

# L'aventure du TGV

---

<b>Editorial</b> .....	3
‣ <i>Pierre Couveinhes (X1970)</i>	
<b>Introduction</b> .....	7
‣ <i>René d'Ambrières (X1970)</i>	
<b>Les souvenirs de Jean Dupuy</b> .....	11
‣ <i>Entretien de Jean Dupuy (X1948) avec Jean-Marie Metzler (X1962), François Lacôte (X1966) et René d'Ambrières (X1970).</i>	
<b>De quelques réflexions complémentaires sur le projet de ligne nouvelle de Paris à Lyon</b> .....	25
‣ <i>Jules Antonini (X1922)</i> <i>Accompagné d'une brève biographie de Jules Antonini par René d'Ambrières</i>	
<b>L'aventure des lignes à Grande Vitesse en France</b> .....	31
‣ <i>Jean-Pierre Pronost (X1963)</i>	
<b>La famille TGV, 40 ans de service commercial, 4 générations</b> .....	51
‣ <i>François Lacôte (X1966)</i>	
<b>La saga des records de vitesse</b> .....	81
‣ <i>Entretien de François Lacôte (X1966) avec René d'Ambrières (X1970)</i>	
<b>Comment le TGV a bouleversé la conception des gares</b> .....	89
‣ <i>Jean-Marie Duthilleul (X1972) et Etienne Tricaud (X1980)</i>	
<b>L'essor mondial du concept de Grande vitesse ferroviaire et les succès français sur le marché international</b> .....	103
‣ <i>Pierre-Louis Rochet (X1965)</i>	
<b>L'horizon états-unien du TGV : l'échec tient-il à la sociologie des acteurs et à l'essence de l'objet ?</b> .....	117
‣ <i>Arnaud Passalacqua (X1998)</i>	
<b>Les métamorphoses du modèle économique de la grande vitesse ferroviaire</b>	133
‣ <i>Yves Crozet</i>	
<b>Hyperloop et le mirage de l'hypervitesse</b> .....	147
‣ <i>Hervé de Tréglodé (X1970) et Yves Crozet</i>	
<b>Biographies des auteurs</b> .....	165



# Editorial

*Pierre Couveinhes*

---

## L'aventure du TGV

Ce bulletin est consacré à l'une des réalisations emblématiques de l'époque gaullo-pompidolienne, le TGV, qui a profondément reconfiguré la géographie économique de la France. En témoigne la carte figurant dans l'introduction de René d'Ambrières, qui montre comment les distances apparentes entre Paris et de grandes métropoles telles que Lyon, Lille ou Bordeaux ont été divisées par un facteur 2 voire davantage. Il est frappant de constater que plus d'un siècle plus tard, le chemin de fer a pu jouer un rôle disruptif analogue à celui qu'il avait eu au milieu de XIX<sup>e</sup> siècle<sup>1</sup>.

Le TGV ayant été lancé dans un passé assez récent, les coordonnateurs de ce bulletin ont pu obtenir des contributions des personnes mêmes qui étaient aux commandes du projet: ingénieurs ayant piloté la construction des lignes, conçu et fait fabriquer les grands équipements, ou vendu le concept à l'exportation, architectes ayant imaginé des gares d'un type nouveau, économistes ayant dès le début contribué au pilotage de l'opération et à sa rentabilité.

Lors de la préparation de ce bulletin, nous avons eu le privilège d'interviewer Jean

Dupuy (X1949), directeur du Matériel puis directeur général de la SNCF, le « père du TGV », quelques semaines seulement avant sa disparition. Ce dernier a donné des informations très précises sur les conditions dans lesquelles le TGV avait été décidé. En particulier, il nous a confié l'original de la note remise au général de Gaulle pour lui présenter le projet. Rédigée par Jules Antonini (X1922, secrétaire général de la SNCF de 1958 à 1974), ce document est maintenant conservé à la bibliothèque centrale de l'X. On en trouvera un *fac simile* dans ce bulletin, accompagné d'un carton manuscrit de l'auteur, précisant que la note avait été remise au Général le 19 novembre 1968, et que celui-ci avait répondu (favorablement) le 23 novembre à 13h. Antonini, grand résistant, devait avoir une ligne directe avec le Général...

Le style de la note est un peu surprenant pour le lecteur d'aujourd'hui, car il n'y figure aucun chiffre, et elle se termine par une citation de Vigny. On est cependant frappé par la permanence des problématiques et par la hauteur de vue dont fait preuve le rédacteur. Il affirme bien sûr que la ligne Paris-Lyon, qu'il s'agit de décider, sera « un projet hautement rentable, sans aléas », et cela s'est avéré exact. Mais

---

1. Voir à cet égard le bulletin de la SABIX n° 67 « La théorie et la pratique dans les travaux et la correspondance d'Émile Clapeyron et de Gabriel Lamé (1818-1835) ».

Antonini voit plus loin et comprend le rôle que pourra jouer le TGV en matière d'aménagement du territoire, dans une logique très saint-simonienne. Il anticipe les critiques de ceux qui souhaitent donner la priorité aux lignes de banlieue en développant cette argumentation: « pour la banlieue, la SNCF a fait tout ce qui a dépendu d'elle [...] Elle est prête toujours à s'associer à tout nouvel effort [...] Mais la SNCF n'est pas la Société nationale des chemins de fer de banlieue. Elle est la Société nationale des chemins de fer français. Elle se doit à tout le territoire ». Cette problématique banlieues/France périphérique ne semblerait pas déplacée dans l'actuelle campagne présidentielle !

Les trois articles suivants, consacrés respectivement à la construction des lignes à grande vitesse, au développement des matériels et aux records de vitesse ont été écrits par Jean-Pierre Pronost (X1963) et François Lacôte (X1966), qui ont joué un rôle central dans ces domaines. A la lecture de ces textes, on ressent la fièvre industrielle qui a saisi la France lors des fameuses Trente Glorieuses: une époque où les ingénieurs, à commencer par les polytechniciens, s'occupaient avant tout de technique et d'industrie, plutôt qu'à imaginer des montages financiers alambiqués; où ils savaient concevoir des innovations majeures dans l'industrie lourde, donnant des leçons aux Japonais, Allemands et autres Coréens; et ce, en mobilisant à la fois un bagage scientifique de haut niveau (la « mathématique de la dynamique ferroviaire » utilisée pour expliquer l'instabilité du bogie<sup>2</sup>) et une remarquable connaissance du terrain (les considérations de Jean-Pierre Pronost sur le choix du ballast et des traverses, ou sur l'art du terrassier).

Les résultats obtenus dans tous les domaines sont impressionnants. Pour ne donner qu'un exemple, entre la première et la quatrième génération, la puissance massique du moteur de traction TGV a été multipliée par 3. Et

le record du monde de vitesse sur rail a été porté à 380 km/h en 1981, puis 515.3 km/h en 1990 et enfin 574.8 km/h en 2007, un record qui tient toujours.

Mais le succès du projet n'est pas lié seulement à des considérations techniques. Les architectes Jean-Marie Duthilleul (X1972) et Étienne Tricaud (X1980) montrent comment le TGV a suscité un « retour des gares ». Après leur passé glorieux au XIX<sup>e</sup> siècle, celles-ci étaient devenues dans les années 1970 des bâtiments un peu honteux, que l'on s'efforçait de dissimuler, voire de faire disparaître. Grâce au TGV, elles ont repris une place centrale, devenant des lieux de vie au cœur des villes et des éléments de fierté pour les territoires. Et le concept développé par les deux architectes a été vendu dans le monde entier.

Les deux articles suivants sont consacrés à l'essor à l'exportation du modèle TGV. Le premier a pour auteur Pierre-Louis Rochet (X1965), qui a piloté pendant plusieurs décennies les ventes à l'étranger de ce modèle. On voit celui-ci s'imposer progressivement en Europe, choisi dès 1988 par l'Espagne, puis par la Belgique, les Pays-Bas, l'Allemagne et la Grande-Bretagne, avec les Thalys et Eurostar. Le « grand large » n'est pas oublié. La stratégie est fondée sur une approche marketing, consistant à identifier avec précision les atouts du TGV, puis à rechercher les cibles auxquelles il pouvait le mieux répondre. On est impressionné par l'agressivité sans complexe et l'habileté commerciale de ces Français, qui savent présenter des films en coréen en Corée, et en chinois à Taiwan, alors que les concurrents allemands ne disposent au mieux que de films en anglais. Le succès est au rendez-vous, tout au moins en Corée, mais le concept s'exporte plus difficilement dans les pays à structure fédérale. Ce point est détaillé dans l'article d'Arnaud Passalacqua (X1998), historien spécialiste des mobilités, qui analyse en détail les causes de l'échec aux États-Unis. Plus qu'à des raisons strictement techniques

---

2. Voir l'interview de Jean Dupuy dans le présent bulletin.

et économiques, celui-ci semble bien résulter des différences institutionnelles entre les États-Unis et la France, et des profils sociologiques très différents des négociateurs des deux parties.

L'article suivant, rédigé par le Pr. Yves Crozet apporte un éclairage économique particulièrement bienvenu, alors que le reste du numéro adopte plutôt un point de vue d'ingénieur. L'auteur souligne fort pertinemment que « La grande vitesse ferroviaire a été portée en France par des ingénieurs [...] mais aussi par des ingénieurs-économistes. » Et de fait, des analyses économiques ont été menées dès le début du projet de TGV Paris-Lyon. Celles-ci se sont avérées fort utiles pour convaincre le ministère des Finances et Raymond Barre en personne, comme le rappelle avec humour Jean Dupuy dans son interview... Par ailleurs, la rentabilité du projet a résulté, non seulement de l'augmentation du trafic, mais aussi de celle des recettes unitaires, grâce à une tarification fondée sur le *yield management*, permettant de faire payer davantage les voyageurs pressés à forte capacité contributive.

La rentabilité de la ligne Paris-Lyon s'est avérée excellente et conforme aux prévisions. Mais les élus locaux, qui au début ne voyaient dans le TGV qu'un outil destiné aux cadres supérieurs, ont vite compris l'atout que pouvait représenter un arrêt de ce train sur leur territoire, ainsi que l'avait anticipé Jules Antonini. Ils ont poussé à la multiplication du nombre de lignes et de gares intermédiaires, qui n'ont pas apporté les trafics attendus. Avec en plus la concurrence des lignes d'aviation *low cost*, qui pèse sur les tarifs, la rentabilité du TGV s'est progressivement dégradée et son modèle est aujourd'hui en question, notamment le Schéma national des infrastructures de transport (SNIT), pourtant voté à la quasi-unanimité du Parlement en 2009. Cela rappelle le sort du Plan Freycinet de 1878, qui visait à favoriser le développement

économique du pays en désenclavant les régions isolées, et a été remis en cause avant même d'être achevé.<sup>3</sup>

Mais aujourd'hui, le principal atout du TGV est peut-être la traction électrique, qui en fait un puissant outil de décarbonation du secteur des transports. Comme le relate Jean Dupuy dans son interview, ce choix a pratiquement été imposé aux décideurs par la ténacité des ingénieurs. Comme quoi il est bon que ceux-ci soient proches des circuits de décision quand il s'agit de choix techniques et industriels...

Le bulletin se termine par un article d'Hervé de Tréglodé (X1970) et Yves Crozet sur Hyperloop, le concept développé notamment par Elon Musk, qui est parfois présenté comme le « TGV du futur ». L'analyse détaillée menée par les auteurs laisse penser que ce projet pose encore des problèmes considérables, tant en matière technique que de sécurité et d'environnement, qui l'empêcheront probablement de déboucher avant longtemps. En outre, son coût très élevé devrait limiter son usage à une frange très aisée de la population, un peu comme les récents vols dans l'espace de multimilliardaires.

