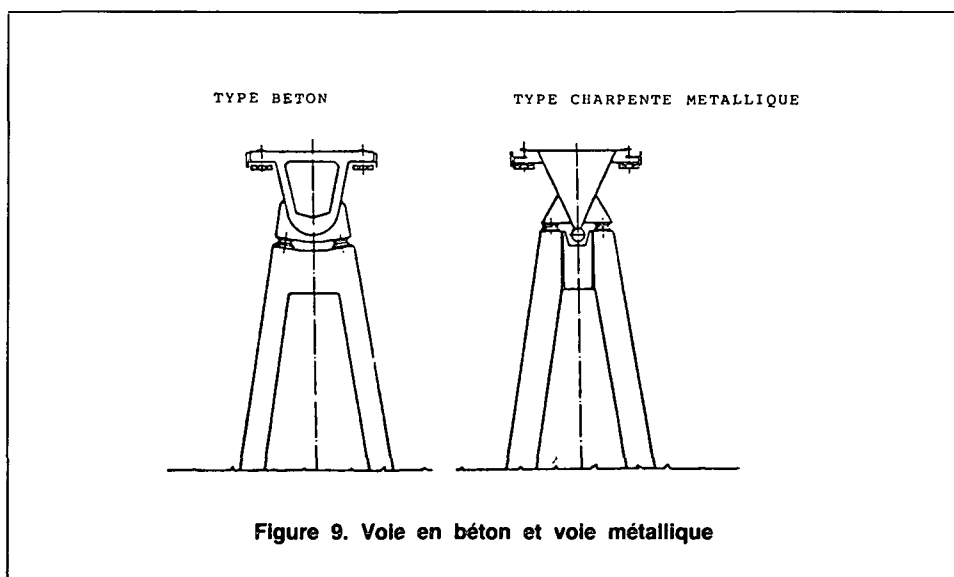


Figure 9. Voie en béton et voie métallique

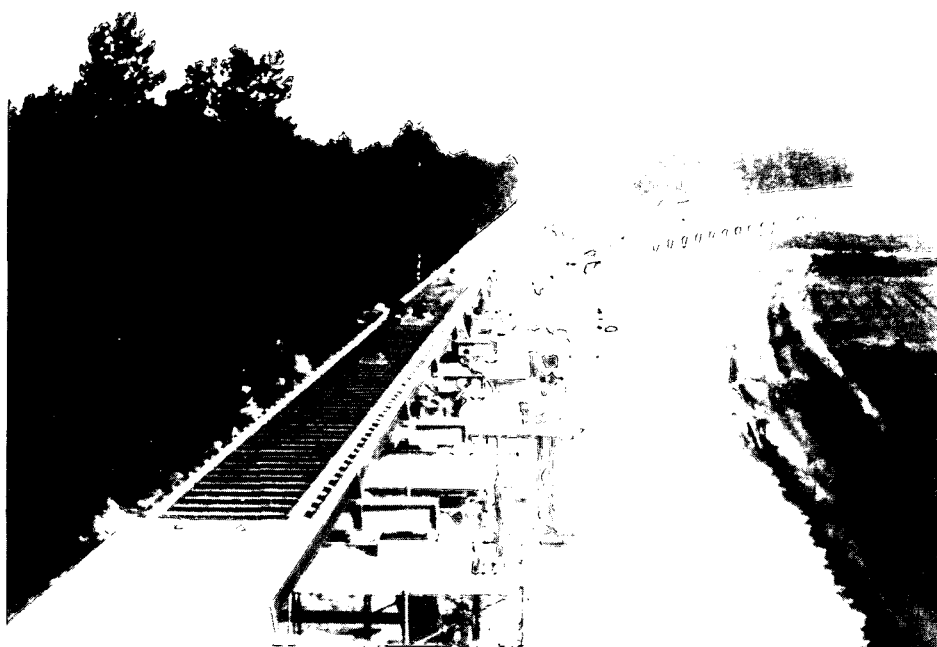


Figure 10. Aiguillage à élément flexible métallique. Position : traversée rectiligne

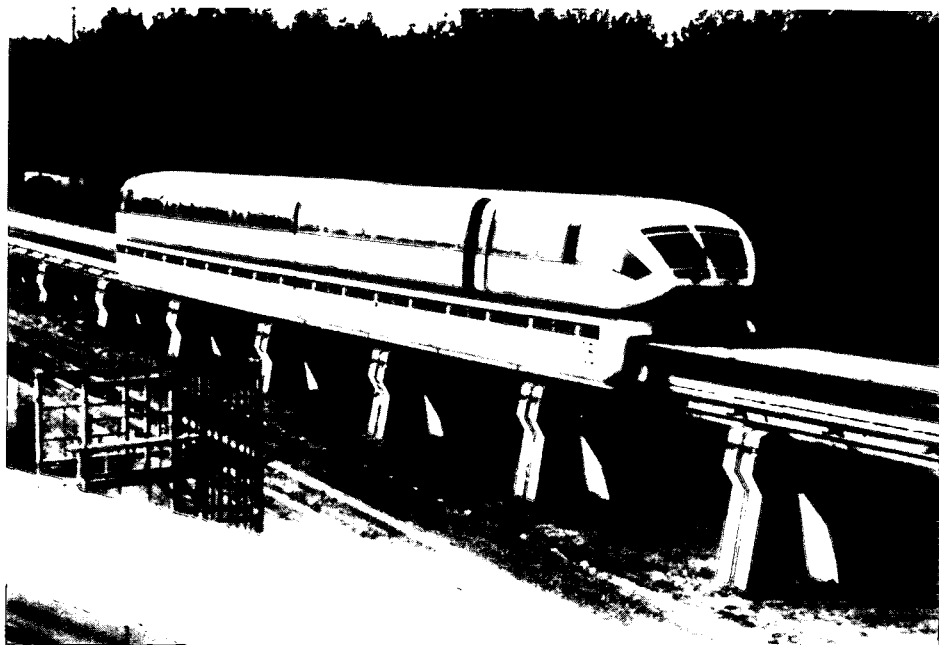


Figure 11. Transrapid 06 (196 places assises-120 tonnes-400 km/h)



Leitfahrbog
magnet

mag. f. h
Struktur

Figure 12. Transrapid 06 – Vue de côté d'une moitié de bogie de lévitation monte

Tableau 6. Conditions-cadre pour la réalisation de la boucle sud du TVE

Prise en compte de :

- expériences et résultats enregistrés dans la réalisation de la 1^{re} tranche de construction du TVE ;
- résultats enregistrés avec le programme technologique réalisé en vue de progrès d'innovation sur la BOUCLE SUD du TVE à titre d'ultime possibilité avant application du système ;
- éléments de connaissance et exigences spécifiques recueillis dans les études actuelles d'application du système de train magnétique, comme par exemple :
 - trajet en rampe ;
 - voie au sol ;
 - piliers spéciaux.

Réalisation du projet sous la responsabilité d'une entreprise-pilote, avec les avantages :

- d'une responsabilité confondue en une entreprise unique pour la technique et les coûts, garantie de fonctionnement ;
- de prix et délais de réalisation fermes ;
- d'une minimisation de la durée de chantier, suppression de coûts en fonction du temps ;
- de la suppression des problèmes d'interface entre entreprises dans la réalisation.

Tableau 7. Roue magnétique de sécurité (éléments et fonctions)

- ORGANES RÉGULATEURS DU COURANT D'ALIMENTATION DE 100 KHZ DE SÉCURITÉ
 - Suppression du cas de fonctionnement « raté de blocage »
 - Désexcitation assurée de l'aimant
- SURVEILLANCE SÛRE DE L'ENTRE-FER D'AIMANT
 - Suppression du cas de fonctionnement « instabilité de la régulation des aimants »
- LIMITATION SÛRE DU COURANT D'AIMANTATION
 - Assurance garantie de l'absence de tout contact en dépit du temps de désexcitation et de l'énergie cinétique du mouvement de l'aimant.

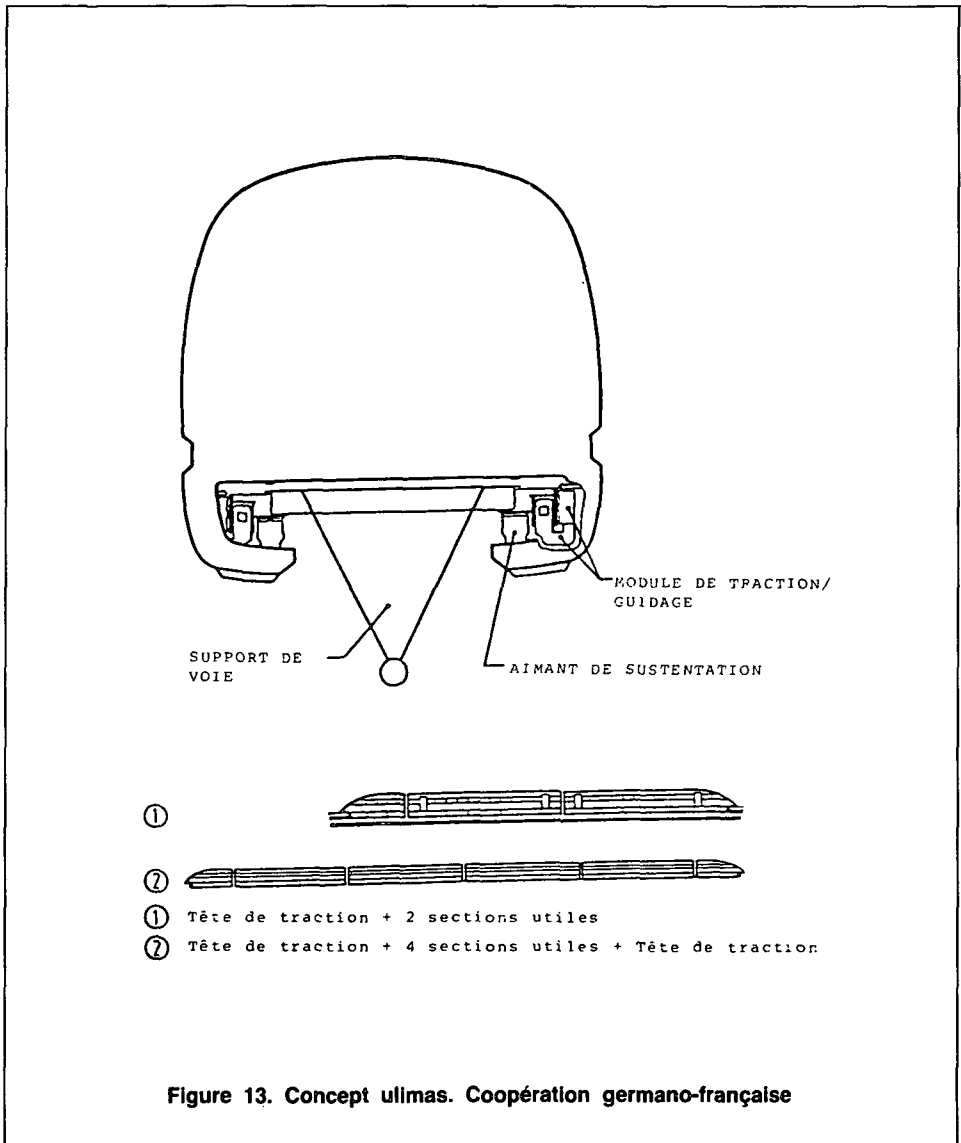


Tableau 8. Actions du train magnétique sur l'environnement

Faible encombrement d'implantation
 S'adapte au site du paysage
 Ne cause aucune pollution atmosphérique
 Fonctionnement plus rapide que d'autres systèmes de transport par voie ferrée
 Faible consommation d'énergie
 Fonctionnement plus silencieux que d'autres modes de transport.

Tableau 9. Paramètres pour le tracé de voie

Vitesse	200 km/h	300 km/h	400 km/h
Rayon de courbure minimum	1 000 m	2 250 m	4 000 m
Dévers de voie	12°	12°	12°
Rampe maximum.....	= 100 ‰	= 100 ‰	= 100 ‰
Largeur de voie (pour voie double)	7,00 m	7,20 m	7,90 m

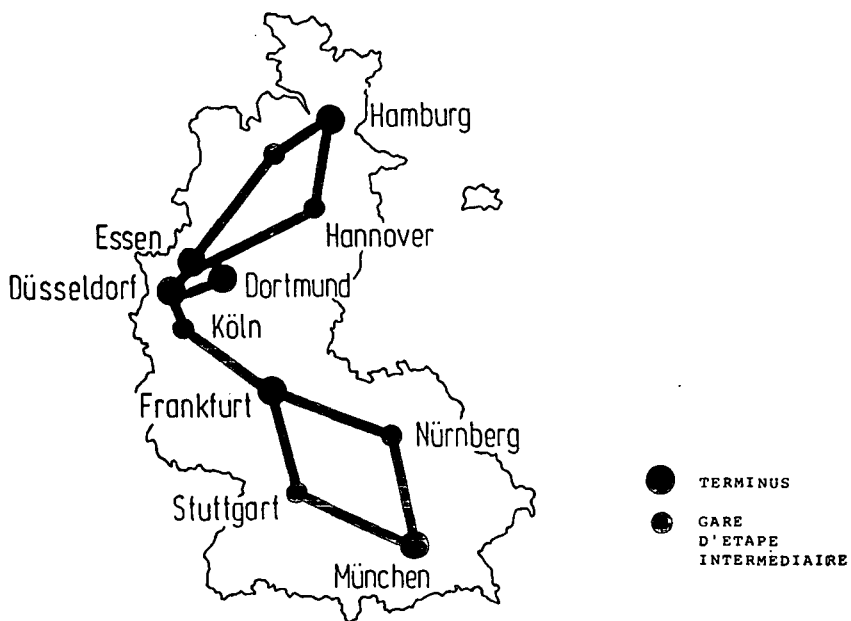


Figure 14. Lignes du transrapid

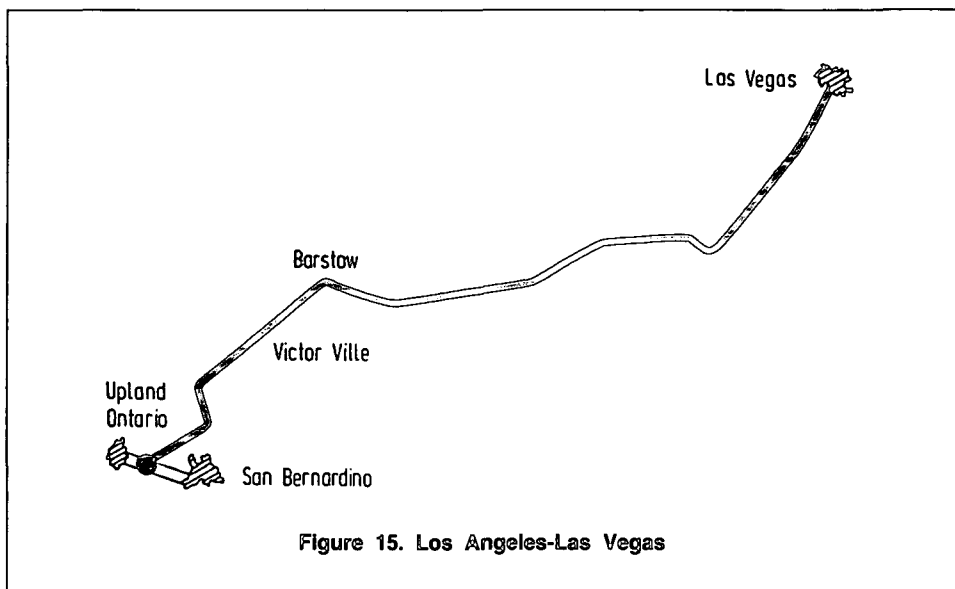


Tableau 10. Las Vegas - Los Angeles, résultats des études

	Train magnétique	Chemin de fer
Vitesse maximum.....	400 km/h	250 km/h
Durée de parcours	1 h 15 min	2 h 15 min
Longueur de la ligne	368 km	406 km
Sections de véhicule (à 100 passagers).....	40	77
Passagers/an	3 700 000	1 700 000
Trafic nouveau/an.....	2 000 000	1 000 000
Frais d'exploitation et de maintenance.....	33 000 000 \$	+ élevés
Frais d'investissement.....	1 780 000 000 \$	1 696 000 000 \$
Prix du voyage.....	50,00 \$	50,00 \$
Système ayant la préférence des visiteurs de Las Vegas.....	72 %	37 %

Réflexions stratégiques relatives à la configuration de l'offre d'un trafic à grande vitesse dans le cadre de l'offre globale « Trafic voyageurs à grande distance »

M. Krull
Deutsche Bundesbahn

RFA

La Deutsche Bundesbahn pourra-t-elle encore, dans 10 ans, 20 ans ou plus tard, offrir au plan commercial des prestations de transport par fer en trafic voyageurs, et dans quelle mesure ? Pour répondre à cette question, il faut se demander avant tout dans quelle mesure elle pourra utiliser les potentiels existants et en créer de nouveaux. C'est en eux que résident les chances de gain de l'avenir, même s'ils occasionnent certains coûts durant leur phase de mise en place !

I. Evolution du marché en trafic voyageurs à grande distance

Le marché sur lequel nous opérons offre les meilleures conditions préalables. Il est extrêmement grand et la demande de prestations de trafic voyageurs est très favorable. Depuis des décennies, nous enregistrons une expansion plus ou moins importante et les prévisions dont nous disposons aujourd'hui promettent pour l'avenir de nouveaux taux de croissance. Néanmoins, nous – le chemin de fer – n'avons malheureusement pratiquement pas profité de cette évolution. Mis à part la prédominance du trafic individuel, les gains de parts de marché, notamment des concurrents avion et autocar, sont alarmants. Ils sont parvenus à réaliser, au cours des années écoulées, ce que nous n'avons manifestement pas su faire : susciter une nouvelle demande. Et pourtant, le chemin de fer n'est nullement resté inactif. Cependant, toutes les innovations réalisées jusqu'à présent :

- Réseau de trains F
 - TEE
 - Réseau IC de 1^e classe toutes les deux heures
 - Réseau IC de 2^e classe toutes les heures,
- avec leur cohorte d'amélioration de détail (telles que téléphone et secrétaires dans le train, offre « Rail-and-Road »), n'ont pu endiguer les pertes de parts de marché du trafic voyageurs à grande distance.

Pour stopper cette évolution et l'inverser à notre profit, nous avons dit qu'il nous fallait avant tout créer des potentiels. Pour y parvenir, nous devons mettre en place les conditions en vue d'actions progressives.

II. Politique de produit

C'est la politique de produit qui est au centre du comportement d'initiative, étant à noter que nous devons nous orienter sur les critères qui nous valent la supériorité au sein de la concurrence.