A ce modèle de « société à deux vitesses », on peut préférer celui du TGV, où l'innovation technologique associée au souci d'aménagement du territoire a permis d'offrir un service de qualité pour un prix restant raisonnable, tout en améliorant l'attractivité économique de la France, grâce à l'excellence des infrastructures.

J'espère que vous prendrez comme moi grand plaisir à la lecture de ce bulletin passionnant. Je remercie vivement les auteurs, et particulièrement René d'Ambrières et François Lacôte qui ont bien voulu en assurer la coordination.

---

3. Voir à cet égard le bulletin de la SABIX n° 58 « Autour de Charles de Freycinet. Sciences, techniques et politique ».



# Introduction

*René d'Ambrières*

---

Avec François Lacôte nous avons eu le plaisir de coordonner la préparation de ce numéro. Jusqu'à ce jour, le bulletin de la SABIX n'avait consacré que peu de choses aux chemins de fer français, auxquels de nombreux polytechniciens ont dédié leur carrière. Je n'y ai relevé que quelques contributions sur ce sujet : dans le n° 7, l'inventaire du fonds Freycinet, qui pourrait fournir matière à étudier le développement du réseau ferré à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, dans le n° 58, consacré à Freycinet lui-même, et dans le n° 48, un article que j'avais écrit sur la famille Pelabon, grande dynastie d'industriels du ferroviaire français.

Mais ce qui m'a frappé en préparant ce nouveau numéro, c'est l'extraordinaire enthousiasme avec lequel les acteurs du lancement du TGV ont accepté d'y participer. Ceci m'a montré à quel point l'aventure du TGV est un monument de l'histoire industrielle française, dont notre nation peut être fière.

Nous avons eu l'immense chance d'avoir pu recueillir le témoignage de Jean Dupuy, qui donne un éclairage lumineux sur le lancement du TGV. Bien malheureusement, il nous a quitté peu après.

Son récit illustre comment a évolué, à la fin des Trente Glorieuses, la conception du réseau ferroviaire français. Précédemment l'architecture du réseau SNCF était très axée sur le fret lourd, essentiel pour l'industrie de l'époque. Les lignes acceptaient des trains moyennement rapides et des charges à l'essieu élevées, mais seulement des pentes faibles. La création d'un réseau spécifique aux voyageurs, tel que celui du TGV, était une idée très nouvelle, qui était loin de faire l'unanimité. Beaucoup pensaient que cela ne justifiait pas de lourds investissements. Ils avaient tort car ce programme fut un succès économique et commercial. Renouant avec l'essor des chemins de fer du XIX<sup>e</sup> siècle, le TGV a suscité un trafic de voyageurs de masse sur les grandes distances, en divisant par plus de 2 les meilleurs temps de parcours : Paris Marseille se fait aujourd'hui en 3 heures au lieu de 6 h 40, au mieux, auparavant. La figure A illustre le raccourcissement des distances apparentes qui est résulté du développement du TGV.

## Les temps de parcours en TGV depuis Paris

o Position géographique des villes

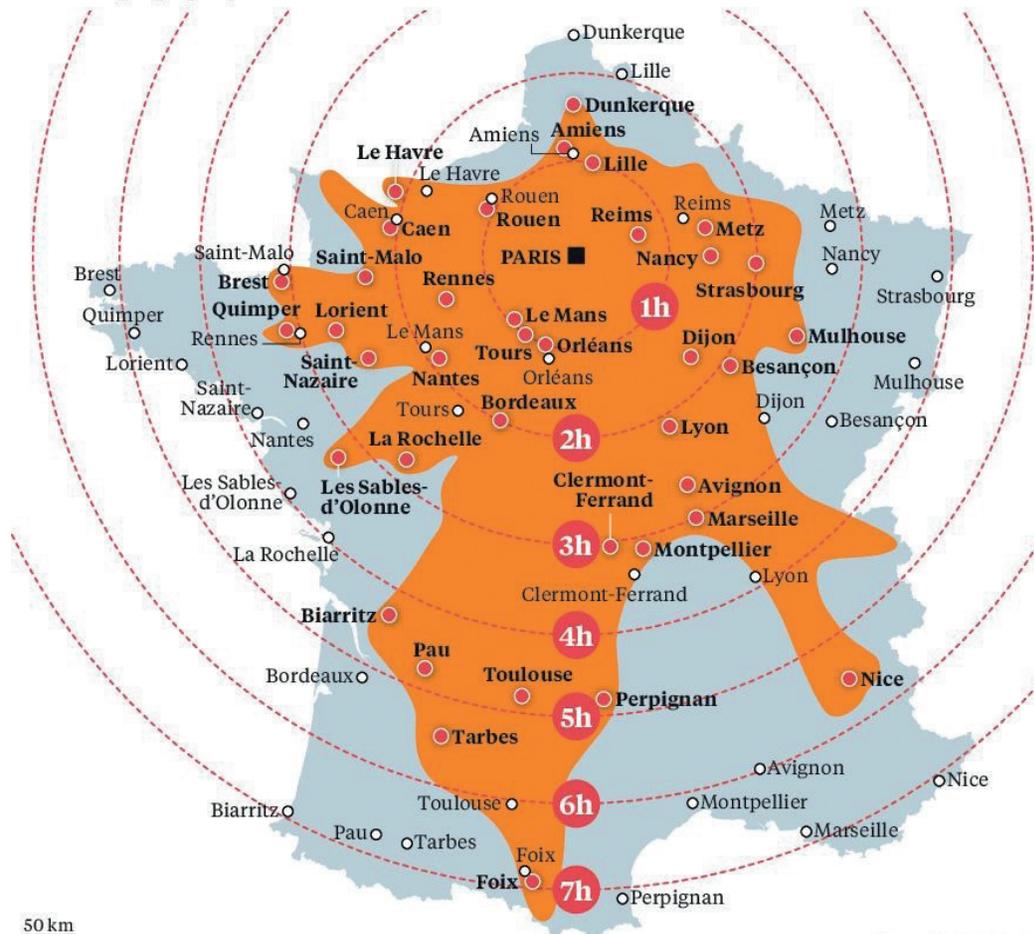


Figure A. Source: SNCF, RFF.

Un choix aussi important pour l'avenir nécessita l'implication de nos présidents successifs, celle d'abord favorable du général de Gaulle puis celle déterminante de Georges Pompidou. Et il faut saluer François Mitterrand qui, le jour où il inaugura la ligne nouvelle Paris-Lyon, le 22 septembre 1981, lança immédiatement le projet du TGV Atlantique.

Les concepteurs du matériel roulant de l'époque firent un choix de génie. D'abord favorables à la turbine à gaz, qui s'avérait avantageuse, ils se convertirent très rapidement à la traction électrique. Ce virage, motivé par l'indépendance énergétique nationale, la pollution, la crise pétrolière

etc. fut pris juste à temps, mais au dernier moment. On n'ose pas imaginer ce que serait aujourd'hui l'image écologique du TGV si on avait poursuivi avec un train à combustible fossile, dont les performances étaient pourtant assez remarquables. Saluons ce coup de maître qui, joué à temps, ne coûta rien.

Beaucoup de sujets ont pu être abordés dans ce numéro: le modèle économique du TGV et des déplacements à grande vitesse, la conception et la construction des voies nouvelles, les choix d'architecture pour le matériel roulant et les souvenirs des records de vitesse, l'exportation du TGV et de son concept, la reconception des gares et leur intégration

dans les villes. Nous concluons ce bulletin par un article dédié aux perspectives actuelles de la très grande vitesse terrestre, avec une analyse complète du projet anglo-saxon Hyperloop, dans lequel aucun polytechnicien ne s'est encore illustré... Mais force est de constater qu'aucun système de transport terrestre sur voie dédiée, aérotrain, train à sustentation magnétique etc. n'a réussi à supplanter le TGV au cours des cinquante dernières années et ce, en dépit de nombreuses tentatives, qui sont toujours d'actualité.

Le train est aussi un domaine technique où l'on établit des records de vitesse, ce qui donne une aura particulière au secteur, car ces records sont vécus comme de véritables aventures qui, racontées, font rêver les ingénieurs et souvent les usagers du TGV.

Le principal sujet que nous n'avons pu traiter est l'évolution de l'industrie ferroviaire qui a accompagné la production du TGV. A l'époque de son lancement, la France comptait deux

pôles ferroviaires principaux, celui d'Alsthom (selon l'orthographe de l'époque) et celui de Francorail. Si Alstom était une société structurée avec une division ferroviaire, Francorail restait un simple GIE commercial regroupant Jeumont-Schneider, De Dietrich et les ANF. Il disparut, progressivement absorbé par Alstom pour une part et Bombardier pour une autre. A l'époque, la concurrence était japonaise, canadienne et allemande, en 1989 les constructeurs anglais seront intégrés dans le groupe Alstom. Aujourd'hui la concurrence la plus puissante est chinoise et, en Europe, Alstom est devenu le numéro un du ferroviaire après avoir acquis Bombardier.

2021 a marqué le quarantième anniversaire de l'inauguration de la première partie de la ligne TGV Paris-Lyon : notre numéro arrive donc à point nommé, et je remercie vivement François Lacôte et tous les auteurs pour la coopération efficace qui nous a permis de le réaliser.



# Les souvenirs de Jean Dupuy

*(X1949 – directeur du Matériel,  
puis directeur général de la SNCF)*

---

*Entretien avec Jean-Marie Metzler (X1962), François Lacôte (X1966) et René d'Ambrières (X1970) tenu le 18 mai 2021, jour anniversaire du record de vitesse de 1990 à 515 km/h !<sup>1</sup>*



Deux mois avant sa mort, avec son brio et sa simplicité habituelle, Jean Dupuy nous avait confié ses souvenirs sur le TGV en vue de leur publication par la SABIX.

La transcription de cet entretien a volontairement préservé le caractère d'un dialogue, aussi lui avons-nous conservé sa vivacité, avec des expressions orales, imagées ou familières.

Beaucoup de noms d'ingénieurs de la SNCF ont été cités, illustrant combien cette épopée du TGV a été collective. Si tous n'ont pu l'être, leur mémoire reste bien évidemment présente chez tous ceux qui ont vécu, à tous niveaux et solidairement, cette aventure.

L'article cite beaucoup d'ingénieurs issus de l'École polytechnique, parmi ceux associés à l'histoire du TGV. À cette époque, de nombreux X étaient attirés par la SNCF, nous étions dans l'enthousiasme des Trente Glorieuses !

Car si la SNCF n'a jamais été un corps technique de l'Etat, les polytechniciens se sont trouvés nombreux dans l'encadrement et la direction de l'entreprise nationale. Ils apparaissent dans leur fonction au cours de l'entretien, afin de l'illustrer. Mais bien d'autres talents avaient rejoint alors la SNCF, comme le montrent les noms cités.

Et cet article se veut, tout simplement, un hommage à tous.

*Jean Dupuy. © Collection particulière*

---

1. Ndlr: Dans tout cet article, les questions posées à Jean Dupuy par les représentants de la SABIX figurent en italiques, de même que les titres de chapitre. On a ajouté entre crochets, dans le fil du texte ou en note de bas de page, quelques précisions ou commentaires apportés par la SABIX.