Pour ce faire, nous commençons par établir un diagnostic nous permettant de constater dans quelle mesure nos produits actuels, compte tenu de leur utilité de base et supplémentaire, sont à même de satisfaire les vœux de la clientèle et de résoudre ses problèmes de demande. Par utilité de base, nous entendons la configuration de la qualité du produit proprement dite ; par utilité supplémentaire la configuration de l'extérieur du produit (p. ex. couleur, design) ainsi que les autres facteurs influençant l'utilisation tels que le nom du produit, son prix, les effets de rationalisation internes à l'entreprise. Même si le diagnostic concernant chacun des produits a des résultats différents, il nous permet néanmoins de constater que si l'actuelle politique commerciale se poursuit sans changements notables, la tendance à perdre des parts de marché ne pourra être modifiée.

Les grandeurs d'influence les plus importantes de ce solde négatif sont les vitesses d'acheminement, trop faibles par rapport aux concurrents. Il importe au plus haut point de noter que l'une des causes essentielles de cette situation est l'existence, dans le réseau ferré, de goulets infrastructurels.

Tandis que les concurrents assistaient, grâce à une succession ininterrompue de mesures d'infrastructures (p. ex. 47 000 km de grandes routes ont été construits depuis 1950 contre 17 km seulement de lignes nouvelles), à une amélioration constante et considérable de leurs possibilités d'offre, une multitude de goulets conditionnés par l'infrastructure ont conduit à l'insatisfaction de la demande existante, car certaines lignes sont surchargées. D'autre part, et ceci est plus grave, ces goulets empêchent l'émergence d'une demande possible, car les tracés ne permettent pas d'offrir des durées de parcours qui, par rapport aux distances couvertes par l'avion, aient un véritable impact sur le marché.

Dans le cadre du présent symposium, cet aspect est examiné de manière approfondie dans l'exposé de M. Wegel intitulé « Les effets des grands projets d'infrastructure sur la demande en trafic ferroviaire voyageurs à grande distance ».

Il est également primordial de noter que la prestation offerte s'apprécie en fonction des attentes de l'utilisateur. En effet, le succès des différentes prestations ne dépend pas seulement des données objectives, mais au moins autant de la manière subjective dont est perçue la prestation. Ainsi, les attentes que l'utilisateur place dans une prestation sont modelées également par les mesures publicitaires ou les influences sociales (p. ex. déclarations des leaders d'opinion).

En résumé, il s'agit donc pour nous :

- de créer des produits qui, compte tenu des objectifs coûts-avantages, répondent aux besoins actuels et probablement futurs des demandeurs actuels et potentiels,
- et de veiller, par des mesures de communication appropriées, à ce que les prestations, alors objectivement bonnes, soient ressenties comme telles par lesdits demandeurs.

III. Exigences auxquelles doit répondre le produit du trafic ferroviaire voyageurs à grande distance

Les critères relatifs à ces exigences peuvent être :

- formulés à partir des enseignements tirés de la prospection de marché ;
- et déduits des profils de points forts-points faibles de nos produits actuels et de ceux de nos concurrents, avec obligation pour nous, bien sûr, de tenir compte de leurs possibilités potentielles de nouvelles améliorations.

Nous avons regroupé les exigences essentielles en deux blocs principaux :

- réalisation de l'objectif à imposer à la vitesse du système (« deux fois plus vite que l'auto, deux fois moins vite que l'avion »),
- concentration sur les points forts du chemin de fer : ponctualité, confort, espace, communication, paysage.

Les chances d'obtenir une supériorité au niveau du produit en satisfaisant à ces exigences sont favorables, car :

- le seul avantages spécifique de l'avion réside dans sa vitesse ;
- l'autocar répond en premier lieu à la caractéristique de confort « paysage » et compense une vitesse qu'il ne peut atteindre par la flexibilité individuelle.

IV. Planification du système et de l'offre

Pour le *premier bloc principal*, nous commençons par déterminer, respectivement, pour toutes les relations dans lesquelles sa réalisation permet de mobiliser des potentiels de l'ampleur nécessaire, le positionnement optimal. Celui-ci dépend :

- de la vitesse de la liaison aérienne,
- des possibilités que peuvent escompter les concurrents,
- de l'incidence sur l'évolution du rapport coûts-avantages.

Si nous limitons tout d'abord nos réflexions stratégiques relatives à la configuration de l'offre d'un trafic à grande vitesse au tournant du millénaire, il nous faut opposer au positionnement optimal le « positionnement réalisable », qui résulte :

- des conditions d'infrastructure en présence,
- des améliorations, réduites à court et à moyen terme, de l'infrastructure par des mesures d'aménagement de lignes existantes et de construction de lignes nouvelles.

Pour ces positionnements, on détermine en faisant appel à des calculs de prévisions et de modèles théoriques, pour les corridors considérés, le volume de voyageurs auquel il faut respectivement s'attendre et on le répartit par les itinéraires les plus sur les lignes retenues. Une fois les nombres de trains nécessaires calculés, on définit, par ligne, la fréquence de l'offre de trains et, en fonction des structures des demandeurs et des segments de marché, le choix des systèmes de trains pour les différentes exigences.

Exemples :

système de trains A :

trafic à grande vitesse ; trains qui établissent en trafic cadencé les liaisons rapides entre les grandes agglomérations ayant un nombre minimum d'habitants déterminés.

système de trains B :

complément au système A ; trains reliant en trafic cadencé des centres moyens ou supérieurs importants.

système de trains C, D :

...trains destinés à certains groupes-cibles et segments de marché spéciaux (p. ex. transport de vacanciers).

V. Planification du produit

Compte tenu du *second bloc principal* ainsi que des conditions et des influences résultant de la structure polycentrique du réseau ferré de la république fédérale d'Allemagne, on procède à la planification de l'offre proprement dite en prévoyant chacune des lignes comme condition préalable à la conception des produits du trafic ferroviaire voyageurs à grande distance.

La planification des différentes lignes pour les différents systèmes de trains est fonction :

- de la distribution des courants de voyageurs,
- de la mise en place de liaisons directes ayant des répercussions sur le marché,
- des possibilités de raccordement à d'autres lignes,
- de la capacité des lignes et des gares.

La planification du produit est d'abord fonction :

- des structures des demandeurs et des segments de marché,
- des possibilités de formation de trains ;
- de la charge des trains ;
- des coûts de production et des recettes réalisables.

VI. Exigences auxquelles doivent répondre les trains à grande vitesse

Les positionnements qui résultent des critères des deux « blocs principaux » pour la politique de produit future des offres de trafic à grande distance de

la DB constituent la base des exigences de marché à imposer aux véhicules en vue de définir :

- la vitesse de marche maximale,
- le confort,
- les aménagements intérieurs,
- les installations de communication,
- les installations destinées au service à la clientèle,
- le design.

Les exigences de marché à imposer aux véhicules sont alors harmonisées, dans un processus d'optimisation, avec les possibilités techniques des véhicules compte tenu des conditions marginales d'infrastructure et de production, de manière à ce que leur mise en œuvre ultérieure garantisse la satisfaction des objectifs qu'on s'est fixés en matière de coûts/avantages.

Paramètres des lignes nouvelles et leur optimisation sous des aspects micro-économiques

M. Linkerhägner
Deutsche Bundesbahn

RFA

Les limites de l'infrastructure « rail »

Dans la chronique de Francfort de l'année 1848, on peut lire notamment la phrase suivante :

« Les cochers de fiacre arrachent les rails de la ligne du Taunus, car le chemin de fer leur ôte le pain de la bouche ».

Cette brève notice illustre de manière exemplaire la supériorité technique et économique du rail qui, à l'époque, semblait sans bornes et a conduit à une restructuration totale des transports. Aux côtés du développement industriel, le trafic ferroviaire a mis en branle l'essor économique, ce qui a suscité l'amélioration graduelle des conditions sociales dans les nations dites industrialisées.

Limites techniques

Depuis lors, les limites techniques ont considérablement reculé. Les chemins de fer réalisent aujourd'hui couramment des vitesses allant jusqu'à 270 km/h ; en parcours d'essai, la SNCF a atteint les 380 km/h et au banc d'essai de roulement, la DB simule des vitesses allant jusqu'à 500 km/h.

De même les charges remorquées ont considérablement augmenté, pour atteindre des ordres de grandeur de 500 à 1 000 tonnes en trafic voyageurs et jusqu'à 5 000 tonnes en transports spéciaux de marchandises.

Les rampes qui restent à vaincre atteignent en trafic voyageurs jusqu'à des valeurs de l'ordre de 50 ‰ et, en trafic marchandises, avec des unités bien chargées de 1 000 à 2 000 tonnes, elles sont de l'ordre de 10 à 20 ‰. Les facteurs décisifs sont en l'occurrence les influences des possibilités limitées de transmission des efforts au démarrage et au freinage, des efforts admissibles au crochet et des coûts de traction (puissance installée). En même temps, les besoins spécifiques en énergie sont tombés à près de 1/3 des valeurs antérieures (locomotives à vapeur) et l'infrastructure « rail » se distingue également par des valeurs inégalées dans les questions

d'environnement que sont les besoins en superficie, l'émission de bruit, la pollution de l'air ainsi que la sécurité.

Par conséquent, l'infrastructure « rail » constitue, au fond, un moyen de transport qui permet d'effectuer d'une manière très bonne et satisfaisante tous les transports terrestres selon les exigences de chacun.

Malgré tout, les limites du transport par fer nous paraissent aujourd'hui beaucoup plus étroites que par le passé.

En effet, le 20^e siècle a vu l'émergence d'autres techniques de transport supplémentaires, qui restreignent la latitude du chemin de fer. Il s'agit notamment de l'automobile et de l'avion, mais aussi de la traditionnelle navigation intérieure, dont le développement s'est poursuivi.

A cet égard, l'automobile, jouissant d'une meilleure tenue en courbe et en côte ainsi que d'une accessibilité et d'une disponibilité inégalée, constitue une alternative pour les transports en petites unités dans la gamme des petites et moyennes distances.

L'avion, quant à lui, possède du fait de sa vitesse élevée un atout dont il use notamment en transport de voyageurs sur longues distances.

Limites économiques et tâches

Dans ces conditions, les prétentions de marché du chemin de fer se superposent à celles des autres modes de transport. Son offre différenciée impose au chemin de fer des limites économiques, qui sont nettement plus étroites que ses possibilités techniques considérées en soi.

Le rail doit donc abandonner les domaines dans lesquels la supériorité technique et économique des concurrents est devenue écrasante, ou bien se restructurer en coopérant avec le véhicule automobile.

Il s'agit en général des domaines à potentiel de trafic assez restreint, c'est-à-dire la zone à habitat faible et clairsemé, et en trafic voyageurs des distances d'acheminement entre 800 et 1 200 km suivant la structure géographique et sociale.

Par conséquent, il est nécessaire de renforcer les secteurs fondamentaux demeurés sains, c'est-à-dire le trafic urbain et régional des grandes agglomérations d'une part et le trafic lointain à forts courants en transport de voyageurs et de marchandises d'autre part. C'est en effet dans ce domaine que le rail, si l'on considère l'ensemble du développement technique discernable en matière de transports, se verra confier encore longtemps des tâches importantes qu'il doit assumer au profit de l'économie générale. Le chemin de fer a donc le devoir de poursuivre l'amélioration de son infrastructure en aménageant les lignes existantes et en construisant des lignes nouvelles, tout en veillant à ce que ces installations soient conçues pour répondre de manière optimale aux fonctions qu'elles doivent assumer et à garantir une liberté d'action adéquate pour les développements futurs.

Les paramètres de tracé des nouvelles lignes ferroviaires en fonction de différents programmes d'exploitation

Les paramètres de tracé des lignes nouvelles sont fonction de l'utilisation prévue.

En dehors des lignes destinées exclusivement au trafic marchandises, les installations modernes permettant un trafic voyageur rapide obéissent à deux principes différents :

- la ligne spéciale destinée au seul trafic voyageurs qui, du fait des rayons relativement faibles accompagnés d'importants dévers et de rampes élevées, exclut tout trafic de marchandises,
- la ligne universelle qui, dans la forme traditionnelle et tout comme la route, permet aussi bien un trafic voyageurs rapide qu'un trafic marchandises lent et comporte des rayons relativement grands et de faibles valeurs de dévers et de rampes.

Une représentation logarithmique nomographique permet d'illustrer les relations entre les dévers, la vitesse et le rayon sous une forme linéaire.

Trafic exclusivement voyageurs

– A partir d'une valeur de dévers \ddot{u} et d'insuffisance de dévers \ddot{u}_i , choisie comme valeur maximale admissible, on obtient par la vitesse maximale envisagée le rayon minimal nécessaire de la ligne pour trafic voyageurs (fig. 1).

– En faisant varier les valeurs \ddot{u} et \ddot{u}_i , on obtient des variations sensibles du rayon minimal nécessaire (fig. 2). En même temps, il y a variation du confort de marche et des charges d'entretien à escompter.

En pratique, on a réalisé, pour la gamme économique de vitesses de 250 à 300 km/h, des rayons allant de 3 000 à 4 000 m, étant à noter que tant à la SNCF qu'aux chemins de fer japonais, la valeur de 4 000 m est appliquée, mis à part certaines exceptions réelles. On évolue ainsi dans une plage qui garantit une sollicitation relativement favorable des composantes et un bon confort de marche. C'est ainsi qu'à 270 km/h, pour un rayon de 4 000 m, la somme du dévers et de l'insuffisance de dévers n'est que d'environ 215 mm et qu'elle atteint, même à 300 km/h, la valeur toujours acceptable de 265 mm ($\ddot{u} = 180$ mm, $\ddot{u}_i = 85$ mm).

En ce qui concerne la conception en matière de gradient, on a réalisé jusqu'à présent des rampes allant jusqu'à 35 ‰ (Paris-Lyon), qui peuvent être franchies sans difficulté du point de vue du véhicule. Il est donc possible, en cas de relief peu accidenté, d'effectuer à peu de frais une adaptation du tracé, point sur lequel nous reviendrons plus en détail dans la suite.

Trafic mixte

En trafic mixte, le tracé doit tenir compte des impératifs du trafic voyageurs et du trafic marchandises.

Les conditions en matière d'inclinaison sont dictées à l'évidence par le trafic marchandises. C'est ainsi par exemple que, dans le cas d'une rampe de 12,5 ‰, avec une locomotive à 6 essieux (BR 151) la charge-limite de

démarrage est atteinte pour une charge remorquée d'à peine 1 600 tonnes. En double traction, on peut acheminer des charges de près de 2 100 tonnes avant d'atteindre la charge-limite au crochet.

Par contre, en cas de rampe de 18 ‰, l'effort-limite au crochet est atteint si rapidement que des masses brutes remorquées de 1 550 tonnes ne sont déjà plus possibles.

Comme dans le tracé classique, les rampes sont donc maintenues au niveau le plus faible possible. A la DB, la valeur de 12,5 ‰ est appliqué comme limite supérieure.

Lorsqu'on établit le plan du tracé, il convient de respecter non seulement une insuffisance de dévers admissible pour les trains rapides, mais aussi un excès de dévers admissible \ddot{u}_v pour les trains les plus lents.

Sur la base des vitesses de ligne envisagées, c'est donc la somme de \ddot{u}_i et de \ddot{u}_v qui détermine la valeur du plus petit rayon de courbure (fig. 3). Si l'on rapproche les vitesses de ligne, par exemple en augmentant la vitesse prévue pour les trains de marchandises, les conditions se modifient dans le sens de la ligne spéciale (fig. 4).

Le même effet intervient également lorsqu'on peut partir de tonnages de marchandises quotidiens plus faibles, qui permettent de dimensionner plus largement l'excès de dévers (fig. 5).

Dans les deux cas, le dévers à prévoir peut être choisi plus grand et des rayons plus faibles suffisent. En d'autres termes, le rayon impose, pour certaines valeurs de \ddot{u}_i et \ddot{u}_v et à vitesse maximale donnée, des valeurs nécessaires de V_{min} et de \ddot{u} , comme le montre la fig. 6.

Par conséquent, on obtient par exemple, en ce qui concerne la vitesse maximale possible, pour un rayon donné $R = 5\ 100$ m, en augmentant la vitesse des trains de marchandises et en limitant les tonnages journaliers (augmentation de \ddot{u}_v), les possibilités de variation suivantes (fig. 7) :

1. Augmentation de la vitesse des trains de marchandises

1.1 $V_{min} = 100$ km/h (Tm (t) \geq 60 000)
 $V_{max} = 260$ km/h

1.2 $V_{min} = 120$ km/h (Tm (t) \geq 60 000)
 $V_{max} = 270$ km/h

2. Limitation des tonnages quotidiens

2.1 Tm (t) \leq 60 000 ($V_{min} = 80$ km/h)
 $V_{max} = 270$ km/h

3. Augmentation de V_{min} et limitation de Tm

3.1 $V_{min} = 100$ km/h (Tm (t) \leq 60 000)
 $V_{max} = 270$ km/h

3.2 $V_{min} = 120$ km/h (Tm (t) \leq 60 000)
 $V_{max} = 280$ km/h

Dans cette mesure, même pour un tracé déterminé, il existe encore en trafic mixte certaines latitudes qui, par nature, peuvent être influencées en outre par l'expérience acquise en exploitation pratique avec les valeurs d'insuffisance et d'excès de dévers qui sont à la base du tracé.

Incidences de la structure du terrain sur les coûts d'infrastructure compte tenu des éléments de tracé respectifs

Lorsqu'on compare différentes lignes nouvelles, on constate que les besoins d'investissement dépendent d'un grand nombre de conditions marginales, notamment :

- densité de population, habitat et infrastructure ;
- niveau des prix et des salaires ;
- structure du terrain et géologie ;
- paramètres du tracé et usage auquel la ligne est destinée.

Ainsi, du fait de la densité de population plus faible, du niveau inférieur des prix et des salaires et d'un relief moins accidenté accompagnés d'une utilisation limitée au seul trafic voyageurs à grande distance, les projets français sont dans une position avantageuse par rapport aux lignes nouvelles de la DB. En ce qui concerne le niveau de prix et l'image de prestations, ceci est également valable jusqu'à un certain point pour le Shinkansen japonais ; en revanche, celui-ci rencontre parfois des conditions topographiques encore moins favorables que les lignes nouvelles en construction en république fédérale, notamment par rapport à la section de ligne nouvelle Karlsruhe-Offenburg relativement peu coûteuse située dans la vallée fortement exploitée du Rhin supérieur, dont le projet est en cours de mise au point. Au niveau actuel des prix, la comparaison entre les projets de lignes nouvelles français, japonais et allemands offre, en chiffres ronds, un éventail étonnamment large.

Lorsqu'on considère certaines relations, les influences sont dues à :

- un niveau différent de prix/prestations,
- des différences en matière d'habitat, d'infrastructures et de densité de population.

Il reste l'influence décisive sur les coûts du tracé et du relief. Pour autant qu'il s'agit de la relation importante entre la section longitudinale du terrain et la section longitudinale du tracé, on peut la représenter sous forme de modèle.

Pour cela, la surface du terrain est représentée dans la forme idéalisée d'une ligne brisée de terrain présentant des flancs d'inclinaisons et de longueurs différentes, que le tracé s'efforce de suivre le mieux possible. A mesure que l'inclinaison et la longueur des flancs augmentent, il apparaît de plus en plus de tronçons dans lesquels les terrassements importants ainsi que la construction de tunnels et de ponts deviennent indispensables (fig. 8 et 9).

Selon l'inclinaison de gradient du tracé de la ligne, ces nécessités onéreuses se font sentir tôt ou tard.

Les coûts de la ligne pour une inclinaison maximale de tracé de 12,5 % et de 35 % et des flancs de terrain de longueurs et de pentes différentes, se décomposent de la manière suivante : les charges augmentent de manière générale à mesure que s'accroît l'inclinaison des flancs du terrain ; il faut noter que, dans le tracé à 35 %, la nécessité des ouvrages d'art se manifeste beaucoup plus tardivement. Ce fait est particulièrement marqué dans la plage des grandes longueurs de flancs de terrain et s'estompe largement en

présence d'un terrain accusant de nombreux accidents de courte longueur d'onde.

On constate en outre que, dans le cas de très fortes rampes, donc en relief montagneux, il n'y a pratiquement plus de différence de coûts entre les tracés à rampes différentes, alors qu'elle est particulièrement marquée dans la plage de 20 à 70 %.

Les différences ou les économies de coûts les plus grandes peuvent donc être obtenues lorsque le terrain présente des flancs de longueur importante et d'inclinaison moyenne.

L'ampleur des différences que peut accuser le terrain apparaît à titre d'exemple dans la comparaison de certaines sections de la ligne nouvelle de la SNCF avec des sections typiques de trois études en vue d'une liaison des régions Rhin/Ruhr et Rhin/Mein (fig. 10). Contrairement au relief favorable de la ligne française, il manque au relief allemand, la transition douce entre le creux et les bosses. Souvent, le passage s'opère plutôt sous forme de dénivellations très abruptes et très grandes survenant à l'improviste, que même des rampes de 35 % ne sauraient vaincre sans tunnels ni grands viaducs.

Il s'agit :

- du tracé de Westerwald ;
- du tracé Hagen-Friedberg ;
- du tracé via Koblenz (Figure 16).

D'après ce qui a été dit à propos du modèle considéré ci-dessus, la réalisation d'une rampe de 35 % n'apporterait que de faibles avantages. Les résultats d'études correspondantes, où l'on a comparé 12,5 % à 35 % sont les suivants :

Tracé de Westerwald

Ouvrages d'art	38 % - 15 %
Coûts.....	100 % - 87 %

Tracé Hagen - Friedberg

Ouvrages d'art	60 % - 45 %
Coûts.....	100 % - 91 %

Tracé via Koblenz

Ouvrages d'art	51 % - 45 %
Coûts.....	100 % - 97 %

Les deux lignes nouvelles en construction à la DB présentent essentiellement un relief accidenté analogue à l'étude de tracé qui vient d'être examinée. En outre, il existe notamment dans le tracé Mannheim-Stuttgart de la plaine du Rhin supérieur, des sections plates au voisinage de zones à grande densité d'habitat et d'infrastructure, dans lesquelles un tracé à fortes rampes promet également peu de gains.

Des études correspondantes concernant la section Rethen-Kassel de la ligne nouvelle Hannover-Würzburg et la ligne Mannheim-Stuttgart ont fait apparaître les différences de coûts suivantes entre 12,5 et 35 % :

Ligne nouvelle Hannover - Würzburg (Rethen - Kassel)

Coûts..... 100 % - 89 %

En adoptant en plus un R = 3 250 m au lieu de 5 100 m

Coûts..... 100 % - 85 %

Ligne nouvelle Mannheim - Stuttgart

Coûts..... 100 % - 90 %

En adoptant en plus un R = 3 250 m au lieu de 5 100 m

Coûts..... 100 % - 87 %

Ces résultats concordent eux aussi avec l'approche de modèle déjà réalisée. Les deux lignes nouvelles accusent en effet, comme l'indiquent nettement les courbes cumulées de la figure 11, un nombre relativement grand de flancs de terrain courts (à gauche) et abrupts (à droite), deux critères qui ne laissent espérer que de faibles économies et sont en nette opposition avec les courbes analogues également représentées de la ligne Paris-Lyon et d'une ancienne étude Francfort-Paris.

Ce phénomène réapparaît en figure 12. Contrairement au tracé Paris-Lyon ou à l'étude Francfort-Paris, il n'y a qu'une faible proportion de ligne dans la zone centrale où des économies sont possibles, ainsi qu'on l'a déjà indiqué dans la plage des longueurs de flancs plus courtes.

L'influence du rayon de courbure très réduit dans les études de lignes nouvelles précitées, dans l'optique d'une ligne à trafic purement voyageurs, est faible par rapport à l'influence de l'inclinaison plus forte du tracé. C'est là un résultat pour lequel il convient de noter en outre que les nouveaux tracés qui y sont liés ne sont que des « tracés sur le papier » qui, par nature, n'ont pas été harmonisés et ne sauraient être soumis à une comparaison équivalente avec des tracés qui l'ont été largement.

Optimisation des paramètres de ligne en fonction de programmes d'exploitation et de coûts de ligne

En trafic mixte, les possibilités de réduction des rayons et d'économies correspondantes sont très faibles. Une diminution sensible des charges n'intervient que si l'on abaisse considérablement la vitesse maximale, ce qui est hors de question vu l'écho que les brefs temps de parcours ont enregistré sur le marché lors des succès remportés par de nombreuses lignes à grande vitesse.

En ce qui concerne les rampes, le cadre est également étroit dès lors qu'il est nécessaire d'acheminer une grande partie du trafic marchandises sur les lignes nouvelles. En conséquence, les éventuelles économies à comparer aux charges de traction accrues sont également minimales.

L'analyse de la section de la ligne Hannover (Rethen)-Kassel de la ligne nouvelle Hannover-Würzburg, encore disponible en 1977, a conduit à l'époque, lorsqu'on a comparé des gradients de 12,5 et de 18 ‰, à constater que l'économie d'investissement d'un peu plus de 2 % était anéantie par un surcroît permanent de charges qui ne laissait espérer aucun avantage durable. A noter qu'il fallait prendre en compte, du côté des investissements, un

intérêt réel de 3 à 3,5 % ainsi que l'économie dans l'amortissement et l'entretien. Ceci était contrebalancé par les besoins supplémentaires de personnel, d'énergie ainsi que d'entretien, d'amortissement et d'intérêt lors de l'exploitation.

Vu les avantages importants garantis par la présence réciproque de lignes existantes et de lignes nouvelles à 12,5 %, et la possibilité de faire circuler des charges dépassant 2 000 tonnes sur la ligne nouvelle, il convenait dans ces conditions de s'en tenir à la pente de 12,5 %.

En exploitation non mixte, le tableau est quelque peu différent. En l'espèce, il faut profiter en tout état de cause de l'avantage offert par le rayon de courbure plus faible, qui peut aussi aider à faire accepter plus facilement les mesures. Pour les rampes, on peut rechercher un optimum, en poussant, selon la ligne, jusqu'à un ordre de grandeur de 50 %. Encore que les économies par rapport à un tracé plat ne soient pas très grandes en relief montagneux de hauteur moyenne, elles peuvent néanmoins parfois, en cas d'inclinaisons longitudinales de cette importance, devenir telles que le surcroît de coûts d'exploitation s'en trouve largement compensé.

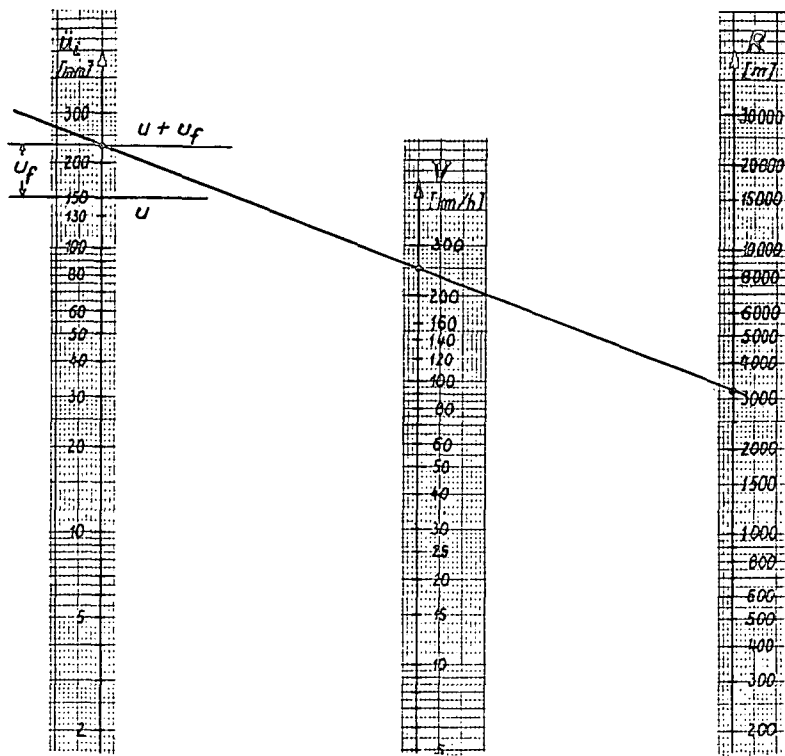
La nouvelle relation Köln-Rhein-Main, dont l'inscription au planning 85 des infrastructures fédérales de transport est actuellement envisagée et qui doit ramener le temps de parcours de deux à une heure, est une ligne de ce type pour trafic voyageurs. Le potentiel actuel de cette relation restera suffisant à l'avenir (3 lignes) en cas d'allègement de certaines parties du trafic voyageurs à grande distance ; mais d'autre part, c'est elle qui possède le potentiel de trafic voyageurs le plus grand de toute la république fédérale d'Allemagne, de sorte qu'un taux d'occupation suffisant de la nouvelle ligne sera également assuré.

Dans les études effectuées ici avec $R = 3\,250\text{ m}$, où d'éventuelles rampes de 18, 25, 35 et 45 % ont été prises en compte, on a pu constater que dans ce projet, il n'était pratiquement plus possible d'obtenir d'autres diminutions des charges d'investissement de la ligne à partir de 25 %, tandis que par rapport à 18 % les coûts de pleine voie pouvaient encore être réduits de près de 7 %, ce qui surpasse aussi nettement les charges d'exploitation supplémentaires.

Par-delà l'optimisation des différents projets de constructions nouvelles, il demeure important, dans le cadre d'une planification d'aménagement de l'ensemble du réseau orientée sur des considérations socio- et macro-économiques :

- d'épuiser également toutes les possibilités de rendre le réseau plus performant et plus rapide, notamment par adaptation des valeurs de dévers ;
- de considérer les « solutions d'ensemble » qui prévoient à l'intérieur d'une relation, voire d'une section, une alternance de tronçons neufs et de tronçons existants aménagés.

Guidée par ces objectifs, la DB pense à proposer, en plus des deux lignes nouvelles en cours de construction et de six lignes existantes à aménager, l'inscription au planning 85 des infrastructures fédérales de transport d'une série d'autres projets de constructions neuves et d'aménagement, ainsi que le montre la figure 13.

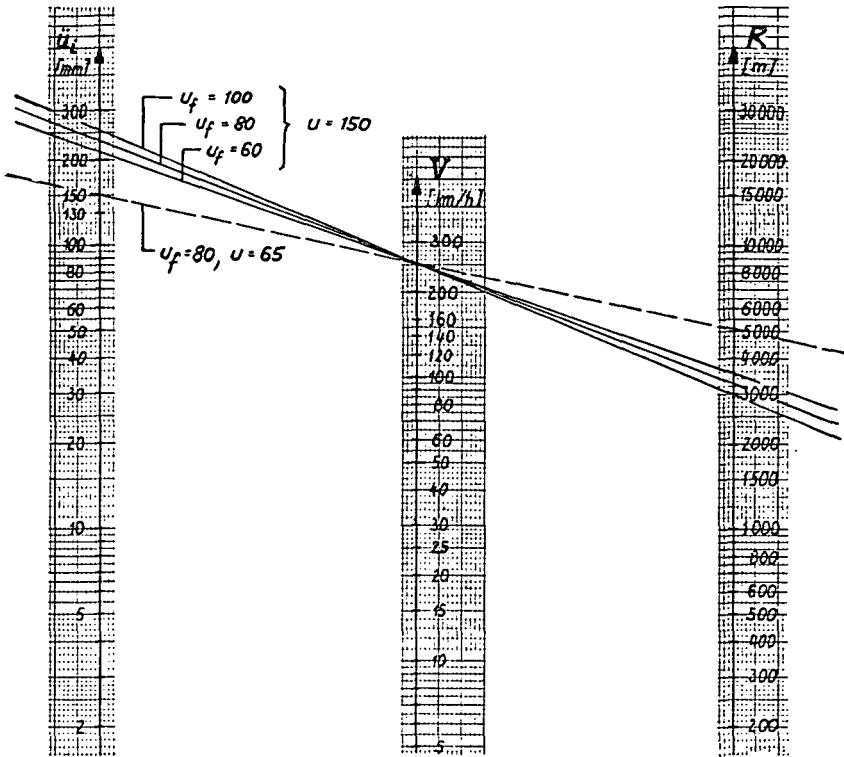


Artreiner Betrieb

Log-nomographische Darstellung der
 Beziehung zwischen
 Überhöhung u [mm]
 Geschwindigkeit V [km/h] und
 Bogenhalbmesser [m]

u_f = Überhöhungsfehlbetrag

Figure 1.



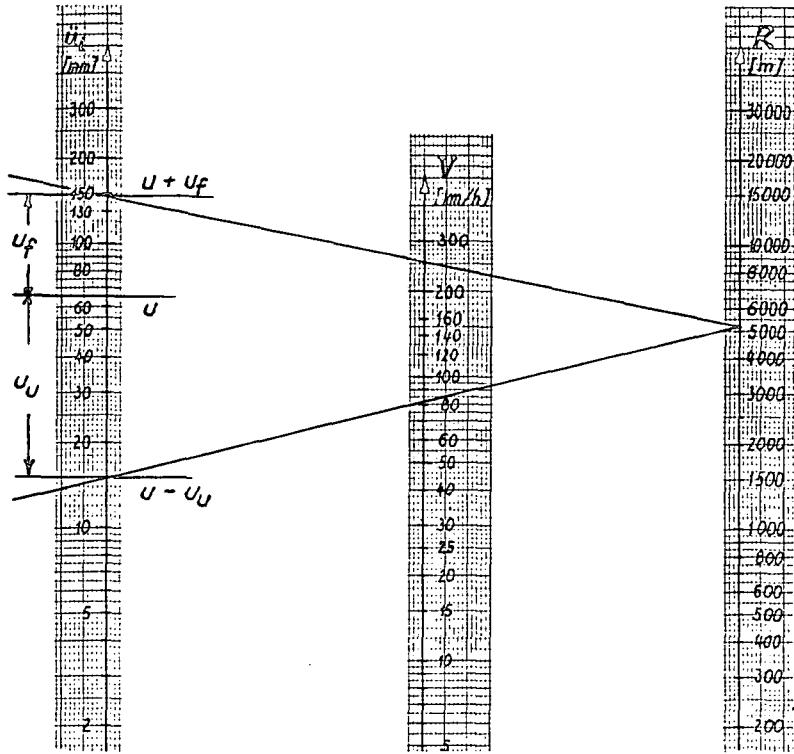
R_{min} bei artreinem Betrieb

Beispiel für $V = 250$ km/h

$$R_{min} = \frac{11,8 \cdot 250^2}{u + u_f} = f(u + u_f)$$

u (mm)	65	150		
u_f (mm)	80	60	80	100
R_{min} (mm)	5100	3500	3200	2950

Figure 2.

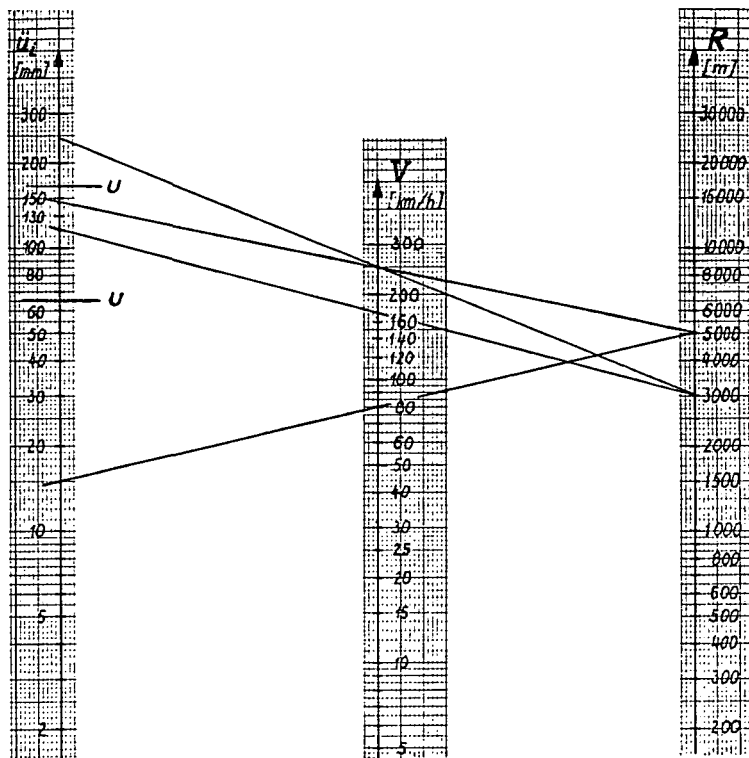


Mischbetrieb

Log.-nomographische Darstellung der
 Beziehung zwischen
 Überhöhung u [mm],
 Geschwindigkeiten V [km/h] und
 Bogenhalbmesser R [m].

u_f = Überhöhungsfehlbetrag
 u_u = Überhöhungsüberschuss

Figure 3.