*La SNCF avant 1967 :  
Depuis l'avant-guerre, et jusqu'en  
1967, la réglementation interdisait  
aux trains de voyageurs des vi-  
tesses commerciales supérieures à  
120 km/h. Cela a-t-il freiné la SNCF  
dans ses progrès ?*

**J.D.** C'était effectivement la règle. Les cheminots de l'époque n'avaient guère envisagé d'aller plus vite. Ils pensaient que ce n'était pas possible en service et que ce n'était pas prudent. Le premier qui a brisé le tabou, avec le record de 331 km/h en mars 1955, c'est Fernand Nouvion, ingénieur Supelec, chef charismatique de la division des Études de traction électrique à la direction du Matériel.

*Nouvion, l'a-t-il fait de sa propre initiative ?*

**J.D.** Ange Parmantier [X1912] était certes le directeur du Matériel, mais Fernand Nouvion était quelqu'un à ne pas se laisser contraindre par quelque formalité réglementaire que ce soit, conduisant ses expérimentations sans état d'âme, entraînant des équipes SNCF formidables. Car, lors de ces essais de vitesse dans les Landes, sur la voie au sud de Bordeaux, il y avait dans la rame 60 collaborateurs, et pas un n'eut peur. Et pourtant, il y aurait bien eu de quoi : à 331 km/h (ou un peu avant), les bogies des locomotives du record sont entrés en « instabilité », mouvement de lacet incontrôlable, le bogie cognant et déformant la voie derrière lui...

*Le changement s'amorce !*

**J.D.** C'était le tout début. Il y avait tout de même le sentiment, la conviction, que l'on pouvait aller plus vite. Mais jusqu'où et comment ? Et finalement, le véritable travail qu'a accompli le projet TGV a été de définir les paramètres de la stabilité à grande vitesse d'un bogie sur ses deux rails. Paramètres constructifs en premier lieu, à savoir masse du

bogie, son empattement [ou « longueur »], amortissement..., et surtout... jusqu'où ne pas aller !

Et c'est là que la mathématique de la dynamique ferroviaire de l'un des ingénieurs de la division spécialisée de la direction du Matériel, Marcel Joly [docteur en mathématiques, chercheur au département des Essais] nous a bien aidés.

Grâce à sa présentation mathématique, j'ai compris pour la première fois cette instabilité du bogie : par l'exposé d'équations différentielles, dont la solution comprend des exponentielles, qui font apparaître le point de départ de l'instabilité. Destructrice à partir du moment où elle s'initie, il faut la bloquer au départ. C'est comme cela que sont nés les fameux amortisseurs à « front raide ». Ce n'était pas du tout la conception que l'on avait des amortisseurs, « historiquement » les plus linéaires possibles. Erreur, un amortisseur linéaire ne joue pas ici le rôle nécessaire, il lui faut non pas amortir mais bloquer le système. Je reviendrai plus loin sur ce « corps de doctrine » en matière de stabilité de la marche à grande vitesse.

Quant au tracé d'une ligne nouvelle, il doit beaucoup à Robert Geais [X1929, Ingénieur du service de la Voie à la région Nord], obnubilé par le fait que dans beaucoup de projets d'autoroutes nouvelles, comme Paris – Lille, on séparait les deux sens de circulation avec un « délaissé » de terrain souvent important entre les deux voies. Pourquoi ? Pour des questions de topologie des lieux certes, mais surtout pour se prémunir, on ne sait jamais, d'un gros pépin sur la voie de droite sans affecter la circulation sur la voie de gauche... Et Robert Geais de dire : « un délaissé pareil, jusqu'à une cinquantaine de mètres parfois, ce n'est pas possible, il faut l'utiliser » ! Pour des pipe-lines disaient les uns, pour des liaisons téléphoniques disaient les autres. Robert Geais, lui, voyait la meilleure solution avec l'installation d'une voie ferrée : on insère une plateforme à double

voie [de l'ordre de 15 mètres] sans aucun problème. Et Robert Geais de proposer [dès 1965 !] comme véhicule un obus, un bolide ferroviaire.

C'était le point de départ du « concept TGV ».

Il y a enfin un élément dont on ne parle jamais, l'intervention personnelle d'Edgar Pisani [ministre de l'Équipement jusqu'à fin avril 1967] dans cette problématique de l'augmentation des vitesses pratiquées en exploitation. Cela se passait début 1967, je m'en souviens comme si c'était hier. A l'époque, j'étais chef du service Matériel et Traction du Sud-Ouest, et on faisait dans les Landes des essais de vitesse. Mais il y avait aussi une section de ce réseau Sud-Ouest que nous aimions beaucoup, les Aubrais - Vierzon, au sud d'Orléans, rectiligne sur 70 km. Nouvion (toujours lui) y venait faire des essais; je regardais cela avec beaucoup d'intérêt et me souviens d'avoir monté une démonstration à 200 km/h pour Edgar Pisani, avec des bogies Y 24 aux roues reprofilées au tour. A l'époque les trains de la SNCF ne dépassaient pas 140 à l'heure; on se risquait, pour quelques trains, les *trains-drapeau*, à 160 km/h.

Alors on dit à Edgar Pisani: « Voyez, on peut aller plus loin, monsieur le ministre, à 200 km/h, et on voudrait faire quelques trains commerciaux à 200, notamment sur cette section ».

Le ministre de rétorquer: « Oui, c'est bien. Quand êtes-vous prêts à mettre cela en service ? » demande-t-il au président André Ségalat, [président de la SNCF de 1958 à 1975].

Question trop précise pour un président, il se retourne. Il y a là Camille Martin, le directeur du Matériel [X1925], tout le monde se regarde.

Conciliabule! Réponse: « Si on veut mettre en service proprement, il faut faire des voitures nouvelles, quelque chose qui marque le progrès. Alors, dans 3 ans... » (délai de construction pour de nouvelles voitures).

Et Edgard Pisani de se moquer: « Je suis d'accord, mais ce sera en service l'été prochain ». Alors là, panique! Et c'est comme cela que l'on porta la vitesse commerciale du train *Capitole* Paris - Toulouse à 200 km/h, en peignant les locomotives BB 9003 et 9004 en rouge et en utilisant des bogies Y 24 pour les voitures de voyageurs, qui n'avaient pas été conçus pour cette vitesse. Le successeur, Y 28, n'était qu'au début de son industrialisation. Mise en scène du service nouveau un peu pompeuse, voire même légèrement surjouée, annonçant aux passagers: « Attention nous allons rouler à 200 à l'heure »...

### *Les Japonais, en lançant l'exploitation du Tokaido en 1964, ont-ils été un aiguillon pour la SNCF ?*

**J.D.** Oui bien sûr. Je me souviens avoir fait, avec Paul Gentil [X1942, DGA de la SNCF à l'époque] et d'autres, un parcours sur le *Tokaido* à 210 km/h et avoir noté que nous n'avions pas la même conception pour obtenir la stabilité du bogie. Le bogie du *Tokaido* ne nous a effectivement pas séduits, et nous sommes revenus persuadés qu'ils n'avaient pas devant eux une capacité importante de progrès en termes de vitesse d'exploitation.

Cela dit, nous avons quand même été remués, d'autant plus qu'ils l'avaient fait vite, ce *Tokaido*. Et leur discipline d'exploitation nous a impressionnée: tout était si soigné, les conducteurs en uniforme et gants blancs avec leur casquette... L'impression d'être à... une revue militaire !

Oui, les Japonais nous ont donné envie. Mais, à dire vrai, il n'y en avait pas tellement besoin, on en avait naturellement envie.

### *L'Aérotrain*

**J.D.** On n'en parle pas, mais il y avait aussi le rival « Aérotrain » que le lobby de la turbine à gaz dominait. La SNCF ne l'a en fait pas

financé, et j'étais simplement le représentant de la SNCF au Conseil de la société en charge de ce développement.

L'Aérotrain a en fait été « tué » par des projets d'utilisation inadaptés. Olivier Guichard, patron de la DATAR<sup>2</sup> a obligé Jean Bertin [X1938, 1917-1975], qui ne le voulait pas, à construire une section d'essai au milieu de la Beauce, horrible ligne de béton au nord d'Orléans. Jean Bertin en était malheureux; je l'ai souvent entraîné dans les Landes pour faire mes essais et il me disait « Tu as de la chance, regarde: moi pour faire mes essais, je suis obligé de quémarder de l'argent ».

Il travaillait sur ses fonds propres...

Excellent ingénieur, qui n'avait pas les moyens de la SNCF derrière lui... Son projet était au fond inadapté au transport de masse, et il le reconnaissait. Seule une cible tout à fait particulière pouvait rendre le système défendable. Par exemple sur des parcours où la rapidité permet de pratiquer des tarifs élevés.

Un bon exemple, la liaison entre Orly et Roissy: il n'était pas gênant à l'époque de rajouter jusqu'à 100 F au coût d'un vol transatlantique pour une correspondance très rapide.

### *Après un échange sur la sustentation magnétique, Jean Dupuy de conclure :*

**J.D.** Le bon sens montre le rôle extraordinaire de la roue. Elle assure une sustentation gratuite et remplit tellement d'autres fonctions! En regard, la sustentation de l'aérotrain ou du train magnétique coûte cher.

La métallurgie de la roue, monobloc en acier à faible taux de carbone, a été un travail

conduit par Pierre Ravenet [Centrale 1936], avec le concours actif de Raymond Garde. Au long de ces travaux, on s'est rendu compte de l'existence d'un point d'équilibre, un « profil » d'usure de la roue, le creux de la table de roulement n'évoluant plus beaucoup au bout d'un certain nombre de kilomètres.

Du côté rail, il est intéressant de se rendre compte aussi que, pour le même train passant au même endroit, la position de cette table de roulement de la roue sur le rail est quasi-identique à chaque passage, phénomène attesté par le « quasi-trait », brillant, sur le rail.<sup>3</sup>

C'est d'ailleurs ce déterminisme physique extraordinaire qui justifie de fait l'approche théorique et mathématique du problème évoquée ci-dessus.

### *La création du service de la Recherche SNCF en 1966, on a appelé cela « la révolte des colonels ». Vous en étiez ?*

**J.D.** J'en étais, oui. Pourquoi ce groupe? EDF, qui était remarquablement dirigée par Marcel Boiteux, était en train de mettre en route la modernisation complète de son réseau. Nous autres cheminots, on voyait cela avec envie en disant: ils ont une capacité de proposer des choses nouvelles et nous, on est là à attendre! Plusieurs d'entre nous sont allés faire des visites au service de la recherche d'EDF. Et se sont dit: « Pourquoi ne pas créer chez nous une cellule pour faire pour notre part des propositions sur des choses nouvelles, de nature à mieux valoriser la SNCF et le Rail ».

Nous nous sommes réunis à cinq ou six, et sommes allés trouver Roger Guibert [X1926 directeur général de la SNCF], en lui représen-

2. Délégué à l'Aménagement du territoire jusqu'en mai 1968, ministre du Plan et de l'Aménagement du territoire du gouvernement Couve de Murville, puis de nouveau ministre de l'Aménagement du territoire des gouvernements Messmer.

3. Jean Dupuy avait tenu à rendre un hommage à la roue, intitulé « Hymne à la roue », au Congrès de Vichy des cadres du service du Matériel de la SNCF. Jean-Marie Metzler et François Lacôte s'en souviennent encore.

tant combien nous nous sentions « attardés » à la SNCF, végétant sur l'ancien, l'acquis. Et pourtant nous avions des idées à mettre en valeur, à formaliser, à « affiner » certes et à présenter. Le directeur général a fini par dire oui à un service de la Recherche. Et au total, ce service a accouché du TGV. Organisation mise en place par Bernard de Fontgalland [X1938, chef du service de 1966 à 1971], puis Marcel Tessier [X1939, adjoint puis successeur de Fontgalland], caractérisant puis classant les projets en classes, A, B... et projet dit « C03 » lancé en 1966 [intitulé « Possibilités ferroviaires sur infrastructures nouvelles »], mis en forme, justifié techniquement, et habillé par des arguments économiques. Pour autant, je ne crois pas que c'est l'énoncé et les justifications du projet en lui-même qui ont emporté la décision. La décision a été politique, nous le verrons plus loin.

La bataille a fait rage, on peut le dire, entre le ministère des Finances et ce que j'appellerais le clan SNCF sur le thème : « Fait-on, est-il raisonnable de faire, une ligne nouvelle entre Paris et Lyon ? »

Inutile de vous dire que la SNCF y tenait beaucoup pour plusieurs raisons ; la grande vitesse en était une, mais la raison essentielle, il ne faut pas l'oublier, c'est que la ligne telle qu'elle existait à l'époque était saturée. Le tunnel de Blaisy [Côte d'Or] était un goulet d'étranglement du trafic nord-sud du pays. La ligne de plus de 500 km était inutilement longue pour relier l'Île-de-France au Sud-Est du pays, ses détours préjudiciables au temps de parcours de la liaison majeure Paris - Lyon.

La SNCF avait certes envie de faire une ligne nouvelle [plus courte d'environ 90 km]. On verra plus loin laquelle. De l'autre côté, les Finances jugeaient le chemin de fer comme un « truc » à perdre de l'argent, à « en manger » !

### *Le temps de la décision : les présidents et les ministres*

**J.D.** En 1968, l'idée que l'on ferait une ligne nouvelle était donc loin d'être acquise...

Roger Guibert lui-même lâchait quelquefois : « Vous êtes des gâcheurs d'argent ». Les Finances restaient sur leur réticence, pour ne pas dire répulsion. Pour illustrer, je vous citerai le Premier ministre de l'époque, Maurice Couve de Murville<sup>4</sup>, reprochant à son ministre des Transports, Jean Chamant, de défendre, ou du moins de présenter le projet du service de La Recherche SNCF : « Qu'est-ce que c'est ce service Recherche, vous n'avez qu'à le supprimer ! »

Inutile de vous dire que c'était une « bagarre » débordant évidemment très vite au plan politique. Dans ce contexte, arrive le jour d'une réunion de chefs d'États européens à Paris. Au titre des visites prévues, on demande à la SNCF un parcours à grande vitesse sur la ligne des Landes entre Morcenx et Fature-Biganos [deux gares de la ligne].

La SNCF en pleine interrogation : « Est ce que l'on va la faire cette ligne nouvelle, ou pas ? ». Jules Antonini [Secrétaire général de la SNCF de 1958 à 1974] participait à ce voyage. Le Secrétaire général ne se déplaçait pas pour n'importe qui, il y avait du beau monde. A l'issue du petit amphi prononcé pour vanter les vertus de la grande vitesse, Jules Antonini – on ne l'abordait pas comme cela, il était, soyons francs, un personnage pour lequel on avait quelque déférence, quelque appréhension aussi - vient me voir, et me dit : « Dupuy, ta, ta, ta, moi je vous le dis qu'on la fera cette ligne nouvelle, et à grande vitesse ». Alors je lui dis, « Monsieur le Secrétaire général, c'est une bonne nouvelle », et Antonini poursuit : « Tiens », me remettant la fiche relative au projet TGV qu'il avait en personne portée au général de Gaulle<sup>5</sup>.

---

4. Gouvernement Couve de Murville juillet 1968 – juin 1969.

5. Ndlr : On trouvera dans le présent bulletin le *fac simile* de cette fiche intitulée « *De quelques réflexions complémentaires sur le projet de ligne nouvelle de Paris à Lyon* ».

Quoi qu'il en soit, en 1968 rien n'était acquis. Jean Marie [Metzler] rappelle souvent que je disais : « il y a beaucoup de pères au TGV », et je pourrais effectivement vous en citer beaucoup plus encore que ceux que notre entretien aura évoqués.

Mais aujourd'hui je vais vous offrir un scoop, vous donner le nom de ce « Père du TGV ». C'est Georges Pompidou, c'est lui qui l'a décidé. Tout autre président, et en particulier je pense à son successeur, ne l'eût pas fait. Georges Pompidou était incroyablement favorable au rail, ainsi que le Général d'ailleurs. Le Général, on lui réservait et préparait le train présidentiel. Georges Pompidou, lui, descendait tous les vendredis soir (ou presque !) en train dans sa maison à Cajarc. Une voiture [ferroviaire] lui avait été aménagée, à sa grande satisfaction.

En 1968 Giscard d'Estaing avait pris un poids politique important. Mais il n'appuyait guère le train ; il n'a d'ailleurs plus tard jamais utilisé le train présidentiel, à peine le train tout court. Et je crois honnêtement que s'il n'y avait pas eu Georges Pompidou, on n'aurait pas fait la ligne.

Quelles qu'aient pu être nos nombreuses contributions personnelles, techniques, économiques, chacun d'entre nous a apporté ce qu'il pouvait, et c'est pour cela que je dis qu'il y a eu beaucoup de pères. La décision était cependant une décision de nature politique. Elle le fut, et pour moi, sans aucune crainte de me tromper, le Père du TGV, c'est Georges Pompidou.

La décision a été prise en Conseil Interministériel le 6 mars 1974. Georges Pompidou [qui décèdera un mois plus tard] a mis la ligne nouvelle Paris – Lyon [et le programme électronucléaire] dans la liste des projets destinés à lutter contre l'élévation du coût de l'énergie ; le prix du pétrole « flambait ».

C'est d'ailleurs surprenant de voir comment les choses se sont vraiment présentées. En

annonçant cette montée raide et inéluctable, irréfragable, du coût de l'énergie, on disait : « Les réserves de pétrole sont limitées, bientôt on n'aura plus de pétrole ».

Je me rends compte qu'au fil des années qui ont suivi, la quantité de pétrole découverte a été de très loin supérieure à la consommation, si bien qu'aujourd'hui, on a encore de nombreux gisements qui pourraient être exploités et qui ne le sont pas. Comme quoi il est très difficile de prévoir... l'avenir !

A ce point, une expérience vécue extraordinaire, les réunions du « Comité interministériel » de suivi.

J'y ai assisté à partir de 1974. Y participaient le président et le directeur général de la SNCF, les deux adjoints de ce dernier, et le secrétaire général. L'échiquier politique se retrouvait autour de la table : la sensibilité de gauche avec le président André Ségalat, proche du Parti socialiste, de l'autre côté le secrétaire général Jules Antonini, faisant partie des cercles gaullistes issus de la Résistance. Chacun des deux faisant politiquement attention aux paroles prononcées, ambiance un peu... contrainte. Roger Guibert, le directeur général à l'époque, était lui un homme extrêmement détendu, charmant, « nature », disant les choses telles qu'il les ressentait. Il avait ainsi liberté de parole.

En étaient membres aussi le vice-président du Conseil général des Ponts et Chaussées, Roger Coquand [X1925] et Michel de Boissieu [vice-président de la SNCF]. Le directeur général adjoint tout récent que j'étais avait comme préoccupation essentielle de parler le moins possible. J'y ai appris des choses très intéressantes.

Giscard d'Estaing, président de la République élu en mai 1974, avait été toujours très méfiant vis à vis du chemin de fer. Et j'ai eu bien peur, malgré les décisions déjà prises, quand Raymond Barre, économiste et gestionnaire de premier ordre, fut

nommé Premier ministre<sup>6</sup>. Un beau jour, le Premier ministre nous appelle (quand je dis « nous », le Président amenait toujours ses combattants avec lui) et nous dit : « Je vous ai convoqués pour vous dire que vous arrêtez la construction de la ligne nouvelle à la partie Sud ». Les travaux étaient effectivement plus avancés de Saint Florentin [Yonne] à Sathonay [une dizaine de km au Nord de Lyon].

– « Vous arrêtez, mon budget n'est pas à l'équilibre, je n'ai pas d'argent à vous donner ».

– « Monsieur le Premier ministre, vous rendez vous compte, des voyageurs qui vont à Lyon, il y en a beaucoup, mais des voyageurs qui s'arrêtent à Montchanin, il n'y en a pas. Paris-Montchanin ou Montchanin-Lyon cela n'intéresse personne. »

– « Cela, c'est vos affaires, moi je n'ai pas d'argent et par conséquent vous arrêtez, vous ferez la deuxième moitié après. On verra quand on aura de l'argent. »

Cela se passait dans en 1976-77, trois ans avant la mise en service prévue. Consternation !

Ce n'était pas possible. Tout était engagé, les viaducs à moitié construits. On a essayé de le convaincre que c'était un gâchis d'argent. Cela a duré six mois. Sur le terrain les équipes de Paul Avenas [X1938, directeur de la ligne nouvelle Paris - Lyon] commençaient à désespérer. On a quand même continué en excitant de ce qu'il fallait achever les remblais pour des raisons de sécurité de tenue des terrassements. Ces raisons techniques invoquées, on a poursuivi des travaux, au ralenti, mais il a bien fallu de fait obtempérer.

Finalement, à force de ferrailler et grâce à l'administration, convaincue désormais de la solidité économique du projet, Raymond Barre est revenu sur son interdit et nous a permis de continuer. [Le tronçon nord a simplement été ouvert deux ans après celui du sud, inauguré en septembre 1981].

### *La maturation du projet C03*

**J.D.** Lancé par la SNCF à partir de 1966, le projet dit « C03 », cité plus haut, était la mise en forme élaborée de tous les éléments étudiés par les équipes techniques : voie, matériel, signalisation.

En ce qui concerne le matériel roulant lui-même, le projet se limitait aux caractéristiques d'ensemble. En revanche la question posée était le « Système d'exploitation » [capacité d'embarquement des convois versus fréquence des trains]. Dans la région Sud-Ouest par exemple, on faisait des trains voyageurs très longs et très lourds. Ainsi, des trains de 20 voitures entre Paris et Bordeaux. Seulement ces trains... il n'y en avait que 3 ou 4 par jour ! Avec le TGV, changement de mode d'exploitation : grande fréquence au lieu de forte capacité, fréquence dont l'intérêt économique était apparu chemin faisant.

Michel Walrave [X1954] a été à cet égard le cerveau de l'économie du projet. Il avait construit une modélisation du système qui permettait de faire varier les paramètres temps de parcours/prix/fréquence et de voir quel était l'effet produit. On lui demandait « la lune » (ou la boule de cristal)...

Ces réflexions ont conduit au choix de la rame articulée, décision lourde, car en rupture totale avec les modes d'exploitation antérieurs.

Ses avantages n'avaient pas été complètement soupçonnés au départ. Les qualités intrinsèques de cette architecture de construction sont apparues ensuite, avec des avantages déterminants : le fait de pouvoir abaisser le plancher parce que les « roues » étaient reportées en bout de véhicule, et donc des emmarchements de montée-descente beaucoup plus faciles. L'idée venait au départ de Fernand Nouvion, mais pour une tout autre raison : on économisait des bogies,

---

6. Raymond Barre cumula les postes de Premier ministre et de ministre des Finances d'août 1976 à mars 1978.

un bogie par voiture. Nouvion avait la préoccupation tenace de faire baisser les coûts. On s'est aperçu que cette ingénierie avait un intérêt formidable, non anticipé, de réduction de la résistance à l'avancement et de bruit émis. Très vite le concept de la rame articulée a éclaté comme le choix optimal.

Au cœur du projet C03, Michel Walrave a fait un travail remarquable, d'ordre, de rigueur. En présentant l'économie du projet en termes clairs et avec des méthodes qui ne pouvaient être prises en défaut, il a donné valeur, solidité, à l'argumentation de la rentabilité du projet, de manière difficilement contestable. Ce fut la cause essentielle du retournement du ministère des Finances, car l'objection « on n'a pas d'argent à donner à ces gens-là », tombait.