V_{min} bei gemischtem Betrieb

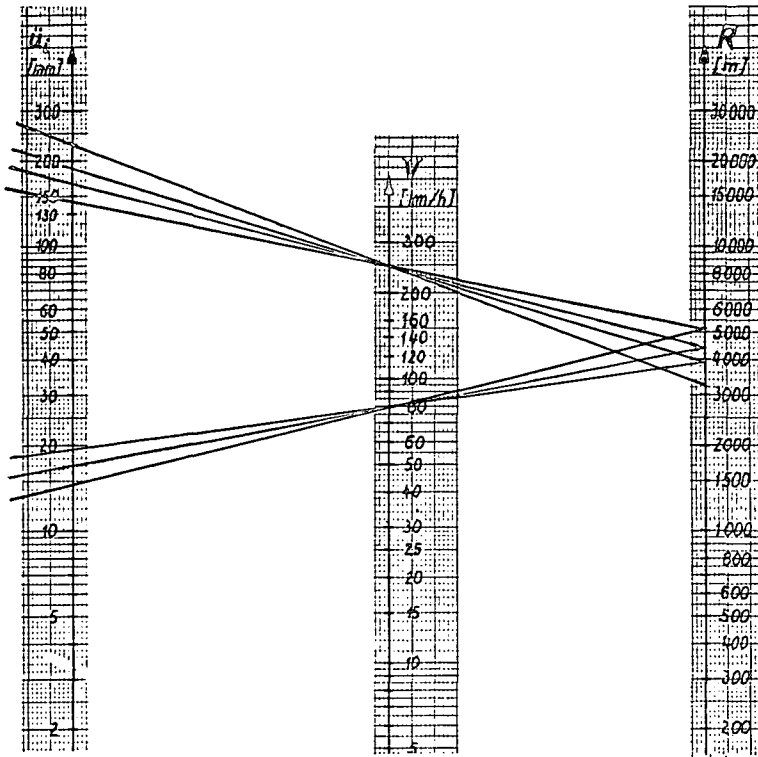
Beispiel: $V_{max} = 250 \text{ km/h}$, $u_f = 80 \text{ mm}$, $u_U = 50 \text{ mm}$

$R = \text{variabel}$

$V_{min}, u = f(R)$

$R \text{ (m)}$	5100	4500	4000	3500	3000
$u \text{ (mm)}$	65	84 (85)	104 (105)	131 (130)	166 (165)
$V_{min} \text{ (km/h)}$	80	114 (110)	136 (140)	155 (160)	172 (170)

Figure 4.



R_{min} bei artreinem und gemischtem Betrieb

Beispiel: $V_{max} = 250 \text{ km/h}$, $V_{min} = 80 \text{ km/h}$
 $u_f = 80 \text{ mm}$, $u_U = f(Gz [t])$, $u_{max} = 150 \text{ mm}$

	Reisezüge	Reise - und Güterzüge		
$Gz (t)$	—	< 30 000	30 000 - 60 000	> 60 000
$u_U (mm)$	—	90	70	50
$u_f (mm)$	80	80	80	80
$u (mm)$	150	110	90	65
$R_{min} (m)$	3200	3900	4400	5100

Figure 5.

Gemischter Betrieb

V_{min} und u als Funktion von R_{min}

Beispiel: $V_{max} = 250 \text{ km/h}$
 $u_f = 80 \text{ mm}$
 $u_u = 50 \text{ mm}$

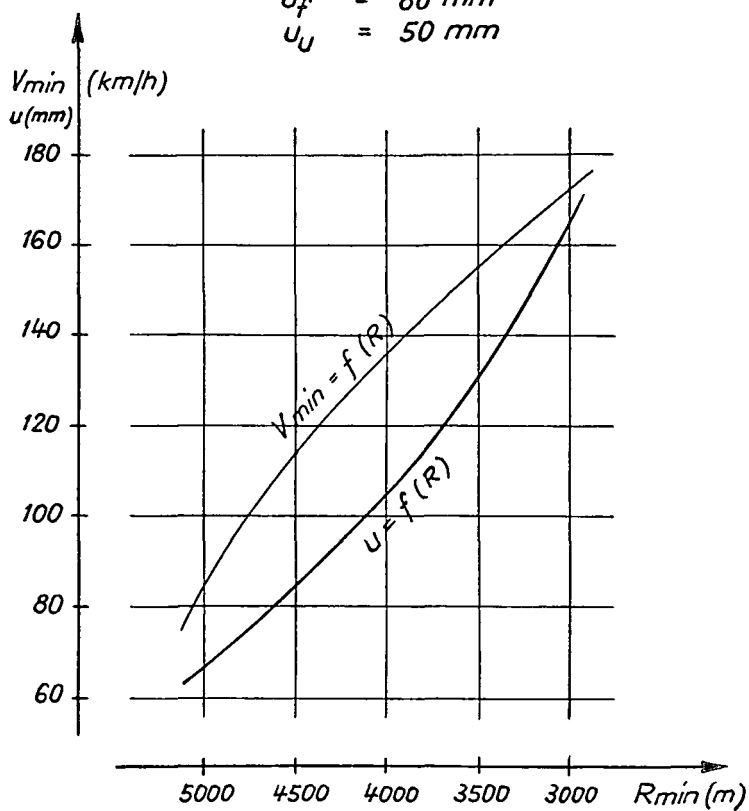


Figure 6.

Auswirkungen der Veränderung der Güterzuggeschwindigkeit (V_{min}) und der Begrenzung der tägl. Gütertonnage (G_z) auf die maximal zulässige Geschwindigkeit (V_{max}) der Personenzüge bei $R=5100m$

1. Angehobenes V_{min}

*1.1 $V_{min} = 100 \text{ km/h}$ ($G_z(t) \cong 60\,000$)
→ $V_{max} = 260 \text{ km/h}$*

*1.2 $V_{min} = 120 \text{ km/h}$ ($G_z(t) \cong 60\,000$)
→ $V_{max} = 270 \text{ km/h}$*

2. Begrenzte tägl. Gütertonnage

*2.1 $G_z(t) \leq 60\,000$ ($V_{min} 80 \text{ km/h}$)
→ $V_{max} = 260 \text{ km/h}$*

3. Angehobenes V_{min} und begrenzte tägl. Gütertonnage

*3.1 $V_{min} = 100 \text{ km/h}$; $G_z(t) \leq 60\,000$
→ $V_{max} 270 \text{ km/h}$*

*3.2 $V_{min} = 120 \text{ km/h}$; $G_z(t) \leq 60\,000$
→ $V_{max} = 280 \text{ km/h}$*

Figure 7.

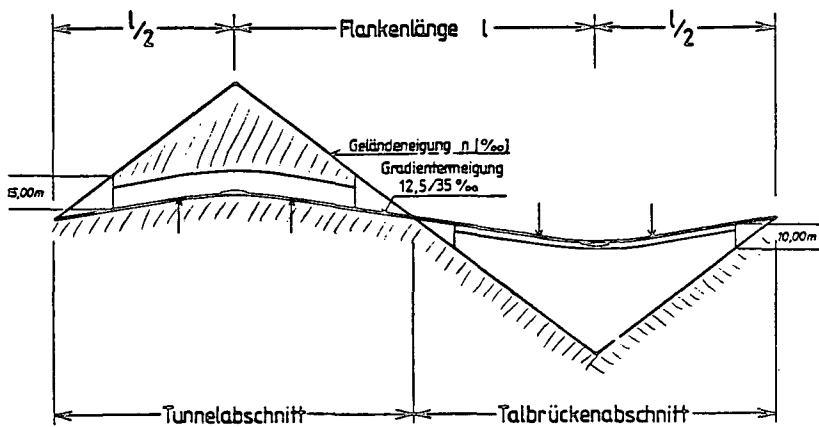
Tabelle:

Kostenskala verschiedener Neubaustrecken

<i>Linie</i>	<i>spez. Kosten (Mio DM/km)/Preis- stand</i>	<i>Mindest- Höchst- halbmesser neigung (m) (o/oo)</i>
<i>Paris - Lyon</i>	<i>6 / 1982</i>	<i>4000 / 35</i>
<i>Paris - Süd-West</i>	<i>10 / 1982</i>	<i>4000 / 15</i>
<i>Karlsruhe - Offenbg.</i>	<i>18 / 1984</i>	<i>5100 / 06</i>
<i>Tokaido</i>	<i>26 / 1982</i>	<i>2500 / 20</i>
<i>Sanyo (2. Teil)</i>	<i>29 / 1982</i>	<i>4000 / 15</i>
<i>Hannover - Würzbg.</i>	<i>34 / 1984 *</i>	<i>5100 / 12,5</i>
<i>Sanyo (1. Teil)</i>	<i>35 / 1982</i>	<i>4000 / 15</i>
<i>Mannheim - Stuttg.</i>	<i>36 / 1984 **</i>	<i>5100 / 12,5</i>
<i>Tohoku</i>	<i>43 / 1982</i>	<i>4000 / 15</i>
<i>Joetsu</i>	<i>65 / 1982</i>	<i>4000 / 15</i>

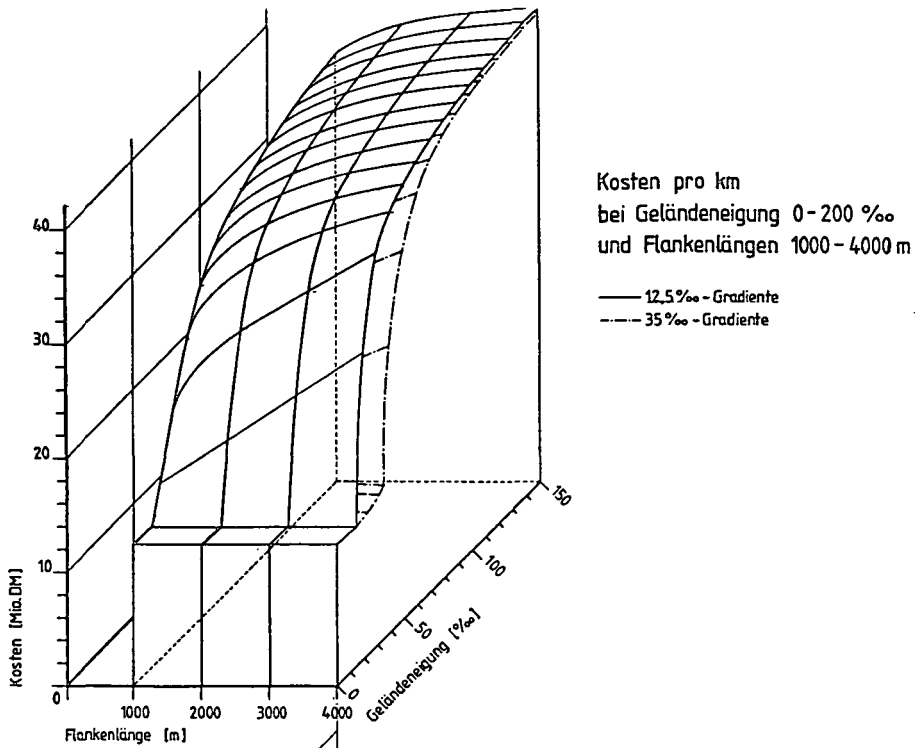
* 33 bzw 31 Mio DM/km bei Berücksichtigung der Längen der zahlreichen Verbindungskurven etc. zum vorh. Netz

Figure 8.



Geländemodell zur Untersuchung der Massen und Kosten für den Bahnkörper

Figure 9.



Einsparungen 12,5 ‰ - Gradiente - 35 ‰ - Gradiente

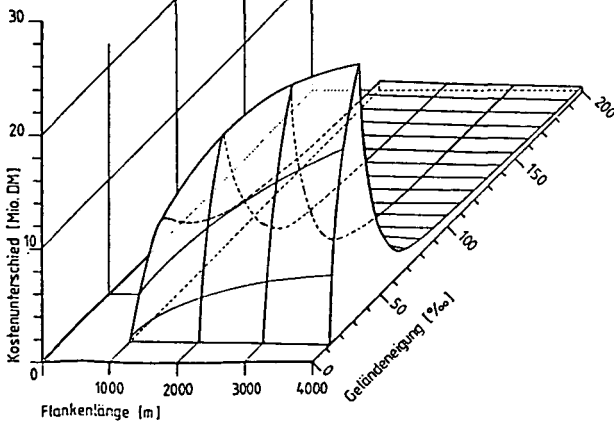


Figure 10.

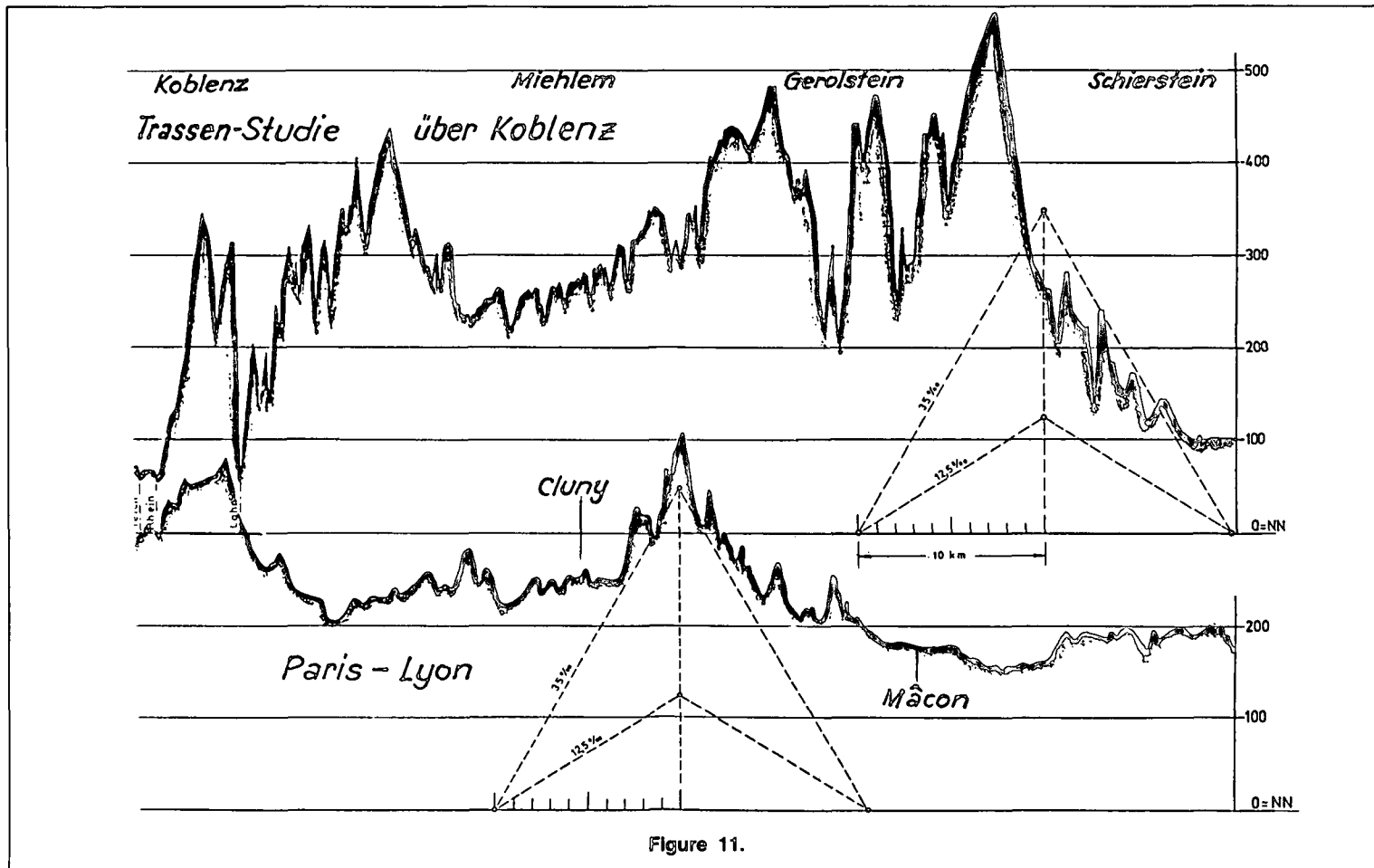
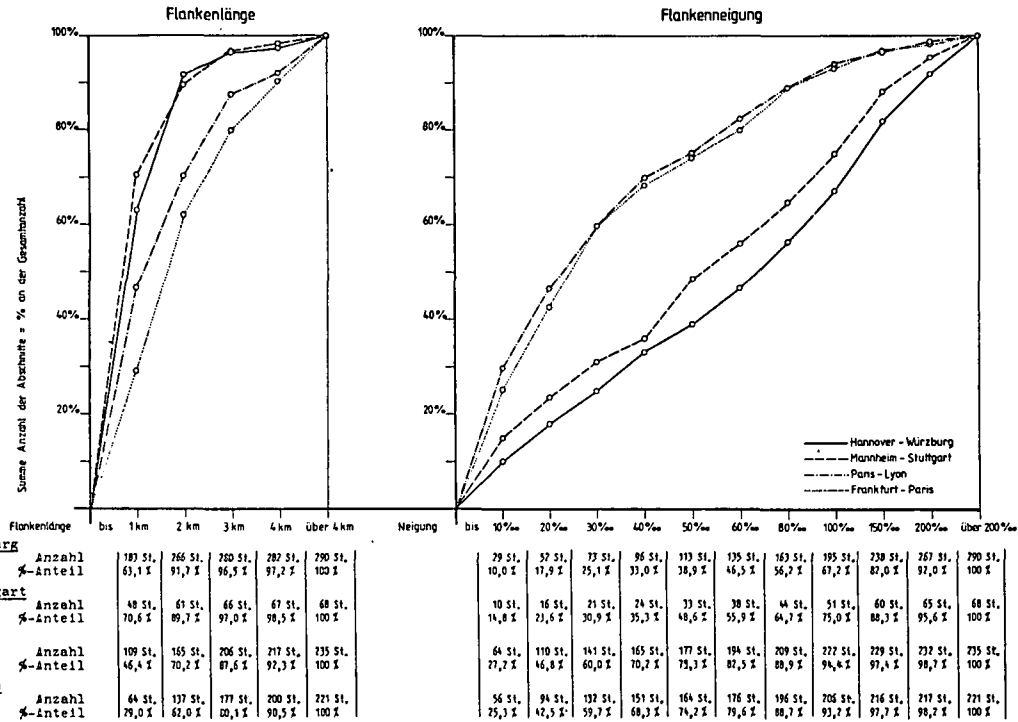


Figure 11.



Summenlinien für die Anzahlen der einzelnen Geländeneigungsabschnitte, aufgeteilt auf Flankenlängen und Flankenneigungen bei den 4 untersuchten neuen Strecken

Figure 12.