Cette conquête fut celle de tous les services, en particulier des directions du Trésor et du Budget du ministère des Finances. Conviction de toute l'Administration, qui a fini par se persuader que la rentabilité du projet était bien tangible et non pure spéculation.

J'en veux pour témoignage celui de quelqu'un qui nous a beaucoup aidé et qui a, par le fait, été l'un des pères, puisque l'on parle de pères du TGV : Louis Schweitzer. Il était à l'époque adjoint au directeur du Budget, adjoint très écouté du directeur et pas facile à convaincre. Inspecteur des finances, d'une honnêteté intellectuelle et d'une rigueur remarquable.

J'ai bien fait une vingtaine de déplacements avec Louis Schweitzer. Il présidait à l'époque les séances du comité n° 8 du FDES<sup>7</sup>, auprès duquel nous allions défendre nos budgets.

Effectivement, les essais étaient un bon moyen de montrer le sens de ces dépenses de recherche, leur finalité surtout. Le domaine d'essais de grande vitesse était au début la section de voie des Landes, puis plus tard la plaine d'Alsace, un peu aménagée. Je me

rappelle entre autres d'une tournée dans les Landes, visite de M. de Larosière, à l'époque directeur du Trésor, personnage bien sûr important. Précédée d'une autre, quelques temps auparavant, celle du président de la Saudi Bank. Ce dernier de déclarer devant moi au président Ségalat : « Monsieur le président il n'y a aucun problème, si vous le souhaitez, nous sommes prêts à financer le TGV ».

Et en écho, devant M de Larosière, le président Ségalat de dire : « Monsieur le directeur du Trésor, il n'y aura de charge financière pour l'État, nous avons des propositions. Moyennant des accords à établir, nous saurions monter ces projets entre industrie privée et État, comme pour les autoroutes ». La réponse du directeur du Trésor : « Je ne sais pas si la ligne nouvelle pourra être financée, mais si elle l'est, elle sera par l'État français ».

Ainsi, le projet TGV Paris – Lyon a-t-il été réalisé sans un sou de participation extérieure, par les autorisations données par le FDES aux investissements de la SNCF. Les finances publiques ne voulaient pas d'argent privé, décision de principe, même vis-à-vis d'autres propositions, nationales celles-là.

### *Après il y eut le passage du thermique à l'électrique ?*

**J.D.** Dans le projet C03 tel que soumis au gouvernement, seule était présentée la solution thermique avec la turbine à gaz, défendue année après année.

Mais petit à petit la solution électrique s'était présentée, puis imposée comme une nécessité.

La turbine à gaz présentait l'immense avantage d'un gain de poids considérable. Les efforts sur la voie (verticaux et transversaux) sont évidemment proportionnels à la masse

---

7. En charge des aides aux investissements des entreprises nationales du secteur des transports.

du matériel, et nous étions bien certains qu'en allégeant on diminuait ces efforts ( $F=m\gamma$ !).

Le record de 1955 orchestré par Nouvion à 331 km/h, avec la masse de la CC 7107 [motrice électrique], avait déformé la voie jusqu'à risquer le déraillement.

La turbine apportait donc l'avantage primaire de la puissance massique, même si ce n'est pas la même chose d'avoir un réservoir de kérosène ou de gazole que de disposer de toute la puissance du réseau EDF derrière soi. Tous, nous sommes devenus très favorables à la turbine. L'adaptation des turbines d'hélicoptères de TURBOMECA a été extraordinaire. Avec très peu de masse, on arrivait à avoir des puissances de l'ordre de grandeur de celles des moteurs diesels, des mastodontes. Je me rappelle être allé plusieurs fois à Villaroche [centre d'essais de la SNECMA] assister à des essais avec mon camarade Michel Viret [X1947], responsable des essais de turbines.

C'était merveilleux de voir ce que de si peu de masse on arrivait à tirer comme puissance. Pour ce qui est de la chaîne aval d'emploi des turbines [la « chaîne de traction »], la solution a priori classique était celle-ci : la turbine alimente une génératrice de courant continu, et la génératrice alimente des moteurs de traction comme si c'était une locomotive électrique. On avait pourtant des partisans d'une transmission mécanique directe, qui posait d'autres problèmes.

Mais, au fur et à mesure que l'on avançait, nous nous sommes rendu compte chaque jour un peu plus que la turbine, cela n'irait pas. Autant vous dire qu'il y a des acteurs de la défense de ce projet qui en ont souffert, notamment le président Ségalat. Quand nous sommes venus lui dire : « on ne fera pas le TGV en turbotrain, on le fera en électrique », la réponse fusa : « vous allez compromettre le projet. C'est fini. On a dit une chose. On change. Ce n'est pas sérieux ! ».

La crise de l'énergie nous a aidés et, honnêtement, ce n'était en fait pas faisable avec la turbine. Cela a été un drame, on avait tout présenté avec. Mais il y avait un tas de raisons pour passer à l'électrique. Une qui n'avait l'air de rien et était finalement déterminante : la pollution.

Je me rappelle avoir eu un choc un jour en montant vers 11 heures dans le hall de la gare Saint-Lazare, je revenais du 88 voisin [rue Saint Lazare, à l'époque siège de la SNCF]. En gare, des matériels qui nous ont donné beaucoup de satisfaction, appelés « RTG » [pour Rames à Turbine à Gaz]. Bien fabriqués par les ANF<sup>8</sup>, aux bogies très légers, desservant Paris-Caen-Cherbourg dans de très bonnes conditions. Ils nous ont montré ce qu'apportait à la vitesse cette légèreté du bogie.

Les deux RTG en cause venaient d'arriver et de déposer les voyageurs. Il y en avait deux autres au départ... J'ai cru m'asphyxier en entrant dans le hall tellement cela sentait les odeurs d'échappement. Horrible ! Je me suis dit qu'avec le TGV, on aurait en gare de Lyon au moins une demi-douzaine de rames en permanence simultanément. Le trafic de Paris-Lyon ce n'est pas celui de Paris-Caen-Cherbourg !

Et j'ai réussi à convaincre le président Ségalat, bien ennuyé. Il avait défendu mordicus le turbotrain devant les Finances et le gouvernement, et il fallait changer d'avis, dire : « non c'est l'électricité ». Finalement il devint inéluctable d'avouer notre impuissance. C'est André Ségalat qui prit la responsabilité de dire : « non, le TGV on le fera en traction électrique ». De toute façon on se rendait compte que l'on était aux limites de puissance de la turbine.

---

8. Ndlr: Ateliers de construction du Nord de la France (ANF Industrie) à Crespin/Blanc-Misseron près de Valenciennes.

*Est-ce que cela aidé Georges Pompidou à prendre la décision en faveur du TGV ?*

**J.D.** Non, parce qu'à l'époque où Pompidou a pris la décision, on était encore très turbine.

*Donc en 1974 c'était une décision turbine ?*

**J.D.** Oh oui !<sup>9</sup>

*Le déroulement et les enseignements des essais*

**J.D.** Pour présenter le projet C03, on a parlé d'abord d'une exploitation à 260 km/h, ce qui permettait de relier Paris à Lyon en 2h00. Michel Walrave insistant, on a parlé de 300. A la livraison du TGV 001 en 1972, on parlait, comme cela, joyeusement, de ces 300 km/h. Quand on a reçu ce 001, je me suis dit, on va voir ce qu'on va voir !

Or, le TGV prototype ayant bien usé ses roues les premiers mois de circulations d'essai en quelques petites dizaines de milliers de kilomètres, voilà qu'une fois atteints 220 km/h, les bogies « gigotaient » tellement qu'André Prudhomme [X1939, le Père de la Voie moderne] me disait : « Arrête, arrête ! Vous allez tout casser ! »

Et si on voulait rouler plus vite, il fallait envisager de reprofiler périodiquement toutes les roues. Aberration économique. Ce qu'on a vu nous a mis un de ces « ramponeaux », on s'est dit : « Où va-t-on ? ». Les débats sont devenus un peu plus dramatiques du côté des réalisateurs, on s'apercevait que l'on avait « vendu du vent » : vendu 300 km à l'heure et on n'était pas capable de le faire.

En attendant de maîtriser la question, on a fait passer le TGV au tour en fosse avant chaque présentation publique à grande vitesse, de façon à rétablir le profil des tables de roulement en parfaits bicônes, cette géométrie de roue permettant un auto-centrage des bogies dans la voie. On faisait ainsi des démonstrations devant les ministres mais ce n'était pas jouable en exploitation, on ne peut pas reprofiler les roues de tous les trains tous les soirs...

L'enthousiasme des premiers tours de roues avait été sévèrement entamé...

Les interrogations se sont faites plus pressantes ; les années suivantes, j'ai vraiment douté. Heureusement on progressait, on avançait dans la connaissance des paramètres gouvernant la stabilité à grande vitesse. Je l'ai écrit quelquefois, je n'ai été sûr de pouvoir réaliser réellement ce qu'on avait « vendu » que lorsque l'on a fait rouler le « Zébulon », cette automotrice d'expérimentation, sur laquelle on avait pu mettre tout le résultat des recherches géométriques et constructives précédentes : l'entraxe, les amortisseurs, la masse du bogie lui-même et, à cet effet mettre les moteurs électriques dans la caisse. Il fallait l'alléger, ce bogie. Car dans la « tradition » de l'ingénierie ferroviaire, les moteurs électriques étaient portés par le bogie lui-même.

Lorsque nous avons vu qu'ainsi toutes les qualités de marche en grande vitesse se conservaient, non pas avec des roues fréquemment reprofilées mais avec des roues déjà usées, alors seulement nous nous sommes dit : « On peut exploiter ! ».

En fait, nous n'avons été vraiment sûrs de la stabilité du bogie qu'avec les essais du Zébulon, puis avec la livraison de la première rame TGV de présérie, TGV 01, en juillet 1978. Au départ nous pensions tout de même être

---

9. Mais à titre conservatoire, la décision réservait un gabarit correspondant aux contraintes des lignes électrifiées pour le génie civil. Et un an plus tard, lors de l'appel d'offres de 1975, la turbine n'était plus prévue que pour les rames devant desservir Grenoble, soit une dizaine de rames, mais on était déjà convaincu que l'on ne les fabriquerait pas ainsi, on était bien en limite de puissance.

obligés de reprofiler tous les 60 000 km, nous avons établi nos cycles de maintenance des roues sur cette base [avec l'expérience on a pu passer à 300/400 000 km].

Entre TGV 001 et l'acquisition de la maîtrise de la stabilité du bogie, il s'était passé 4 ans.

### *Quel était la finalité de ce Zébulon ? Était-ce de faire un prototype de TGV électrique ?*

**J.D.** La finalité de Zébulon [Z est la première lettre générique du nom de toute automotrice électrique] consistait à tester tous les paramètres identifiés par les équations de la dynamique ferroviaire – le mouvement du bogie dans la voie –, qui agissent sur la stabilité du bogie. L'ingénieur, M. Joly que j'ai déjà nommé, les avait établis. Mais on ne savait pas s'ils intervenaient dans le bon ou le mauvais sens. Des paramètres ignorés aussi. Je pense notamment aux amortisseurs que j'ai aussi cités. Les amortisseurs que l'on employait à l'époque étaient totalement contreproductifs.

Le travail expérimental ? On a pris chaque paramètre et essayé de tester son influence. Approche néanmoins insuffisante : il faut bien un jour rassembler le tout pour faire un engin.

Or je ne pouvais pas me permettre de commander un deuxième prototype. Je me serais fait recevoir : « vous proclamez que vous êtes capables de mener votre projet et vous avez besoin d'un deuxième prototype ! » Voilà pourquoi on a pris cette vieille automotrice, électrique certes, mais par simple opportunité. A l'époque où on fait Zébulon, tout le monde était de toute façon déjà convaincu qu'il fallait passer à l'électrique.

Et avec l'électricité et la réserve de puissance qu'elle offrait, on a vraiment pu prendre en compte l'objectif de battre le record de 1955, de pousser les choses aux extrémités.

Je me souviens très bien de ce record de février 1981 ; après avoir atteint 380 km/h, avoir fait « couper la traction » nonobstant les regrets du conducteur. Je lui ai dit : « Il vaut mieux réussir un essai à 380 qu'enrouler trois km de « ficelle » [caténaire] à 385 ou 390 km/h » et même ajouté : « je ne me sens pas capable d'aller au-delà ». Je me souviens que c'était vous [Jean-Marie Metzler] qui, dans la voiture du chef d'essai, m'annonciez les soulèvements de caténaire. On était à un peu plus de 20 cm de soulèvement, qui se propageait le long de la caténaire à une vitesse encore supérieure à la vitesse du train. On avait certes fait des progrès sur le pantographe et la caténaire. Mais à l'époque je pensais que c'était le point faible du système, celui qui effectivement nous a arrêtés à 380 km/h. Pour aller plus haut, il ne fallait pas pécher par orgueil, se faire prendre par la technique.

Il y a eu encore sur ce couple pantographe-caténaire d'énormes progrès depuis... Et quand cinq ans plus tard, on a tracé la ligne du TGV Atlantique, j'ai dit à son directeur, Etienne Chambron [X1951], « tu te débrouilles, tu nous réserves dans la partie beauceronne facile de la ligne, avant la plongée dans la vallée de la Loire, sortis du tunnel de Villejust [Essonne], trente kilomètres de ligne droite ou à peu près droite et avec une déclivité favorable, sinon on n'aura pas assez de puissance ». Et c'est comme cela que fut déterminé le parcours qui a permis de faire en 1990 le nouveau record, dont nous célébrons aujourd'hui même, ce 18 Mai, l'anniversaire.

André Prudhomme fait lui aussi partie des pères du TGV. Considérez la perfection obtenue de la voie, il a beaucoup fait pour cela : c'est lui qui a défendu l'ancrage « classique » de la voie dans le ballast, qui permet de régler, de reprendre finement le réglage de la voie, de donner une possibilité d'entretien, ce que ne permet pas vraiment la voie sur béton. C'est lui et ses équipes qui ont promu les rails soudés sur des dizaines de kilomètres.

Pour donner une idée de la robustesse de cette conception, imaginez de prendre une section de 100 km de rail et que par 40 °C vous libérez cet ancrage, et donc la contrainte de dilatation qui la contraint et la contient, vous obtenez comme un ou des serpents violemment échappés dans la nature...

*Les négociations avec l'industrie du matériel roulant : l'offre industrielle initiale, présentée par les directeurs généraux du groupement ALSTHOM-MTE, Franck Vaignedroye, directeur de la division ferroviaire d'Alstom, et Henri Jullien, DG de MTE, X1941, aurait été de 27 MF par rame. Vous leur auriez dit : « ce sera 20,30 MF ou on ne fait pas le TGV » ?*

**J.D.** Oui c'est vrai. Je ne conteste pas que l'on ait été durs, voire que l'on leur ait mis un peu « le couteau sous la gorge », mais il fallait boucler ce premier projet de TGV dans le cadre financier annoncé. Tous les achats ont été soumis pour autorisation au comité n° 8 du FDES, dans l'enveloppe des investissements de la SNCF. 97 rames du premier marché, dont 10 en option, option vite levée par le brillant succès des premiers mois de la mise en service. Les 12 rames suivantes, dites du « Protocole Franco-Belge » [relatif à la société du même nom], ont été commandées un peu plus tard à la demande insistante des pouvoirs publics pour répondre aux impératifs de charge des industriels, qui avaient trouvé l'oreille de ces derniers. La croissance vraiment rapide du trafic les a heureusement rendues bien utiles.

Oui, le prix des rames a fait l'objet d'une sévère discussion avec les industriels qui, Alstom en tête, ont pris visiblement des risques. A me souvenir de la réaction de Frank Vaignedroye, leur chef de file, il faut leur tirer le chapeau. Nous, on était du bon côté.

Un autre exemple de fermeté nécessaire dans ce genre de projet, qui lui concerne la ligne TGV Atlantique, la deuxième ligne nouvelle de SNCF: l'un de mes derniers jours d'activité à la SNCF, j'ai « dédouané » son directeur, Etienne Chambron, du traitement de la réclamation concernant le coût des travaux du tunnel de Villejust. Réclamation de 700 MF posée par SPIE Batignolles, dirigée par Georges de Buffévent [X1957].

700 MF, une somme énorme, qui valait là aussi d'être dur.

Le professionnalisme des équipes de Paul Avenas et d'Etienne Chambron avait heureusement conduit à mettre en place sur tous les chantiers TGV un contrôle des moyens et des quantités de matériaux mis en œuvre: un « chef de district travaux » SNCF, notant heure par heure le personnel en place, les engins sur le chantier, les matériaux employés...

Armé de ces récolements, en une après-midi passée avec Georges de Buffévent, les 700 millions se sont réduits à 70. Et j'ai donné accord. Rentré au bureau, j'ai annoncé à mon collaborateur ce résultat. Sa réaction: « c'est trop... » Allez tromper un naturel viscéralement économe...

*Comment avez-vous réussi à organiser cette offre industrielle pour le matériel roulant ?*

**J.D.** A l'époque le paysage de la construction de matériel roulant ferroviaire était très fragmenté: beaucoup de constructeurs. Outre Alstom, Creusot Loire, Jeumont Schneider, les ANF, De Dietrich, un mousquetaire trublion, la Franco-Belge... Une organisation professionnelle qui fit son affaire du partage du travail, la SNCF ne s'en est pas mêlée. Vue l'importance de la charge, entre les deux grands, Alstom et MTE<sup>10</sup>, la collaboration était indispensable.

10. Le Matériel de Traction Électrique réunissant Creusot-Loire, le mécanicien, et Jeumont-Schneider, l'électricien.

C'est donc globalement que nous avons discuté le prix des rames. Pour rester dans le budget, car c'était une question « de vie ou de mort », tout le monde nous attendait au tournant.

Ne pas respecter le budget, aurait été nous déjuger. Exploder les coûts par deux ou trois, comme on l'observe aujourd'hui sur certains investissements publics, éliminait toute chance de faire toute autre ligne TGV.

L'aménagement des gares, à Lyon par exemple, il fallait une nouvelle gare à la Part-Dieu, a aussi coûté des sommes pas trop bien mesurées *ex ante*.

Si je dois avouer avoir passé quelques dépenses sur le budget d'entretien, cela est resté peu significatif.

Au total, le budget a été respecté, et SNCF n'a pas eu à rougir de la solidité de ses estimations initiales.

### *En guise de très brève conclusion...*

**J.D.** Si le principe de précaution avait existé à l'époque, Fernand Nouvion n'aurait pas fait ce qu'il a fait. Beaucoup de choses que j'ai faites, je ne les aurais pas faites non plus.

Ce principe de précaution, quelle erreur ! Il faudrait l'abolir (comme principe) le plus vite possible.

Comment faire des progrès sans prendre aucun risque ?



# De quelques réflexions complémentaires sur le projet de ligne nouvelle de Paris à Lyon

*Jules Antonini (X1922)*

---

## Brève biographie de Jules Antonini par René d'Ambrières

Qui est Jules Antonini, l'auteur de cette fiche du 19 novembre 1968 intitulée « *De quelques réflexions complémentaires sur le projet de ligne nouvelle de Paris à Lyon* » ? Ce document a été confié à la SABIX par Jean Dupuy le 18 mai 2021, pour remise à la Bibliothèque de l'X.

Antonini est un polytechnicien de la promotion 1922, né le 1<sup>er</sup> janvier 1903 à Ajaccio d'un père instituteur et d'une mère directrice d'école. Sa carrière fut à la fois administrative et politique. Se tenant à l'abri du feu de l'actualité, il fut relativement peu cité par les médias.

En 1928, Raoul Dautry est appelé à la tête du Réseau de l'État, qui ne regroupait à l'époque qu'une part assez modeste des lignes de chemins de fer françaises. Il choisit Antonini comme collaborateur direct, non sans l'avertir en ces termes : « je vous prends, si je ne suis pas content de vous, dans un mois je vous f..s dehors... »<sup>1</sup>. Mais leurs relations furent excellentes et ne firent que s'approfondir au fil des années.

Antonini s'impliqua durablement dans les questions d'économie des transports. En 1936, il publia dans une collection accessible à tous un ouvrage intitulé *Le rail, la route et l'eau*, préfacé par Dautry. Pour ce qui concerne le rail, il concluait ainsi : « Il est frappant de constater qu'aucun pays au monde n'a pensé pouvoir s'en remettre au seul jeu des lois naturelles du soin d'assurer une meilleure organisation des transports. Partout, l'intervention de la puissance publique, directe ou indirecte, a été la règle, parce que partout la nécessité absolue s'en est imposée. »

Vint la période de la nationalisation des chemins de fer et de la création de la SNCF, effective en 1937. Antonini fut nommé en 1938 secrétaire général adjoint de la SNCF. En septembre 1939, lorsque Raoul Dautry devint ministre de l'Armement, il le prit comme chef du cabinet civil.

---

1. Voir « Raoul Dautry » de Rémi Baudouï, éd. Balland, 1992.

Pendant l'Occupation, Antonini retrouva ses fonctions à la SNCF. Il participa à la Résistance au sein du réseau de renseignements du colonel Rémy appelé Confrérie Notre Dame (CND), puis CND-Castille. Il renseignait notamment Rémy sur les intentions des Allemands concernant l'utilisation du réseau ferré par la Wehrmacht. C'est à ce titre qu'il recevra la médaille de la France libre ainsi que la croix de guerre.

Après la Libération, Dautry fut nommé ministre de la Reconstruction et de l'Urbanisme, et Antonini devint concomitamment le secrétaire général de cette administration. A la suite du départ du général de Gaulle en janvier 1946, Dautry ne resta pas au gouvernement, et le ministre communiste François Billoux le remplaça. Dautry chercha à dissuader Antonini de démissionner en le recommandant publiquement à son successeur avec ces mots : « Jules Antonini, mon bras droit... ». Ceci n'empêcha pas Antonini de quitter bientôt la Reconstruction.