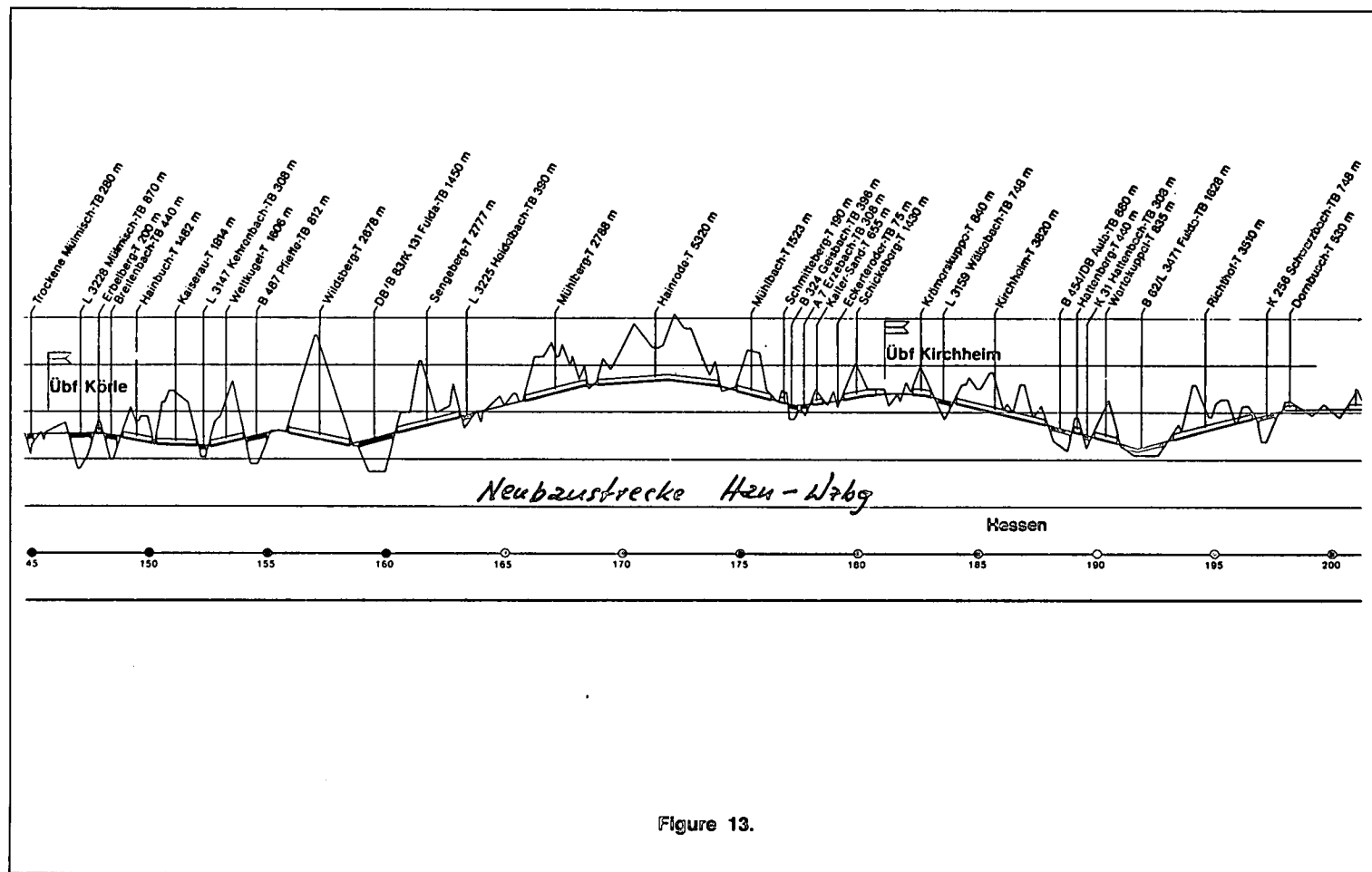


Figure 13.

Im Bau befindliche Maßnahmen des BWWP'80

Nr.	MASSNAHMEN	Investitionen (Mio. DM, Preisstand 01.01.1983)
1	NBS Hannover – Würzburg	11 795
2	NBS Mannheim – Stuttgart	3 745
3	ABS Frankfurt (M) – Mannheim	1 000
4	ABS Gießen – Friedberg (H)	65
5	ABS Dortmund – Hannover – Braunschweig	280
6	ABS Hamburg – Hannover	900
7	ABS Hamburg – Bremen – Münster	550
8	ABS Würzburg – Nürnberg – Treuchtlingen – Augsburg	190
	SUMME	18 525

Angestrebte Maßnahmen BWWP'85

Nr.	MASSNAHMEN	Investitionen (Mio. DM, Preisstand 01.01.1982)
1	Korridor Fulda – Mannheim	
	ABS Fulda – Frankfurt (M)	200
	ABS Frankfurt (M) – Mannheim (Riedbahn)	160
2	Korridor Mannheim – Basel	
	ABS Graben-Neudorf – Karlsruhe	60
	NBS/ABS Karlsruhe – Offenburg – Basel	1 890
3	Korridor Stuttgart – Augsburg	
	ABS/NBS Plochingen – Augsburg	
	ABS/NBS-Abschnitt Plochingen – Leipheim	1 470
	ABS-Abschnitt Leipheim – Augsburg	180
4	Korridor Münster – Mannheim	
	ABS Münster – Köln	170
	NBS Köln – Rhein/Main	4 950
	ABS Mainz – Mannheim	100
5	Korridor Würzburg – München	
	ABS Würzburg – Nürnberg	550
	NBS Nürnberg – Ingolstadt	1 820
	ABS Ingolstadt – München	230
6	Korridor Dortmund/Bielefeld – Kassel	
	ABS Dortmund – Paderborn – Kassel	2 650
	ABS Bielefeld – Paderborn	220
	SUMME	14 650

Figure 14.

Au cours de ces dernières années, la situation des chemins de fer a fait l'objet de grands débats dans plusieurs pays d'Europe de l'Ouest. Ces discussions ont été provoquées par l'évolution alarmante de la position financière des chemins de fer et la perte constante d'actions en bourse. Manifestement, les chemins de fer ne sont plus aptes à concurrencer les autres moyens de transport en ce qui concerne la qualité des prestations, notamment le temps de voyage, et le prix. Si de profonds changements n'interviennent pas, on doit s'attendre à la poursuite de cette tendance négative.

La désaffection croissante envers les services offerts sur le marché par les chemins de fer, est due pour une large part au temps de voyage, qui n'est plus concurrentiel car trop long. Dans l'ensemble pour les courtes distances, la voiture particulière est préférable, car avant que le voyageur n'ait atteint son train, parti en voiture, il se serait rapproché de sa destination en parcourant le plus souvent environ 50 km. Pour les grandes distances, c'est l'avion qui domine car il va plus vite, même si le temps d'accès à l'aéroport est supérieur.

En ce qui concerne les services compétitifs offerts par les chemins de fer, les deux facteurs qui entrent en jeu pour le temps nécessaire porte à porte sont : le temps de gare à gare et le temps d'accès ; la difficulté réside dans le fait qu'on ne peut réaliser que des valeurs très moyennes.

Pour l'accès, la supériorité du train sur l'avion est certaine, dans la mesure où le train peut pénétrer au cœur des villes, mais en revanche la voiture particulière est supérieure au train.

Sur longue distance, la supériorité du train sur la voiture est certaine, mais l'avion est supérieur au train. Toutefois la supériorité du train sur la voiture particulière suppose un service par rail relativement rapide. Sinon, c'est la voiture particulière qui est supérieure au train.

L'automobile remporte un grand succès en Allemagne fédérale en particulier, car les autoroutes y sont gratuites et étendues. De plus, la voiture peut être

utilisée sans problème dans les villes d'arrivée, contrairement à des villes de la taille de Paris ou même Tokyo par exemple.

Un calcul des zones de distance, pour lesquelles on peut fournir un meilleur service par train à grande vitesse, donne les résultats suivants :

Vitesse de train maximale (km/h)	Zone de distance (train-km)
250	275 - 460
300	260 - 580
400	210 - 870

Ce calcul suppose :

- différents services (autoroute - train à grande vitesse - avion) avec les facteurs de dérivation communs à toute la RFA ;
- la réduction du temps de voyage d'une heure comme seuil nécessaire pour changer vers un mode de transport plus rapide ;
- un temps supplémentaire moyen pour l'accès, l'attente, etc. commun à toute la RFA ;
- le temps de gare à gare qui équivaut à 75 % de la vitesse maximum en moyenne pour les trains, et les valeurs réelles moyennes pour les voitures particulières et les avions.

Nous pouvons déjà tirer d'importantes conclusions de ces considérations, car si nous prenons en compte les distances européennes courantes, il est évident que :

- la mise en service d'un chemin de fer avec une vitesse maximum entre 250 et 300 km/h rend un service très compétitif, à l'intérieur de chaque nation, et aussi au-delà des frontières d'un pays à l'autre pour les distances moyennes ;
- d'autre part, la mise en service d'un chemin de fer destiné surtout à l'ensemble du territoire européen, avec des distances beaucoup plus grandes, nécessite des vitesses accrues.

Afin de quantifier de tels effets, nous présentons dans la suite de cette étude, les résultats de calculs qui traitent de l'utilisation des potentiels du marché en fonction de la vitesse offerte par le train sur un réseau européen.

Le réseau de 6 000 km, sur lequel nous nous basons, relie 26 grandes villes, une population de 60 millions de personnes répartie dans 8 pays. Dans ses grands traits, la disposition du réseau est basée sur les grands axes européens. Elle est caractérisée par des axes nord-sud :

- ⊗ Glasgow-Londres-Paris-Marseille
- ⊗ Randstad-les conurbations du Rhin-Zurich Bale-Milan-Rome

ainsi que les liaisons est-ouest :

- Hambourg-Hanovre-Rhin/Ruhr-Bruxelles-Londres
- ⊗ Munich-Stuttgart-Rhin/Neckar-Luxembourg/Saar-Paris
- Basle-Genève-Lyon
- Milan-Turin-Lyon.

Prenant pour base des données empiriques, la différence modale entre le transport public ou particulier est décrite comme étant fonction de la distance du voyage, puis extrapolée dans le futur en utilisant 2 schémas différents. L'un suppose un attrait croissant des voitures particulières, l'autre suppose une évolution en faveur des transports publics. Pour des raisons de simplification, les différents modes de transport public sont finalement confondus avec le potentiel ferroviaire.

Tout d'abord, il s'ensuit que les couloirs nationaux :

- RFA : Hambourg-Hanovre-Rhin/Rhur-Rhin/Main-Rhin/Neckar-Stuttgart-Munich
- France : Lille-Paris-Lyon-Marseille
- Angleterre : Londres-Birmingham-Manchester/Liverpool-Newcastle-Glasgow/Edinbourg
- Italie : Turin-Milan-Bologne-Florence-Rome

ont un potentiel ferroviaire qui se monte à 30 % du trafic total des passagers pour les échanges sur le réseau. Les valeurs, qui pour l'essentiel peuvent être expliquées par les structures géographiques, sont plus faibles pour les couloirs allemands et anglais, elles sont de 21 à 27 %, et de 19 à 24 % respectivement, et elles sont plus élevées pour le couloir français, soit de 33 à 46 %.

Selon les calculs, ces potentiels peuvent être utilisés au taux de 80 % pour les chemins de fer offrant un temps de voyage correspondant à une vitesse de 250 km/h. C'est pourquoi cette vitesse est satisfaisante du point de vue commercial. Des vitesses plus élevées entraîneraient certainement des diminutions de temps supplémentaires de voyage, mais n'offriraient que de minces avantages sur le plan commercial.

D'autre part, en ce qui concerne la totalité du réseau à l'étude, les résultats suivants sont obtenus :

1) Les distances étant, en moyenne, plus grandes, la voiture particulière est moins compétitive, le potentiel du chemin de fer se trouve donc accru par rapport aux réseaux nationaux. En effet, ce potentiel couvre de 32 à 59 % de la totalité du trafic, selon le développement ultérieur envisagé du trafic traversant la frontière. La valeur la plus basse résulte d'une projection qui suppose un accroissement du trafic traversant les frontières proportionnel seulement au trafic national, ce qui ne prend pas en compte les taux de croissance actuels plus élevés. La valeur la plus haute résulte d'une estimation qui suppose une augmentation considérable du trafic, de façon à ce que le niveau du trafic national soit égal au niveau du trafic traversant les frontières dans 40 ans.

2) Les vitesses maximum nécessaires se situent entre 390 et 490 km/h, afin d'utiliser le potentiel vitesse à un taux de 80 % ; ceci selon l'estimation choisie et donc selon l'importance des liaisons traversant les frontières.

Il va de soi que les vitesses offertes seront liées à la technologie que l'on utilisera. En conséquence pour les estimations que nous avons faites, les systèmes Maglev semblent particulièrement bien adaptés pour des systèmes de grande vitesse sur rail, sur des réseaux de dimension européenne, pour les couloirs nationaux, et aussi pour les liaisons traversant les frontières sur des distances moyennes. Cette dernière fonction suppose qu'en matière

d'investissement ferroviaire, les intérêts nationaux soient dépassés, ce qui dans le passé a souvent posé des problèmes d'incompatibilité de technologie et d'exploitation.

L'importante constatation du fait que les trains à grande vitesse peuvent aussi utiliser des voies de chemin de fer traditionnelles, bien qu'à vitesse réduite, nous amène à des évaluations semblables à celles qu'on peut faire en regard du lien entre la technologie et l'espace. L'usage courant est particulièrement avantageux pour des services sur les zones moins étendues, c'est-à-dire reliées de façon directe, et pour lesquelles le nombre des passagers ne justifie pas une coûteuse voie à grande vitesse. Néanmoins, elles pourraient être desservies par des trains à grande vitesse, de façon à éviter le changement de train pour de longs parcours sur de longues distances. Si l'on a recours aux systèmes Maglev les voyageurs doivent changer de train à la prochaine gare Maglev. Ceci constitue un gros inconvénient pour les petites distances, mais il s'estompe à mesure que les distances augmentent et il est peu important pour des distances plus grandes parce que la vitesse de croisière est beaucoup plus importante.

Néanmoins, il faut noter que de telles évaluations ne peuvent que refléter une tendance. En effet, bien que la vitesse que l'on peut atteindre soit un facteur important, sa seule prise en compte ne permet d'établir qu'une tendance, en ce qui concerne l'évaluation du rôle joué par les technologies envisagées. Une évaluation complète doit aussi tenir compte des autres caractéristiques.

De plus, il faut noter que la vitesse peut être utilisée de façon flexible. En effet, les systèmes Maglev peuvent être utilisés à des vitesses réduites aussi bien que supérieures. Cette possibilité peut être utilisée pour des trajets qui ne nécessitent pratiquement pas de vitesse maximale, mais qui passent par des régions topographiquement difficiles, pour lesquels les paramètres des voies des systèmes Maglev, en particulier les radiants horizontaux bas et verticaux hauts, peuvent donner lieu à d'appréciables réductions du coût ; ou bien dans des zones densément peuplées où la limitation du bruit est un facteur très important, et pour cette raison le bruit réduit qui résulte de la technologie Maglev, sans contact avec le rail, peut être un argument important.

De même, un système plus lent de train avec roues sur rail est tout à fait capable d'être parfaitement compétitif sur de longues distances si les autres composantes de service offert, en particulier le prix, le confort et la fréquence, sont mieux conçues.

Parallèlement, les expériences positives de record de vitesse ont au moins démontré le potentiel technologique de ce système. En regard des efforts d'intégration sur des territoires de la taille de l'Europe, des moyens de transport rapides et efficaces sont indispensables. Si les chemins de fer ne peuvent pas remplir cette fonction, celles-ci devront être assurées encore davantage dans le futur par les transports aériens.

L'exemple des Etats-Unis démontre ceci, bien que les coûts secondaires en matière, par exemple, de consommation d'énergie, de dépendance en essence, etc. soient relativement élevés. En Europe aussi, le trafic augmentant entre nations est assuré par transport aérien. Ainsi, par exemple, le nombre de passagers franchissant les frontières de la république fédérale d'Allemagne en avion a triplé de 1968 à 1983 c'est-à-dire en seulement 15 ans. Il a

déjà presque atteint le nombre de voyageurs en chemin de fer. En moyenne, les passagers sur vols réguliers sont transportés sur une distance d'environ 700 km, et sur charters sur une distance de 1 600 km (valeurs moyennes de kilomètres - vol à l'intérieur de la république fédérale et en provenance ou à destination des autres pays européens). Mais un quart de tous les passagers sur vols réguliers voyagent sur les vols de moins de 500 km.

Selon la vitesse offerte, une partie plus ou moins grande de ce trafic pourrait être assurée par les chemins de fer. Le prix aussi joue un rôle important. En Europe, les tarifs sur vols réguliers sont très élevés. Sans aucun doute ceci est un facteur positif pour les chemins de fer sur le marché. En 1980, par exemple, le prix standard moyen par kilomètre de chemin de fer allemand (corrigé pour les facteurs de dérivation) en comparaison des lignes de vol allemandes Lufthansa était de 32 % en 2^e classe et de 53 % en 1^{re} classe. Il est important de réaliser que la part de marché qui reste pour les chemins de fer sur longues distances en cas de services parallèles offerts est basée essentiellement sur ce facteur. Ainsi, après avoir établi des réseaux de chemins de fer à grande vitesse, cette situation demeurera inchangée en dehors de la zone de distance dans laquelle, comme nous l'avons montré plus haut, on obtient un gain de temps en transport. Il faut donc analyser avec soin les possibilités de compétitivité en terme de prix, surtout pour une stratégie de 250 km/h vitesse maximum, si on veut faire face à la demande européenne de transport longue distance.

De fait, l'évolution future des dépenses pour les deux moyens de transport est bien difficile à prédire à long terme, mais les conditions sont immensément plus favorables pour les transports aériens. Le transport aérien européen d'aujourd'hui est limité par plusieurs restrictions administratives, ce qui d'un côté assure des revenus, mais d'un autre côté ne laisse qu'une possibilité d'expansion limitée. Un succès résultant des essais pour obtenir plus de libéralisme, par exemple, de la part de la CEE, ou même une poussée vers une politique de ciel librement utilisé, qui ne peut pas être exclue à long terme, donnerait certainement lieu à une expansion des transports aériens accompagnée d'une gamme plus variée de services et d'une diminution du prix moyen, au moins pour les lignes principales. Ceci entraînerait forcément des conséquences sur la part de marché qui reviendrait aux chemins de fer : plus la concurrence se fait sur la base de la supériorité du prix de transport aérien, plus il faudra s'attendre alors à un déclin proportionnel de la part de marché qui reviendrait aux chemins de fer.