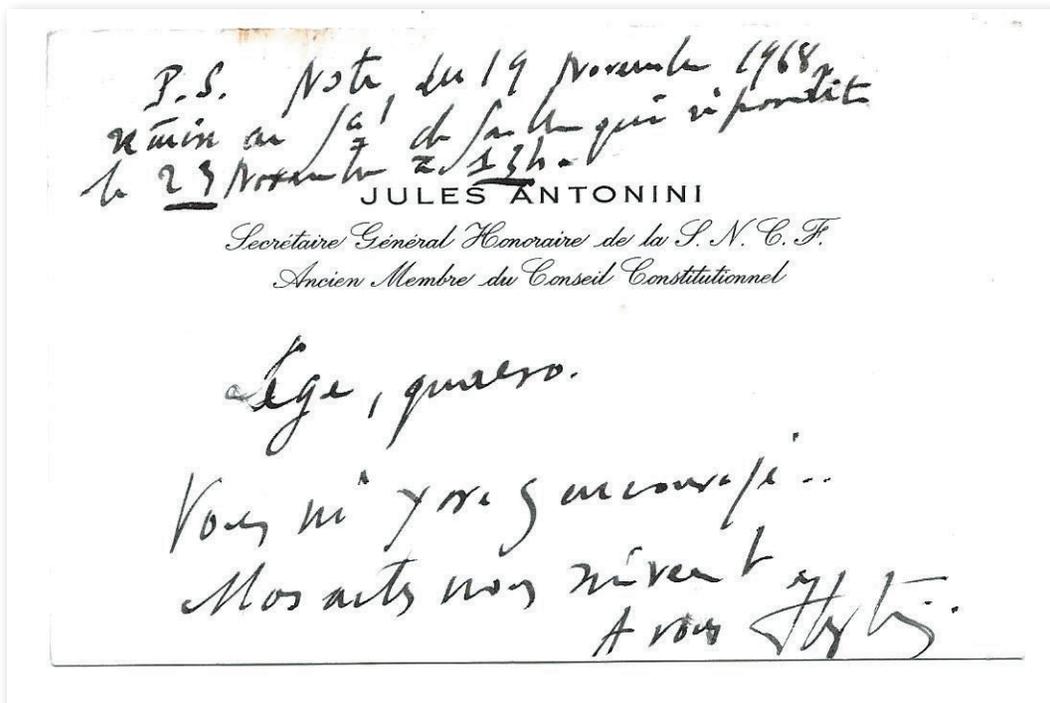
Antonini appartenait à la mouvance gaulliste, il adhéra au RPF et présida de 1947 à 1953 le conseil départemental du mouvement dans la Seine. Il avait accès au général de Gaulle. Dès le début de la Cinquième République, il fut nommé secrétaire général de la SNCF, poste qu'il conserva jusqu'en 1974. C'est dans ce cadre qu'il rédigea la fiche dont il est question, en vue d'obtenir l'accord du président de la République pour inscrire la ligne nouvelle du TGV Paris-Lyon dans le Sixième plan (1971-1975), avec comme objectif de la mettre en service en 1978. C'est l'année suivante que le premier dossier sur le projet de TGV fut remis au gouvernement.

Son argumentaire part du rôle de la SNCF. Ses investissements doivent-ils porter en priorité sur les multiples dessertes de banlieues pour faciliter la vie de tous les jours des citoyens, ou au contraire servir à innover et à développer un immense espace économique représentant le tiers du territoire ? « Ne faut-il pas se pencher sérieusement sur les problèmes redoutables que posent toutes ces banlieues aux confins sans espoir ? » Il a cette perception incroyablement moderne du territoire français et de ses villes, tout en concluant que la SNCF avait fait ce qu'elle devait dans les banlieues et que, pour le bien commun, sa priorité devait être maintenant le développement de l'ensemble du territoire national.

Ceci montre aussi qu'à l'époque, la mission principale assignée à la SNCF n'était pas le trafic de masse des voyageurs à grande distance. On n'imaginait pas que la SNCF puisse concurrencer l'avion. A l'échelle du territoire national, la SNCF devait prioritairement assurer le fret permettant à l'industrie lourde, l'essentiel de l'industrie à l'époque, de s'approvisionner et de livrer.

Il remit cette fiche fin 1968 au général de Gaulle, qui répondit moins de 4 jours après avec cette annotation en forme d'oracle mais manifestement positive : « Vous m'y avez encouragé- nos actes nous suivent – à vous ». La décision ne fut pas immédiate, ce qui conduisit Antonini à renvoyer cette fiche au président Pompidou en 1971.

Jules Antonini décéda en 1987. Il était Grand officier de la Légion d'honneur. En parallèle de ses fonctions à la SNCF, il avait été nommé au Conseil constitutionnel en 1967 par le président de l'Assemblée nationale, Jacques Chaban-Delmas. Jusqu'à ce jour, aucun autre polytechnicien n'a accédé à cette instance suprême à l'exception de Valéry Giscard d'Estaing, membre de droit.



On trouvera ci-dessous le *fac simile* de la note de Jules Antonini, qui était accompagnée d'un carton de sa main. Celui-ci précise qu'il avait remis le document au général de Gaulle le 19 novembre 1968, et que celui-ci avait répondu le 23 novembre à 13h.

27977

Notre réunion à N. J. Poulou

De quelques réflexions complémentaires  
sur le projet de ligne nouvelle  
de PARIS à LYON

---

Les experts ont étudié, discuté, conclu. Le problème se pose au grand jour. Le choix est politique.

Il en est qui viennent dire : Rien ne presse alors que pressent tant d'autres choses. Et ne faut-il pas plutôt se pencher sérieusement sur les problèmes redoutables que posent toutes ces banlieues aux confins sans espoir.

On peut répondre : pour la banlieue, la S. N. C. F. a fait tout ce qui a dépendu d'elle. D'autant plus qu'elle sait bien être en l'espèce un instrument nécessaire. Elle est prête toujours à s'associer à tout nouvel effort, de concert avec tous ceux qui peuvent être intéressés : collectivités locales, employeurs, etc. Mais la S. N. C. F. n'est pas la Société nationale des chemins de fer de banlieue. Elle est la Société nationale des chemins de fer français. Elle se doit à tout le territoire. Il n'est pas proprement concevable de la stériliser pour tout ce qui ne serait pas, pour elle, de la banlieue.

Tous les millions, ajoute-t-on, qu'on inscrirait au même plan, ne pourraient-ils être plus utilement dépensés pour la banlieue ?

Qu'est-ce à dire ? Qui donc pourrait promettre ou garantir qu'il en serait bien ainsi, alors que se lèvent des parties prenantes, aussi fondées à prétendre : ces millions, donnez-les plutôt aux écoles ou aux hôpitaux, ou pour la culture française, ou pour le logement, ou notre jeunesse, ou les autoroutes, etc. A l'évidente simplicité de ce raisonnement répond l'unité du choc. Unité bien factice, et toute provisoire, car il est trop clair qu'ainsi posé, le problème est sans limites, il comporte une infinité de solutions comme en mathématiques l'équation indéterminée.

\*\*\*

On vient dire encore : Mais n'a-t-on pas assez fait pour la vallée du Rhône ? Et que fait-on des autres régions de France, la Bretagne, la Corse, etc.

La réponse est la suivante : il ne s'agit pas ici de la vallée du Rhône, mais de bien autre chose encore. Il s'agit de Rhône - Alpes, Provence - Côte-d'Azur, Languedoc : il s'agit de ce que quelques-uns nomment le Grand Delta, comme il s'agit aussi de la péninsule et de Genève, le Grand Delta - 1/3 du territoire, 20 millions d'habitants - et l'au-delà des frontières. Il s'agit bien d'aller à la rencontre de tout un courant d'idées et d'idéaux de notre temps, promotion des provinces, création de grands ensembles économiques et sociaux, recherche de nouveaux et meilleurs équilibres, coopération des villes, des régions et des nations, aires d'expansion chevauchant les frontières...

L'aspect social ? Tant invoqué, et si préoccupant par exemple pour la banlieue. Bien sûr. Mais voudra-t-on oublier que la démocratisation des transports, sur un réseau étendu et diversifié, répond à une tendance profonde de l'opinion. C'est parce qu'elle est bien profonde que la presse, la télévision, la radio, toutes ces voix calculées pour le forum général des hommes, accordent toutes, Province et Paris, un accueil si passionné et vibrant à toutes les informations, toutes les controverses, toutes les paroles relatives à cette voie de fer nouvelle. On ne peut se méprendre. Si l'homme s'est tourné vers le ciel dans un merveilleux sentiment d'orgueil et de libération par l'intelligence, voici aussi que par un autre effort de sa pensée, il retrouve aujourd'hui, sur la poitrine de la terre, ce seuil où s'étaient naguère séparés le train et l'avion, où ils se rejoignent aujourd'hui, tant il est vrai que la technique est une conquête de tous les jours.

On vient dire enfin : Mais pourquoi aller si vite : 1974 est-il si loin qu'on n'y puisse regarder à deux fois. D'ici-là, la S.N.C.F. aura fait la preuve et l'épreuve de sa force d'entreprise libre. Ce sera le jugement de Dieu. Si la preuve est faite, la S.N.C.F. aura bien mérité son projet. Au rebours.....

Sous couleur d'on ne sait quelle solution transactionnelle, le raisonnement est trop habile ou subtil. En fait, c'est rejeter le projet. Reporter la décision à 1974, c'est escompter ou espérer que d'ici-là, les pensées se seront tournées vers d'autres versants. Et c'est faire fi d'une grande attente.

...

Attente d'une opinion populaire nombreuse, réceptive et séduite, très éloignée des groupes de pression qui défendent des intérêts particuliers, légitimes sans doute - mais particuliers - très éloignée aussi de technocrates trop attentifs à la logique froide, au caractère achevé - mais fragile - des abstractions pures. Attente des cheminots pour une infrastructure nouvelle sur un réseau identique à lui-même depuis un siècle, pour une tâche qui les exalte, cheminots et familles, plus de 2,5 M sur les 50 millions d'habitants que compte la France, lest social d'honnêteté, de probité, de tradition presque unique, extraordinairement intact en dépit du siècle et ses morsures, armée encore soumise comme d'instinct à l'intérêt général, et en qui malgré tout, au fond de tout, après tout, demeure l'ambition de servir.

En présentant, à son heure, un projet hautement rentable, sans aléas, ce qui est exceptionnel pour une innovation technologique d'une telle ampleur, d'un montant de dépenses raisonnable pour le 6ème plan, mise en service en 1978, possibilités de financement privé national, ou international, la S.N.C.F. a le sentiment de rester fidèle à sa vocation qui est de servir l'intérêt général.

Dans la maille d'un chemin de fer qui, loin d'être périmé, oppose tous les ans à ses contemporains de nouveaux records, la voie nouvelle de Paris au Grand Delta et au-delà, s'offre comme une grande tâche nationale, concrète et féconde dans l'immédiat et dans l'avenir, propre à séduire les esprits et l'imagination de la jeunesse de ce temps.

Elle peut être un magnifique sillon tracé sur notre sol, auquel il ne restera plus qu'à trouver un nom pour le faire durer, au-delà de sa survie terrestre, tels les chemins de César, dans la mémoire des hommes.

Il y a plus de 130 ans, devant les arcs de l'aqueduc de Maintenon, Chateaubriand écrivait : .. "Louis XIV, pressé par la nécessité, étonné par les cris d'économie avec lesquels on renverse les plus hauts desseins.. il est à jamais regrettable que ce conduit gigantesque n'ait pas été achevé.. Quant aux millions, leur valeur fût restée représentée à gros intérêts dans un édifice aussi utile qu'admirable.. "

Parallèlement ou presque, Vigny écrira :

"Quand les Dieux veulent bien s'abattre sur les mondes,  
"ils n'y doivent laisser que des traces profondes....."

J. A.

# L'aventure des lignes à grande vitesse en France

*Jean-Pierre Pronost (X1963)*

---

## Préambule

Avec le développement de l'automobile, des premières autoroutes et surtout des liaisons aériennes intérieures grâce à la création d'Air Inter, apparaissait dans ces années 1960 une concurrence directe au trafic voyageur de la SNCF.

Forts des records de vitesse sur rail de 1955 et de la première exploitation commerciale à 200 km/h sur la ligne Paris-Toulouse entre Orléans-Les-Aubrais et Vierzon, les dirigeants de la SNCF ont bien perçu dès cette époque que le chemin de fer avait des atouts pour défendre ses positions sur ce marché des transports intercités, et que la durée des voyages serait déterminante pour l'avenir.