On a pu observer au Japon la sensibilité du marché aux changements de temps de transport mais aussi aux changements d'équilibre de prix entre le train et l'avion. Dans ce pays, des modifications considérables ont eu lieu, dues à des évolutions de tarifs ; évolutions du train en faveur de l'avion et vice-versa. Ceci souligne une fois de plus, l'importance de la tarification en matière de compétitivité des chemins de fer à grande vitesse face aux transports aériens.

Il faut poser le problème différemment en ce qui concerne la compétitivité face à la voiture. Les automobilistes préfèrent de beaucoup, utiliser leur voiture, même si d'autres modes de transport offrent un temps de transport et un coût plus favorables. Des enquêtes représentatives sur les habitudes des voyageurs en Allemagne ont montré que les automobilistes étaient potentiellement peu enclins à modifier leurs habitudes. De même, nous nous sommes aperçus que le calibrage des modèles décrivant le choix des modes

sur la base des schémas d'habitudes n'est pas praticable en utilisant des critères objectifs de services (comme temps de transport, coûts de transport, et autres modifications) mais doit prendre en compte un bonus supplémentaire pour la voiture, bonus dont le contenu n'a pu être défini aisément. Nous supposons donc, que dans le futur, aucun changement n'interviendra même si les conditions d'exploitation ont été restreintes, par exemple quant à la vitesse limite autorisée ou quant à la limitation des critères d'émission, etc.

La longue expérience du Japon est, à cet égard, très instructive. En effet, si d'un côté les chemins de fer japonais ont été capables de maintenir leur position dominante sur le marché des moyennes distances grâce aux services de trains à grande vitesse, d'un autre côté les chemins de fer japonais ont été, dans une grande mesure, écartés par la voiture particulière du marché des courtes distances de moins de 300 km. Ce phénomène est d'autant plus remarquable que sur les distances moyennes, les chemins de fer sont le moyen de transport le plus rapide et souvent le moins cher. Des analyses minutieuses montrent que le facteur pour lequel la voiture particulière est préférée dépend davantage de la qualité des autoroutes que de la qualité des services ferroviaires.

Dans la mesure où les conclusions de l'expérience japonaise peuvent être utilisées par analogie, on peut conclure que la mise en service des trains à grande vitesse en Allemagne entraînera des modifications importantes sur le marché des parcours supérieurs à 300-400 km. Mais en deçà de cette limite, les possibilités d'évolution du marché doivent être jugées avec réserve, en tout cas là où existe une autoroute en parallèle.

D'un autre côté, en Allemagne, étant donné la part très faible que représentent les chemins de fer, des modifications même très faibles du marché peuvent créer un surplus de revenus considérable : par exemple, un calcul pour une liaison à grande vitesse de 220 km Dusseldorf-Cologne/Bonn-Francfort, a démontré que pour la plupart du trafic utilisant cette liaison, seulement 1 à 8 % provient de la route ; ce qui représente une augmentation du trafic d'environ 70 % pour le trafic ferroviaire en question.

Pour cette estimation, les tarifs n'ont pratiquement pas été modifiés. Ceci veut dire que les passagers pourraient bénéficier des avantages résultant d'une réduction du temps de voyage sans restriction, mis à part peut-être un supplément modique pour les trains à grande vitesse. De grossières estimations des revenus et des dépenses pour le réseau européen à grande vitesse dont nous avons parlé, qui étaient elles aussi basées sur des tarifs inchangés, indiquent, suivant le schéma choisi, qu'une partie du réseau partiel au moins est capable de rentrer dans les frais.

La question est de savoir si un tel service est capable d'engendrer un pouvoir novateur d'une force suffisante, comme les services créés par la mise en œuvre des chemins de fer, le siècle dernier, ou le Shinkansen il y a 20 ans. Une qualité considérablement accrue et une réduction de prix ont toujours caractérisé ces nouveaux services.

En Allemagne, le temps de voyage en chemin de fer il y a exactement 150 ans, lors de sa mise en service, était à peu près trois fois plus court que le temps de voyage le plus court offert par ses concurrents, et ceci pour seulement la moitié du prix. Une analyse des conséquences du chemin de fer sur divers paramètres socio-économiques, souligne une dépendance marquée envers les caractéristiques du service offert par le chemin de fer,

particulièrement en ce qui concerne les réductions de prix, et aussi d'autres évolutions complémentaires.

Lorsque le Shinkansen Tokaido reliant Tokyo à Osaka fut mis en service il y a 20 ans, sa vitesse était unique, mis à part l'aviation. La qualité des autoroutes rendait presque impossible un trajet si long en voiture. En outre, il n'y avait que peu de voitures particulières à l'époque. Le prix du billet de train ultra rapide Shinkansen ne se montait qu'à un tiers du prix du billet d'avion. Les impacts de cette ligne et l'essor économique de cette région doivent être vus dans ce contexte.

Si nous considérons l'infrastructure des transports, qui est bien développée en Europe, de telles améliorations spectaculaires ne peuvent avoir lieu. Ceci est vrai au moins pour les trajets de courtes distances, pour lesquels la voiture particulière est subjectivement en tous cas, avantageuse ; ceci est vrai pour le temps de voyage, le coût, et pour d'autres critères propres à chaque usager.

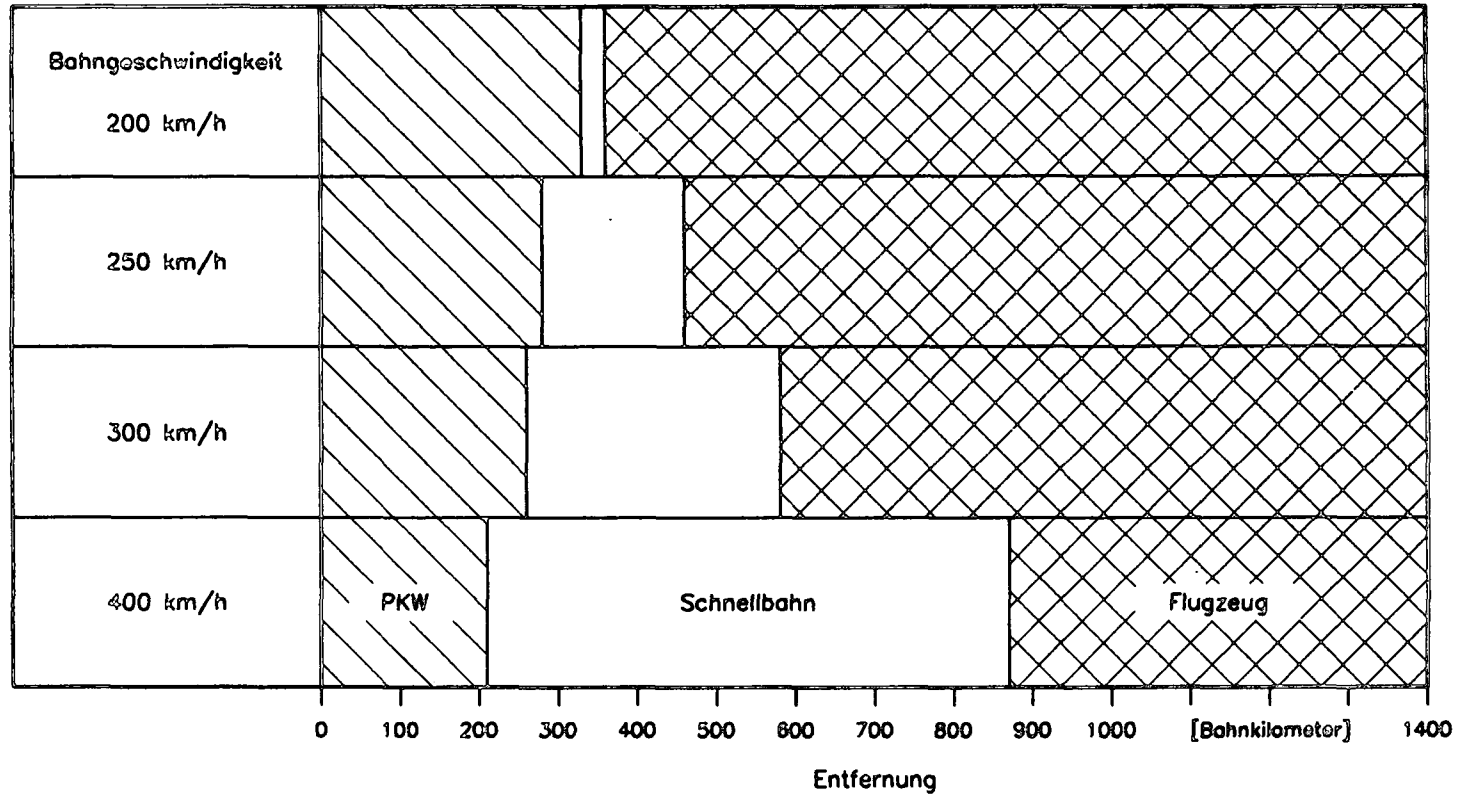
Toutefois, hors du créneau dans lequel la voiture peut être utilisée d'une façon commode, et qui, selon l'expérience japonaise, est liée à un temps de voyage de 4 heures, soit 350 à 400 km en Allemagne, les trains à grande vitesse peuvent donner lieu à d'appréciables améliorations de transport.

Sur un parcours de 600 km par exemple, voici les améliorations auxquelles on peut s'attendre :

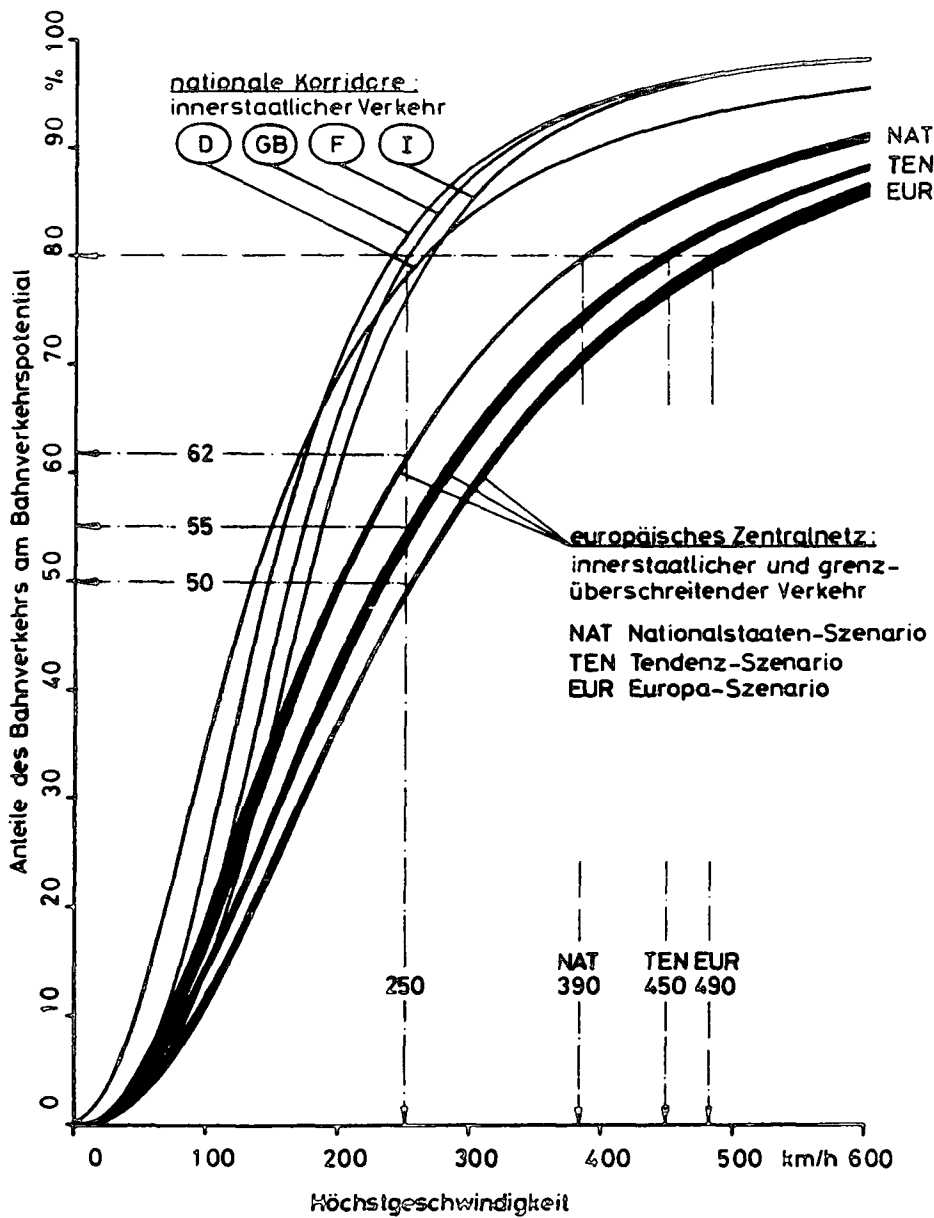
- en ce qui concerne la voiture particulière : un temps de voyage réduit au moins de moitié, pour approximativement le même prix (on suppose deux passagers par voiture) ; lorsqu'une nuit d'hôtel est nécessaire, le coût du voyage se trouve considérablement réduit ;
- en ce qui concerne les avions : une diminution considérable du coût d'environ un tiers, avec un temps de voyage modérément plus long, et en cas de système Maglev, un temps de voyage tout à fait comparable.

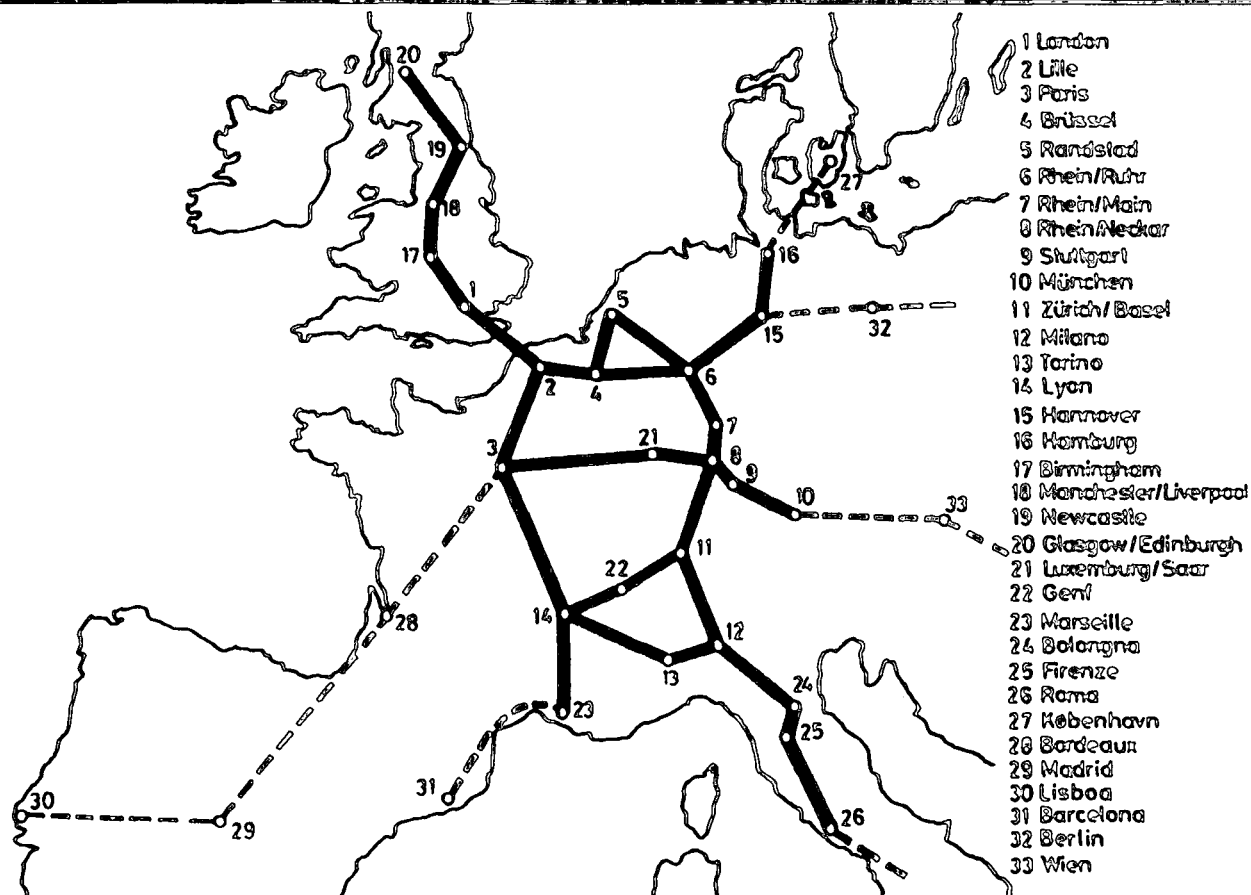
Ceci représente un saut qualitatif en matière de transport, qui, de fait, est comparable aux exemples mentionnés plus haut.

Ainsi, il ressort à nouveau que le point d'impact le plus remarquable des services de chemin de fer offrant des services à grande vitesse à un coût favorable se situe dans le créneau de 350 à 900 km, selon la vitesse envisagée. C'est là que les chemins de fer pourraient atteindre une position de force sur le marché, face à leurs concurrents sur autoroute ou par air. Du point de vue socio-économique, les chemins de fer favoriseraient de ce fait l'essor des correspondances sur ce créneau de distances, et participeraient ainsi, de façon importante aux efforts vers l'intégration européenne.



	Zeit	Kosten
Eisenbahn (Personenverkehr) Mitte 19. Jahrhundert	1/3	1/2
Shinkansen, Tokyo-Osaka 1964	Flugzeug : ähnlich PKW : praktisch unmöglich	1/3 -
Europäische Schnellbahn Entfernung 600 km	Flugzeug : etwas höher bis gleich PKW : 1/2 bis 1/3	1/3 etwas ungünstiger bis ähnlich





Enquête sur la qualité de l'offre des systèmes TGV

M. Kracke
Université de Hanovre

RFA

Stade d'avancement du chemin de fer conventionnel et du chemin de fer magnétique

Au cours des vingt dernières années, de grands progrès ont été accomplis en matière de chemins de fer dans le domaine des liaisons rapides à grande distance, tant au niveau de la recherche et du développement que de l'exploitation pratique.

C'est ainsi qu'il faut reconnaître qu'au Japon, le système Shinkansen est exploité depuis 20 ans sans aucun accident sérieux et avec un grand succès économique. Depuis octobre 1964, les trains circulent à 200 km/h entre Tokyo et Osaka, prouvant ainsi le potentiel technico-physique du système roue/rail. Le réseau japonais à grande vitesse, étendu depuis fin 1982 à une longueur de quelque 2 000 km, est exploité avec une perfection quasi silencieuse et suscite encore en 1984 un grand respect parmi les visiteurs.

Même en Europe, la vitesse et le confort de marche des chemins de fer ont fait parfois un grand bond en avant. A cet égard, ce sont les chemins de fer français qui, grâce à la nouvelle ligne TGV Paris-Lyon ouverte en 1981/83, détiennent sans conteste le record absolu. Les rames TGV à têtes motrices qui circulent à 260 km/h d'un bout à l'autre de la ligne prouvent à l'évidence jusqu'à quel point le niveau de vitesse du système roue/rail peut être porté en service pratique lorsque le véhicule et la voie – tous deux conçus selon une technique ferroviaire tout à fait conventionnelle – sont harmonisés l'un à l'autre de manière adéquate.

Mais il est d'autres pays européens où la réalisation de vitesses de 200 km/h par des trains de voyageurs dans lesquels une rame de voitures climatisées est remorquée par locomotive est devenue désormais, sur le plan technique, chose tout à fait normale. Il convient tout de même de ne pas oublier que, dans ces pays, les trains circulent le plus souvent sur des lignes construites voici plus de 100 ans qui écoulent en outre un fort trafic mixte comportant parfois des trains de marchandises très lourds et très longs. Cette constatation vaut notamment pour l'exploitation ferroviaire de la DB.

En ce qui concerne la république fédérale d'Allemagne, il y a lieu de souligner trois facteurs importants :

– Actuellement, on poursuit fébrilement la construction de 400 km de lignes nouvelles, qui possèdent une fonction de réseau extrêmement importante. Le 1^{er} tronçon, entre Fulda et Gemünden, sera achevé dès la fin de 1986.

– Depuis 1972, c'est-à-dire depuis 12 ans, on procède à grand renfort de capitaux à des travaux de recherche et de développement en matière de technique roue/rail et de technique non conventionnelle du chemin de fer à sustentation magnétique. L'aspect le plus frappant en ce qui concerne le développement du chemin de fer magnétique est l'installation expérimentale Transrapid du bassin de l'Ems, où a commencé en octobre 1984 le service expérimental régulier, et où le véhicule à sustentation magnétique TR 06 a franchi pour la première fois en juillet 1984 la barre de 300 km/h.

– A l'été 1985, la Deutsche Bundesbahn disposera de l'ICE (Intercity Experimental), nouveau véhicule à grande vitesse conçu selon une technologie de pointe, qui sera testé en service d'essai jusqu'à 350 km/h. Une fois l'expérimentation réussie, il est prévu, à partir de 1990 environ, de faire circuler les véhicules de série en service opérationnel à 250 km/h sur les lignes nouvelles. Ainsi, la vitesse commerciale moyenne sur les lignes de la DB pourra passer des 130 km/h maximum actuels à 180 km/h.

Sur cet arrière-plan, on se propose dans ce qui suit d'exposer certains aspects importants de l'offre et de la demande dans les systèmes de chemin de fer à grande vitesse ainsi que les perspectives d'avenir du trafic voyageurs guidé à grande distance.

Structure du trafic et moyens de transport concurrents

Lorsqu'on veut définir l'offre de desserte des chemins de fer rapides et évaluer le volume de trafic susceptible d'être obtenu par cette offre, il convient de considérer de plus près la structure de trafic globale du pays et les moyens de transport concurrents. On se limitera (pour des raisons de temps) à la république fédérale d'Allemagne.

Là, on constate que le trafic routier – c'est-à-dire la voiture particulière et le camion – dispose d'un réseau autoroutier dense parfaitement aménagé ainsi que d'un réseau routier général bien aménagé et encore plus dense. Cette infrastructure permet à l'automobiliste de réaliser pratiquement sur toutes les distances une vitesse moyenne de 100 à 120 km/h (de porte à porte) moyennant un confort tout à fait correct et une consommation de carburant en baisse constante.

C'est la raison pour laquelle la répartition intermodale du trafic voyageurs à grande distance a évolué en permanence depuis 1960 au détriment du chemin de fer, si bien que la part de marché de ce dernier est tombée désormais à près de 10 %.

Au cours de ces dernières années, le chemin de fer a vu se développer, au niveau du trafic occasionnel par autocar à grande distance, une concurrence particulièrement sérieuse, qui s'étend précisément aussi au trafic international. En l'occurrence, il est trois facteurs, à savoir :

– le confort élevé,

- le transport ininterrompu jusqu'à destination,
- le faible prix,

qui ont conduit à des profils d'offre concurrençant fortement le chemin de fer. C'est pourquoi les prestations de transport (voyageurs-km) de l'autocar à grande distance dépassent depuis deux ans les valeurs correspondantes du chemin de fer. Du fait d'autres améliorations de la prestation de transport et du confort ainsi que de l'impossibilité d'exclure un relèvement de la vitesse maximale admissible, il faut s'attendre à l'avenir à de nouvelles augmentations des parts de trafic, surtout en transport touristique par autocar.

Le trafic aérien à l'intérieur de l'Allemagne offre aux voyageurs de service et d'affaires, entre les grands centres économiques, des durées de vol brèves et attractives en majorité par appareils à réaction, de sorte qu'en Allemagne, en dépit des longs temps d'attente inévitables au sol, l'avion est fréquemment supérieur au chemin de fer sur des distances à partir de 300 km environ. Le prix de transport, de près de 50 % supérieur à celui du chemin de fer, est parfaitement accepté par le groupe d'utilisateurs des voyages de service et d'affaires lorsque le gain de temps par rapport au chemin de fer et à l'automobile est important.

Enfin, il reste à souligner que l'Allemagne possède une structure d'habitat polycentrique alors que celle de la France est plus monocentrique. Les dix grandes agglomérations de république fédérale sont distantes en moyenne de 400 km environ, ce qui conduit à un potentiel de voyageurs élevé pour le transport rapide.

La distribution polycentrique des grands centres urbains se retrouve également en Europe de l'Ouest. Dans les seules zones d'attraction des grandes conurbations Paris-Bruxelles-Köln/Düsseldorf-Francfort/Mannheim vivent près de 30 millions d'habitants. Dans ce quadrilatère qui présente d'extraordinaires concentrations dans les secteurs économiques tertiaires, il existe un potentiel considérable de trafic voyageurs de service et d'affaires qui réagit de manière très sensible aux durées de parcours et apprécie hautement les vitesses commerciales élevées.

Exigences imposées par les utilisateurs aux chemins de fer à grande vitesse

L'objectif de tous les efforts en vue d'aménager et d'accélérer le trafic voyageurs ferroviaire à grande distance doit s'orienter sur la satisfaction des besoins et des exigences de la clientèle. C'est pourquoi la Deutsche Bundesbahn procède depuis des années à des analyses approfondies de la structure des voyages longue distance. Les résultats montrent que les trois marchés partiels ci-après :

- voyages de service et d'affaires,
- voyages pour congés de courte durée,
- voyages pour d'autres motifs.

sont les plus sensibles aux durées de parcours et qu'ils doivent donc être considérés comme groupes-cibles pour une offre de transport rapide. Le plus grand potentiel de trafic voyageurs à grande distance est constitué, avec près de 80 %, par le trafic individuel routier. Pour le chemin de fer, il s'agit

donc, non seulement d'acquérir de nouveaux trafics, mais aussi d'amener l'automobiliste au rail. Comme le nombre des voyageurs qui choisissent subjectivement l'automobile est nettement plus faible que le nombre total des automobilistes, une limite potentielle des gains de trafic du chemin de fer ne saurait dépasser une certaine valeur, même si la vitesse commerciale du chemin de fer croissait dans des proportions extrêmes.

Qu'il nous suffise, à ce sujet, de dire d'une manière tout à fait générale que la vitesse moyenne de transport du chemin de fer devrait dépasser d'environ 50 % celle de l'automobile s'il voulait absorber les pertes de temps subies par ses utilisateurs pour se rendre respectivement de chez eux et de leur point de destination à la gare, et offrir en outre un attrait incitant à opter pour le voyage par fer. Or, la structure du réseau de chemin de fer d'Allemagne ainsi que d'autres pays sera caractérisée à terme prévisible par trois types de lignes :

- les lignes nouvelles pour les vitesses maximales ;
- les lignes modernisées pour des vitesses élevées et éventuellement maximales ;
- les anciennes lignes sans augmentation de vitesse appréciable.

C'est pourquoi il faut déterminer séparément la vitesse de transport réalisable sur chaque relation, même en trafic international ouest-européen. En tout état de cause, elle ne saurait être déduite d'une seule vitesse maximale.

L'une des caractéristiques de qualité importantes du service offert par le chemin de fer réside dans le trafic cadencé, qui devrait être réalisé non seulement sur quelques lignes, mais si possible sur l'ensemble du réseau. Avec le système cadencé IC, la Deutsche Bundesbahn a enregistré depuis 1979 des résultats très positifs. A long terme, il conviendrait également de chercher à étendre l'horaire cadencé au service international, car il possède un très fort impact publicitaire et constitue une réelle alternative à l'automobile disponible en permanence.

L'offre de transport, caractérisée par la durée de parcours, la distance, la fréquence de desserte et la fréquence de changement de train, est à déterminer explicitement pour chaque relation d'une zone d'analyse (par exemple en république fédérale d'Allemagne dans 400 cellules de trafic pour près de 160 000 relations). Pour cette tâche complexe, il a été mis au point dans notre institut un système-modèle qui, à partir du réseau de trafic, calcule par relation les caractéristiques d'offre suivantes :

- durées de parcours,
- distances,
- fréquences de desserte,
- fréquences de changement de train,

en tant que valeurs d'entrée pour le modèle de demande.

Problèmes d'interconnexion

Ce qui saute aux yeux dans tous les systèmes de chemin de fer à grande vitesse, c'est qu'ils ne possèdent qu'un petit nombre de points d'accès, qui sont généralement d'autant plus distants les uns des autres que la vitesse

de pointe augmente. Dans les vitesses de marche de 200 à 250 km/h dont il est question ici, les distances moyennes entre arrêts devraient se situer entre 100 et 300 km. Dans tous les cas, il faut qu'il existe dans les gares des possibilités de passage à d'autres systèmes de transport, surtout au trafic urbain et suburbain des grandes agglomérations.

Dans le présent exposé, on se limitera aux problèmes posés par l'interconnexion entre le chemin de fer conventionnel et le chemin de fer magnétique, donc entre deux systèmes de chemin de fer à grande vitesse. Ces problèmes se poseront lorsqu'on construira la première installation de référence importante de chemin de fer magnétique destinée au trafic public à grande distance.

Les chemins de fer magnétiques à grande distance conçus pour des vitesses maximales (300 à 400 km/h) ne pourront être construits, pour des raisons de rentabilité, qu'entre les grands centres urbains possédant un volume de trafic correspondant. Si les gares de ces chemins de fer sont installées « dans la nature » à l'extérieur des centres urbains, on aura généralement de longues durées de trajet pour la desserte terminale des véritables points d'origine et de destination du transport. Il faudra évidemment aussi créer l'infrastructure nécessaire à cette desserte. Le raccordement des grands aéroports montre ce que cela suppose en général comme investissement et quel temps supplémentaire le voyageur devra prendre en compte par rapport au parcours uniquement automobile de l'origine à la destination.

Si les chemins de fer magnétiques pénètrent directement dans les centres de trafic, on aura également des problèmes de raccordement. Jusqu'à présent, le seul exemple notable connu de pénétration d'un chemin de fer non conventionnel dans un centre-ville est le Allewegbahn de Tokyo. Dans l'état actuel des connaissances, les lignes de chemin de fer magnétique sont généralement conçues sous forme de poutre reposant sur des piliers. Mis à part les problèmes d'urbanisme qu'il faudra résoudre en l'espèce, on pourrait envisager un tracé commun avec des lignes ferroviaires existantes. Quant à savoir si une infrastructure dite « bivalente » chemin de fer conventionnel/magnétique est possible au plan technique et de l'exploitation, c'est là un point qui est actuellement examiné dans notre institut dans le cadre d'une étude de recherche.

Une comparaison des deux possibilités différentes de raccordement amène à conclure qu'un chemin de fer magnétique ne peut mettre pleinement à profit sa vitesse élevée que si les gares sont situées à l'extérieur des centres urbains (comme pour les aéroports). C'est ainsi seulement qu'un tracé réservé uniquement aux vitesses maximales sera possible. Toutefois, dans la réalisation d'un tel chemin de fer magnétique, il faut compter avec des pertes de demande, qui s'expliquent par les résistances de desserte et de raccordement avec le réseau.

En résumé, il convient, en ce qui concerne les problèmes de raccordement, de retenir ce qui suit : si l'on suppose que les problèmes techniques et d'exploitation relatifs à l'introduction et au raccordement des chemins de fer magnétiques à d'autres systèmes de transport sont solubles, il y aura en tout état de cause des pertes de temps aux points de raccordement, qui devront être compensées grâce au chemin de fer magnétique par une augmentation correspondante des vitesses d'acheminement.

La vitesse d'acheminement adaptée au chemin de fer magnétique et dictée par des motifs de concurrence devra être de toute façon étudiée avec soin, si l'on considère que :

- tous les centres importants d'habitat sont reliés entre eux, de manière satisfaisante, voire très satisfaisante, par des liaisons aériennes et ferroviaires ;
- les chemins de fer déploient des efforts considérables pour augmenter leur vitesse commerciale et atteindront probablement sous peu 150 km/h sur une assez grande échelle ;
- le groupe d'utilisateurs sensible à la durée de parcours est relativement limité, tout au moins en ce qui concerne les vitesses très élevées (et donc probablement les prix de transport élevés).

C'est pourquoi il demeure nécessaire de poursuivre des travaux de recherche approfondis, étant donné que l'état d'avancement des méthodes d'analyse concernant le trafic voyageurs à grande distance ne répond pas encore aux exigences posées.

Détermination du volume de trafic

Les réflexions qui précèdent font ressortir les multiples facteurs d'influence qui doivent être pris en compte dans la détermination du volume de trafic de chemins de fer à grande vitesse. L'éventuelle augmentation de trafic consécutive à la réalisation d'un système de chemin de fer à grande vitesse est imputable à l'accroissement général de la mobilité dû au développement socio-démographique et socio-économique, à l'accroissement de la mobilité résultant de la modification de l'offre de transport et aux transferts intervenus entre les moyens de transport. Le système-modèle de détermination du volume de trafic devrait donc être conçu sous forme de projet-modèle et de prévision sensible aux mesures prises. Il devrait déterminer la demande de transport au cours d'une année de prévision et définir de manière sensible les effets de la demande induits par l'offre de transport.

A côté des caractéristiques de l'offre de transport, il faut tenir compte tout spécialement, dans le calcul de la demande concernant le chemin de fer magnétique, des tarifs dans la structure de modèle. Pour certains segments isolés des voyages privés, le prix du transport est le facteur qui décide du choix du moyen de transport.

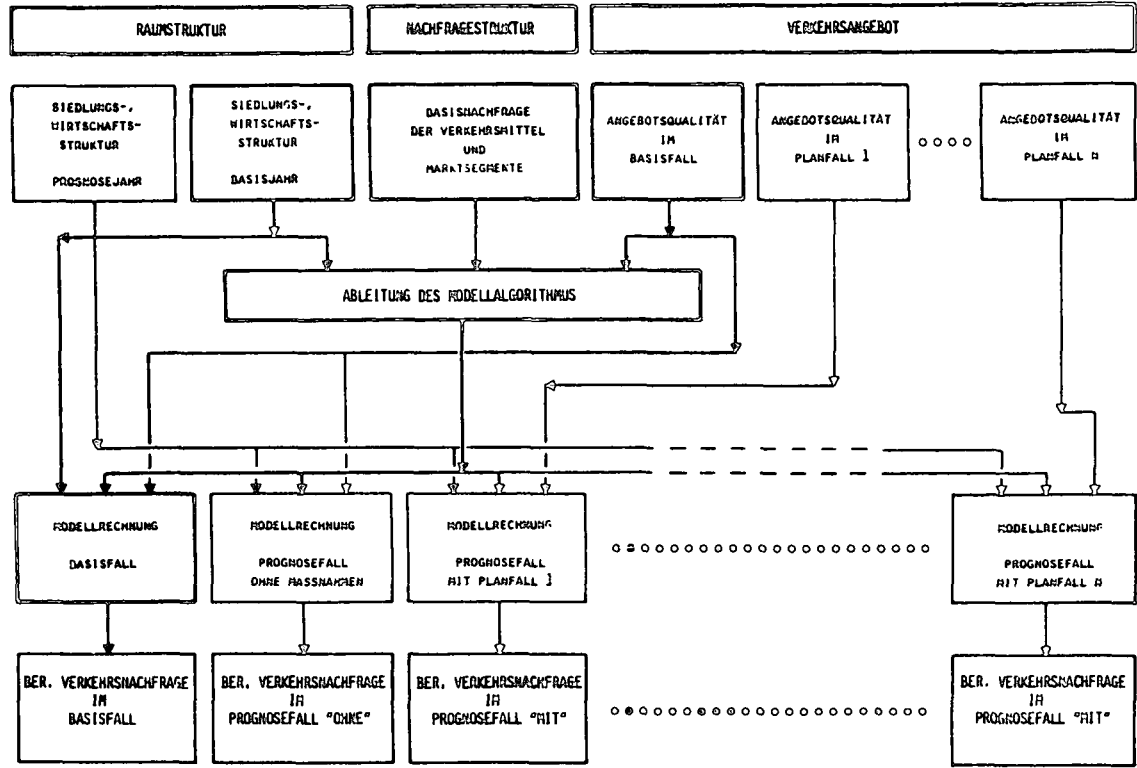
Dans une analyse de la demande de transport et du comportement des usagers au cours d'une année de base, il convient de mettre au point un algorithme-modèle qui réponde aux exigences décrites. Cet algorithme devrait refléter, pour chacun des segments de marché du trafic voyageurs à grande distance, le comportement des voyageurs en situation de choix.

A partir des décisions de planification envisageables pour un système de chemin de fer rapide, y compris son raccordement aux systèmes existants, il faut déduire des cas de planification pour l'ensemble du système de transport. Sur la base de ces cas de planification, il convient, à l'aide de l'algorithme-modèle mis au point, de calculer la demande de transport pour une année prévisionnelle.

Ce qui posera à l'avenir des problèmes particuliers en matière de trafic par chemin de fer à grande vitesse, c'est la répartition des tâches entre le

chemin de fer conventionnel hautement développé et le nouveau chemin de fer magnétique, dont on peut distinguer le moment où il sera apte au service opérationnel. Les réseaux de lignes améliorés des chemins de fer européens et une nouvelle génération de véhicules aptes aux grandes vitesses constitueront une concurrence non négligeable pour le chemin de fer magnétique.

Même si le chemin de fer magnétique ne doit être considéré actuellement que comme une option pour le trafic voyageurs rapide à grande distance du siècle prochain, il faudrait néanmoins, s'il devait s'avérer apte au service opérationnel, réaliser une installation de référence de grande envergure en Europe Occidentale, pour autant que le volume de trafic à escompter promette une rentabilité adéquate.



MODELLRECHNUNGEN ZUM VERKEHRSAUFKOMMEN

ANLAGE

Etudes relatives au corridor Paris – Bruxelles – Cologne

M. Forton
Ministère de la Communication

BELGIQUE

Lorsqu'on se penche sur l'évolution passée du système des transports européens, on constate que trois facteurs principaux l'ont influencé.

– La division politique, en premier lieu, a limité les échanges au travers des frontières nationales. Les conditions d'accès se sont, en fait, le plus souvent développées de manière indépendante et nationale, ce qui a conduit à la formation d'un système de transport multiradial.

– Les conditions géographiques, en deuxième lieu, influençant et, dans certains cas, accentuant les divisions politiques, ont également modulé l'offre de transport.

– Enfin, l'évolution et les progrès technologiques ont de plus en plus conditionné la forme et le contenu du système des transports.

Entre 1950 et 1970, le rythme de développement de ce système s'est considérablement accéléré, en raison de l'expansion démographique urbaine, de la croissance économique et des progrès techniques.

C'est essentiellement l'expansion sans précédent des transports routier et aérien qui a permis d'absorber la demande.

La situation telle qu'elle se présentait au début de la décennie précédente n'était cependant pas favorable en tous points : le développement des modes s'était réalisé principalement sur une base uni-modale, et donc non-intégrée, la structure radiale des réseaux routier et ferroviaire restait prédominante et le traitement des liaisons interurbaines de première importance avait été privilégié.

Sur un plan externe au système des transports, certaines critiques pouvaient également être présentées : l'expansion des transports avait engendré des nuisances, notamment à la périphérie des villes par suite du développement des infrastructures routières et aéroportuaires, et favorisé la forte croissance d'une consommation énergétique d'origine pétrolière.

La demande n'a pu ainsi être satisfaite que par une offre présentant des inconvénients qui se sont révélés de plus en plus dérangeants depuis une

quinzaine d'années. La crise économique a également eu pour effet de mettre ces inconvénients en valeur.

Il est apparu nécessaire aussi de rendre le système de transport plus rationnel, les différents opérateurs plus complémentaires et de mieux équilibrer la distribution de l'offre.

Il est apparu également, qu'un développement plus harmonieux des différents modes de transport devait être assuré. Le rail, bien qu'il fût maintes fois prouvé que sa compétitivité soit très bonne pour des voyages de moyennes distances de l'ordre de 300 à 600 km, voyait sans cesse sa position relative se détériorer. Jusqu'il y a peu, l'offre ferroviaire de base restait en fait trop fortement dépendante de la structure originelle des réseaux, fixée il y a maintenant plus de cent ans, et n'avait pas encore tiré un avantage marquant des progrès technologiques.

Ces grandes tendances ne pouvaient se prolonger indéfiniment puisque, en quelque sorte, l'impasse était au bout du chemin.

C'est pourquoi, dès le milieu de la décennie 1960-1970, des recherches importantes et fondamentales furent mises en chantier pour développer des systèmes guidés à grande vitesse. C'est pourquoi, aussi, une réflexion de douze pays européens, menée en collaboration avec trois organisations internationales gouvernementales, a porté sur l'avenir des transports de voyageurs en Europe à l'horizon 2000.

L'ensemble de ces considérations montre à tout le moins qu'un intérêt de plus en plus marqué pour les transports guidés à grande vitesse était non seulement observé, mais également nécessaire.

Une nouvelle étape de l'évolution contemporaine du système des transports s'est alors progressivement mise en marche.

Quels que soient ses avantages et ses inconvénients, quelles que soient les pressions externes qui, comme la crise économique, ont quelque peu tempéré l'optimisme et l'enthousiasme de la fin des années 60, le processus s'est poursuivi. Il se poursuit d'ailleurs toujours actuellement puisqu'on a pris pleinement conscience que l'accroissement des vitesses, limite de fait les distances et réduit les obstacles entre les pays et que les flux de voyageurs, notamment ceux trouvant leur origine dans les voyages interurbains et internationaux, continuent de croître.

Le grand mérite des diverses investigations menées dans le domaine des transports guidés à grande vitesse fut de prouver la faisabilité technique et de laisser entrevoir des perspectives favorables au niveau socio-économique. On se souviendra à cet égard que l'étude sur l'avenir des transports de voyageurs en Europe avait cité un certain nombre de relations européennes pour lesquelles des investissements d'infrastructures ferroviaires nouvelles pouvaient économiquement se justifier, notamment le triangle Paris-Londres-Bruxelles, Paris-Lyon, Milan-Rome et Stuttgart-la Ruhr.

De fait, on a constaté que plusieurs de ces relations, mais aussi quelques autres situées en Europe ou au Japon, ont été l'objet d'une amélioration substantielle, voire radicale de l'offre. A la base, on retrouvait une initiative d'inspiration nationale.

Cependant, les problèmes de transports internationaux se posant sans cesse avec plus d'acuité et les possibilités techniques étant toujours plus grandes,

il est apparu de plus en plus justifié de considérer la dimension internationale du problème et de tenir compte d'une approche plus globale, plus européenne, afin de compléter les approches nationales distinctes.

C'est dans cette optique, et après avoir déjà pu juger le bien-fondé de certaines réalisations, que les ministres des Transports de la France, de la république fédérale d'Allemagne et de la Belgique se sont réunis le 18 juillet 1983 et ont décidé de créer un groupe de travail tripartite chargé d'examiner l'ensemble des problèmes techniques, économiques, sociaux, financiers et juridiques d'une éventuelle liaison rapide entre Paris, Bruxelles et Cologne.

En prenant cette décision, les trois ministres ont également tenu compte des travaux en cours sur les trains rapides, menés dans le cadre du groupe « Technologie, Croissance, Emploi » issu du sommet de Versailles et conforme au sommet de Williamsburg et dans le cadre du groupe bilatéral de coopération scientifique et technique en matière ferroviaire.

Tels qu'ils ont été tout naturellement organisés, les travaux de la première phase des études relatives au corridor Paris-Bruxelles-Cologne constituent, en fait, une application directe et concrète des différents thèmes abordés dans le présent séminaire, que ce soit en ce qui concerne l'offre, la demande, le bilan financier, le bilan socio-économique, les aspects juridiques et institutionnels ou encore les questions de financement.

L'étude de cette liaison dépasse même par de nombreux aspects les limites des principales investigations menées jusqu'à présent puisqu'elle met pratiquement en œuvre la coopération et la collaboration internationale dans un but précis, et qu'elle nécessite en conséquence la réalisation d'une synthèse entre les préoccupations légitimes des différents Etats concernés. A ces différents égards, on citera, par exemple, comme points particulièrement complexes à traiter dans un contexte international la solution à donner à certaines questions techniques, la détermination des principes à retenir pour la répartition des coûts et des recettes entre les intervenants, la mise au point d'un texte d'accord international et les problèmes relatifs aux aspects de coopération industrielle entre les partenaires, soit un ensemble de sujets dont il ne s'agit pas de se préoccuper dans le cas d'une liaison exclusivement nationale.

L'examen préliminaire qui a été réalisé jusqu'à présent s'est concentré sur les grandes options et orientations possibles, afin de permettre et d'éclairer les choix politiques et des décisions éventuelles concernant l'approfondissement des études et l'optimisation des résultats. Il n'aurait pu d'ailleurs en être autrement en raison du très court délai imparti pour déposer les conclusions de la première phase des travaux.

En réalité, moins d'une année a pu être consacrée par le groupe tripartite à l'accomplissement de sa mission.

Il n'empêche qu'un travail intensif au sein de trois sous-groupes a permis de répondre globalement à la demande des ministres, tant en ce qui concerne la technique roue-rail qu'en ce qui concerne la technique de sustentation magnétique, c'est-à-dire pour les deux techniques qu'il convenait de prendre en considération dans les études. Le degré de précision atteint pour l'une et l'autre est cependant fonction du fait que la technique roue-rail, y compris à grande vitesse, est déjà connue pour être exploitée commercialement, tandis que la technique de sustentation magnétique, qui n'a pas encore été

éprouvée, doit encore faire l'objet d'une étude de faisabilité et de développement.

La pré-étude menée par le groupe tripartite a consisté, pour l'essentiel, à esquisser plusieurs solutions de tracé, sans doute parmi d'autres, à mettre au point un programme d'exploitation non optimisé et fondé partiellement sur des prévisions de trafic rapidement estimées et à présenter pour une seule variante de tracé, le tracé dit de référence, des indications concernant la rentabilité financière du projet considéré dans son ensemble.

Le tracé de référence choisi entre Paris, Bruxelles et Cologne est long de 522 km ; il comporte 419 km de ligne nouvelle dans le cas de la technique roue-rail.

En tenant compte d'une vitesse commerciale moyenne de 240 km/h sur les tronçons de ligne nouvelle dans le cas de la technique roue-rail et de 380 km/h en ligne dans le cas du système magnétique, les temps de parcours estimés entre Paris et Cologne, via Bruxelles, sont respectivement de 2 h 45 et de 1 h 50, contre 5 heures actuellement pour le meilleur train ; le trajet Paris-Bruxelles serait réduit d'une heure dans le cas de la technique roue-rail.

Toujours pour le tracé de référence, les coûts de construction et d'aménagement de l'infrastructure ont été évalués à 2 074 millions d'écus de 1983 pour la technique roue-rail et à 3 194 millions d'écus de 1983 pour le système magnétique dans l'hypothèse d'une ligne à double voie sur toute sa longueur.

Les prévisions de trafic ont montré que, par rapport à une situation de référence caractérisée par la non-construction d'une ligne nouvelle, le nombre de voyageurs augmenterait à l'horizon 1992 de 37 % pour le système roue-rail et de 42 % pour le système magnétique. Les investigations menées ont montré en outre que les accroissements de trafic les plus élevés s'observent là où le trafic actuel est le plus important. Tel est le cas des sections de ligne Paris-Arras, Arras-Lille et Lille-Bruxelles, pour lesquelles l'augmentation est respectivement de 39, 47 et 46 %, alors qu'elle n'est que de l'ordre de 21-22 % sur les sections Bruxelles-Aix et Aix-Cologne.

Une hypothèse unique a été établie en matière de programme d'exploitation ; elle fixe les dessertes des villes et les fréquences des trains sur le corridor, ainsi que les dessertes en amont et en aval qui seraient assurées par des trains directs dans le cas de la technique roue-rail ou par correspondances dans le cas du système magnétique. Ceci a permis de prendre en compte l'ensemble des effets de l'amélioration de l'offre sur le corridor.

En matière de principes tarifaires, on a retenu l'hypothèse selon laquelle le produit réel moyen par voyageur-kilomètre et les distances tarifaires restent identiques dans la situation avec liaison rapide et dans la situation de référence sans ligne nouvelle.

L'évaluation financière et micro-économique du projet n'a été réalisée que pour le tracé de référence, sur base de l'unique programme d'exploitation.

Dans le délai imparti au groupe, il n'a pas été possible d'optimiser les données d'entrée nécessaires à cette évaluation.

Dans ces conditions, le bilan proposé ne constitue qu'un exemple qui ne permet pas de tirer des conclusions définitives et précises, mais bien seulement de se faire une première idée de l'intérêt du projet.

Malgré toutes les incertitudes, inexactitudes et approximations liées aux études préliminaires du groupe tripartite, les résultats globaux qui ont été obtenus paraissent en tout cas suffisamment assurés pour envisager l'avenir avec un certain optimisme.

En effet, le bilan différentiel du projet, qui compare les coûts et les recettes du cas de la ligne nouvelle comprenant des liaisons par trains rapides avec la situation de référence sans liaison par trains rapides, et qui comprend également l'ensemble des effets sur les réseaux, tant dans le domaine des trains à grande vitesse que dans le domaine des trains classiques, sur les lignes appartenant au corridor et sur les relations en amont et en aval de celui-ci, conduit aux résultats suivants.

Une première indication est fournie par le résultat net annuel qui est calculé à partir de la date de mise en service de la liaison. Il correspond à la différence entre les recettes et les dépenses d'exploitation, y compris les charges de capital du matériel roulant, les charges financières et les amortissements des installations fixes. Dans le cas du système roue-rail, ce résultat est positif et équivaut à 30,5 millions d'écus dès la première année d'exploitation, soit 1992 par hypothèse de travail. Dans le cas du système magnétique, il ne deviendrait positif qu'à la fin de la dix-neuvième année d'exploitation.

Une deuxième indication est donnée par le taux de rentabilité interne de l'investissement, ou autrement dit, le taux d'actualisation qui annule le bénéfice actualisé. Dans le cas du système roue-rail, ce taux calculé sur 20 ans vaut 6,7 % et dépasse donc le taux d'actualisation égal à 6 %. Dans le cas du système magnétique, le taux de rentabilité interne est égal à 2,4 %.

On constate ainsi que ces premiers résultats globaux sont moins favorables pour le système magnétique que pour le système roue-rail. Il convient cependant de ne pas perdre de vue que les éléments de base utilisés pour l'établissement du bilan financier du système magnétique, notamment les coûts, n'ont pu être qu'assez grossièrement estimés ; par ailleurs, il doit être recherché, particulièrement dans le cas de cette dernière technique, si d'autres variantes de tracé, de tarif et d'exploitation ne peuvent pas améliorer sensiblement ces résultats.

A côté des résultats d'ordre financier, la première phase des études a aussi permis de recenser, soit de manière quantitative, soit de manière qualitative, un certain nombre d'éléments relatifs aux effets socio-économiques susceptibles d'être entraînés par la réalisation du projet. Ces effets concernent notamment les avantages procurés aux usagers, le surplus ou le manque à gagner pour les compagnies de transport, les avantages à l'échelon régional, l'impact en matière de consommation d'énergie et d'environnement et, très généralement, les avantages positifs ou négatifs pour les Etats et la collectivité. Globalement, et en toute première approche, les résultats de l'évaluation socio-économique tendent à confirmer, voire à renforcer les résultats positifs de l'analyse financière.

Il a ainsi estimé que la perte relative du trafic aérien sur les relations concernées par le projet serait respectivement de l'ordre de 25 % et de 35 %

dans le cas du système roue-rail et du système magnétique, avec des taux de détournement nettement plus importants pour les relations Paris-Cologne et Paris-Bruxelles.

Il a aussi été estimé que le trafic nouveau, autre que détourné de l'avion, s'éleverait à environ 4,5 millions de voyageurs dans le cas des deux techniques, avec un léger avantage pour le système magnétique ; le trafic reporté de la route représenterait entre 25 et 50 % de ce chiffre.

Par ailleurs, le nombre d'heures gagnées par les usagers s'éleverait au total de 15,5 millions dans le cas du système roue-rail et de près de 18 millions dans le cas du système magnétique.

C'est sur la base de cet ensemble de considérations succinctement décrites que les ministres des Transports de la France, de la république fédérale d'Allemagne et de la Belgique se sont réunis le 12 juillet 1984. A cette occasion, ils ont pris acte des résultats de l'étude préliminaire, qui leur ont paru suffisamment assurés pour mettre en évidence l'intérêt économique et social de la liaison rapide Paris-Bruxelles-Cologne ; ils ont confié au groupe tripartite le soin d'approfondir les études, de rechercher les meilleurs résultats dans les domaines techniques, économiques, financiers, sociaux et juridiques et de préparer pour la fin 1985 un nouveau rapport devant permettre cette fois de prendre les décisions utiles.

Le nouveau mandat d'études impartie au groupe consiste tout à la fois à approfondir et affiner les travaux de la première phase et à aborder et traiter les questions qui n'ont pu être encore examinées.

Il s'agira ainsi de définir de façon précise le tracé de la ligne dans ses diverses variantes, pour chacune des deux technologies et pour des choix d'aménagement différents, soit une ligne nouvelle, soit l'amélioration de lignes existantes, en prenant en compte l'ensemble des contraintes liées à la protection de l'environnement et à la pénétration des tissus urbains. Une estimation fine des coûts de construction, d'aménagement, d'entretien et d'exploitation devra être présentée pour chaque solution envisageable.

Il conviendra aussi d'affiner les trafics potentiels dans les diverses hypothèses examinées et, notamment, de préciser la demande en fonction du temps. Les programmes d'exploitation seront mis au point sur cette base, en considérant plusieurs systèmes de tarification.

De son côté, l'évaluation financière et micro-économique du projet donnera lieu à des exercices d'optimisation en fonction des diverses variantes ou hypothèses possibles. Du fait que le projet de ligne nouvelle concerne plusieurs Etats et qu'il sera sans doute très largement imbriqué dans des réseaux existants, principalement dans le cas de la technique roue-rail, il sera nécessaire que le bilan financier permette non seulement d'établir sa rentabilité globale, comme au cours de la première phase, mais également d'individualiser la rentabilité de chaque activité et de répondre aux préoccupations que chaque participant potentiel peut se poser en fonction de sa contribution et de son intérêt. Plusieurs hypothèses de répartition des coûts et des recettes devront à cet égard être présentées.

Cette évaluation financière devra être complétée par une appréciation approfondie de l'efficacité sociale du projet, en examinant l'ensemble de ses effets pour les usagers, les entreprises, les riverains et, plus généralement, pour l'environnement naturel et humain.

Enfin, il importera d'analyser en détail les divers types de montages juridico-financiers possibles, d'étudier les sources de financement auxquelles il pourrait être fait appel et d'établir une proposition concernant le contenu et la forme possibles d'accords fixant les engagements des divers partenaires.

Le nouveau mandat du groupe de travail reste très large. Par rapport au premier mandat, il s'est même considérablement élargi suite à l'accord récent marqué par le ministre néerlandais des Transports concernant l'association de son pays à l'étude du projet. Cette association paraît en tout cas tout à fait opportune puisqu'elle permettra aussi bien d'approfondir et de vérifier certaines analyses de la première phase que d'examiner de nouvelles solutions susceptibles d'améliorer la rentabilité du projet.

L'étude de la liaison prend ainsi une dimension internationale et européenne encore plus prononcée, ce qui est assurément de nature à constituer un pas très important vers la coopération des chemins de fer en Europe et à contribuer à l'extension des grandes infrastructures européennes de communication. Nul doute que par cette action de très grande envergure le système européen des transports peut trouver un meilleur équilibre bénéfique pour l'ensemble de la population et de l'économie.