Le constat est simple: les grandes lignes du réseau historique supportent à la fois les trains de voyageurs et les trains lourds de fret, et ont été de ce fait conçues avec de faibles pentes – inférieures à 1,5 % généralement –, ce qui a contraint nos anciens à les tracer dans les vallées souvent sinueuses, avec des courbes de rayon rarement supérieur à 1 000 m ou 1 500 m, ce qui peut autoriser au mieux des vitesses de 160 à 200 km/h pour les trains de voyageurs.

On conçoit bien que des modifications limitées de la géométrie des voies, l'amélioration des installations de signalisation et de l'alimentation électrique et la suppression de

passages à niveau ne permettent d'augmenter qu'à la marge les vitesses sur le réseau.

Un saut significatif des performances impose ainsi d'évidence des sections importantes d'infrastructures nouvelles avec des géométries adaptées à de plus grandes vitesses.

### *Le projet Paris-Sud-Est*

Un des germes originels qui a permis d'initier les recherches internes à l'entreprise revient à un ingénieur, Robert Geai, chef du service Voies & Bâtiments du Réseau du Nord, qui a produit en décembre 1965 une étude de faisabilité d'une ligne nouvelle à grande vitesse (LGV), réservée au trafic voyageurs, sur les relations Paris-Lille et Paris-Bruxelles.

Cette étude a mis en avant quelques principes et idées originales que l'on retrouvera dans les réalisations futures.

Un atout déterminant est la compatibilité de cette ligne nouvelle avec les lignes anciennes, ce qui évite de nouvelles pénétrations urbaines difficiles et coûteuses, et permet d'offrir des dessertes ferroviaires des territoires au-delà de la LGV elle-même.

Ceci s'est révélé être un avantage déterminant par rapport à un projet de transport

guidé comme l'aérotrain dont on parlait à cette époque, qui devait se limiter à des trajets en navette et imposait de construire une infrastructure dans des zones urbaines pour atteindre le centre des villes.

Le tracé proposé était jumelé avec les autoroutes A1 vers Lille et A2 vers Bruxelles, avec un tronç commun de 190 km entre Paris et Noyelles. Ces autoroutes ayant été tracées avec des courbes généralement supérieures à 3000 m et des pentes et rampes limitées à 3,5 % permettaient pour la voie ferrée parallèle des vitesses de l'ordre de 250 km/h, hypothèse prise dans l'étude.

Ce dossier comportait aussi un volet matériel roulant spécifique de gabarit inférieur à la norme habituelle et motorisé par une turbine à gaz, solutions non retenues par la suite.

Une approche économique démontrait en outre une rentabilité financière du projet.

### ***Les études préliminaires du projet de LGV Paris-Lyon***

Pour explorer plus avant les perspectives ouvertes par ces premières réflexions, la Direction générale décide alors de créer en 1966 un service de la Recherche chargé de coordonner les recherches à mener dans les différentes directions techniques et commerciale de l'entreprise, mais aussi, grâce à la mise en place d'une équipe Études économiques, d'évaluer la pertinence financière des projets.

C'est ainsi que quelques mois plus tard est lancé, sous la direction de Marcel Tessier, le projet baptisé C03, destiné à couvrir l'ensemble des études techniques nécessaires pour le matériel roulant et l'infrastructure permettant une exploitation à des vitesses comprises entre 250 et 300 km/h.

Ce projet intégrait également un volet d'études économiques s'appuyant sur un cas concret de ligne nouvelle entre Paris et Lyon.

Ce choix est apparu le plus pertinent eu égard au gain de temps important attendu, avec un objectif de trajet en 2 heures entre Paris et Lyon, et à la saturation croissante de certaines sections de la ligne PLM passant par Dijon.

Pour conduire cette étude préliminaire de l'infrastructure nouvelle, Guy Verrier (ingénieur des Ponts et Chaussées), alors chef de département adjoint des Etudes d'aménagement à la direction des Installations fixes de la SNCF, a constitué auprès de lui une petite équipe de projet avec un chef d'études, Roland Courjault-Rade, un géologue, Guy Roques, et un ou deux projeteurs.

S'appuyant sur les cartes IGN au 1/25 000° et sur les cartes géologiques, plusieurs tracés ont pu ainsi être explorés. Le rapport de cette étude préliminaire, produit en mai 1968, a présenté deux tracés entre la sortie de la zone urbaine parisienne et l'approche de l'agglomération lyonnaise, l'un sur la base de rampes maximales de 1,5 %, l'autre avec des rampes de 3 %. Des premières estimations de coût de construction ont aussi été proposées en se basant dans la plus large mesure sur les coûts de construction des dernières autoroutes réalisées en France, afin de conforter au mieux la part génie civil des travaux.

C'est finalement un an plus tard, en mai 1969, qu'ont pu être finalisées ces études techniques et économiques préliminaires, avec un projet d'infrastructure tracé pour une vitesse d'exploitation potentielle de 300 km/h, avec des rampes de 3,5 %, ce qui a été considéré comme un maximum acceptable pour le matériel roulant, l'énergie cinétique des rames permettant de gravir de telles rampes. La puissance des motrices devait malgré tout garantir la possibilité de redémarrer dans ces rampes avec un bogie moteur hors service, et les performances de freinage de la rame être suffisantes pour garantir les distances de freinage en pente (sauf en cas de très longues et fortes pentes où une réduction de vitesse à 220 km/h pourrait être imposée en sommet de pente).

Avec les hypothèses de matériel roulant proposées et des circulations à l'ouverture de la ligne à 260 km/h, l'objectif d'un temps de trajet de deux heures entre Paris Gare de Lyon et Lyon Perrache pouvait alors être atteint.

En intégrant un projet de desserte de l'ensemble du Sud-Est au-delà de Lyon, les prévisions de coûts d'investissement et d'exploitation et de recettes commerciales laissaient entrevoir une rentabilité très satisfaisante pour ce projet.

Entré à la SNCF en septembre 1968, l'école des Ponts achevée, je venais à peine de prendre mes premières fonctions sur le réseau Sud-Est que Guy Verrier me contactait en novembre 1969 en vue de constituer un bureau d'études. Celui-ci devait être suffisamment structuré pour participer à l'élaboration d'un référentiel d'infrastructure de LGV et conduire la réalisation d'un véritable avant-projet de la LGV Paris-Sud-Est.

Informé des étapes précédentes, cette perspective ne pouvait qu'enthousiasmer un jeune ingénieur, et je me suis employé alors à convaincre Paul Avenas (X1938-PC), chef de service Voie et Bâtiments du Réseau Sud-Est, d'accepter de me laisser rejoindre la direction des Installations fixes.

Il n'était pas alors complètement convaincu de l'avenir de ce projet, mais il accepta. Il ignorait à ce moment qu'il serait lui-même, trois ans plus tard, à la tête de la première direction de Ligne nouvelle (LN1), en charge de la maîtrise d'ouvrage de la réalisation de ce projet.

## **La validation du cahier des charges de l'infrastructure**

Avant d'engager plus avant les études de projet, il est apparu à ce stade que les principales options techniques de la ligne ferroviaire devaient être confirmées par des essais

en ligne avec la rame prototype TGV001 commandée en 1969, et que des cahiers des charges techniques devaient être élaborés afin de garantir les performances attendues.

Ceci concernait tous les domaines de l'infrastructure : la géométrie en plan et en profil de la ligne, les terrassements, déblais et remblais, les ouvrages d'art ferroviaires, courants et viaducs, la composition des couches de matériaux de plateforme, la technologie à retenir pour la voie elle-même, les appareils de voie (aiguillages), et les installations de signalisation pour ne citer que les principales.

Ceci allait mobiliser à partir de la fin de 1969 l'ensemble des départements spécialisés de la direction des Installations fixes.

### ***La géométrie de la ligne, en plan et en profil***

Les premières campagnes de mesures réalisées en voie ont permis d'appréhender les efforts dynamiques supportés par la voie au passage des rames à grande vitesse.

Le département Recherche voie, dirigé par André Prud'homme (X1940-PC) secondé par Serge Montagné (X1964-ENPC), a pu ainsi valider les normes géométriques à adopter pour le tracé des voies ; pour l'essentiel : rayon minimal des courbes, géométrie des raccordements progressifs entre courbes et alignements, inclinaison des voies en courbe.

Cette validation reposait sur la garantie de la stabilité transversale des voies, mais aussi sur les limites d'accélération latérale acceptable pour préserver le confort des voyageurs, pour lequel la référence des trains de grande ligne apportait des objectifs connus. Un rayon minimum acceptable pour autoriser une vitesse de 300 km/h a ainsi été arrêté à 4000 m, exceptionnellement 3200 m.

Nous ne disposions par contre pas des mêmes possibilités de tests ferroviaires pour déterminer les normes du profil en long de la ligne.

Avec des rampes pouvant atteindre 35 mm/m, la longueur des raccordements circulaires entre pentes et rampes, proportionnelle au rayon de courbure admissible, devient un paramètre important conditionnant la possibilité d'enchaîner la succession de ces pentes et rampes pour mieux coller au terrain, afin de limiter l'importance des terrassements et des ouvrages d'art. Il est apparu nécessaire de définir l'accélération verticale admissible pour les voyageurs afin de leur préserver un bon confort.

Les tests au sol n'étant pas possibles, un vol spécial a été organisé, avec une vingtaine de cobayes à bord, dont j'ai fait partie, incluant quelques volontaires plutôt sensibles au mal des transports. Un plan de vol enchaînant des montées et descentes présentant des accélérations verticales répétées et croissantes a été établi afin de permettre à chacun de noter ses impressions. Un compromis prudent a pu ainsi être dégagé en autorisant une accélération limitée à 0,05 g. A titre de comparaison, la norme des profils des lignes anciennes était de 0,02 g pour une vitesse de 160 km/h, ce qui aurait conduit, avec ce même seuil, à des rayons de profil en long de 35 000 m au lieu des 14 000 à 16 000 m finalement retenus pour 300 km/h. Les conséquences auraient été lourdes sur le coût de l'infrastructure.

### ***Le choix de la voie : voie ballastée ou voie sur dalle ?***

Les deux technologies étaient disponibles. Au Japon, sur la première ligne du TOKAÏDO, la pose sans ballast avait été largement utilisée sur une infrastructure construite principalement avec des ouvrages en estacade, donc présentant peu de risques de tassement.

Au début des années 1970, entre Mannheim et Stuttgart, les chemins de fer allemands ont aussi entrepris la construction de leur première ligne nouvelle conçue pour un trafic mixte voyageurs à 250 km/h et fret à 120 km/h, avec le choix d'une pose de voie sans ballast sur dalle en béton.

Pour Paris-Lyon, le choix d'une voie ballastée, outre son avantage économique, résulte de l'option faite d'une ligne où ne circulent que des trains de voyageurs avec des charges par essieu limitées à 17 tonnes. De plus, cette ligne ne comporte que très peu d'ouvrages d'art, et la plateforme, réalisée principalement par terrassement, déblais et remblais, est susceptible de ne se stabiliser, selon la nature du sous-sol, qu'à court ou moyen terme, avec de faibles tassements résiduels.

L'entretien de la géométrie en tracé et profil d'une voie ballastée par des machines bourreuses-dresseuses automatiques nécessite peu de main-d'œuvre et se révèle peu coûteux. Par contre, les corrections de tracé ou de profil d'une voie sur dalle sont peu mécanisables et peuvent devenir pénalisantes si les dalles ne sont pas parfaitement stabilisées.

Une voie avec un rail de 60 kg/m de haute qualité géométrique fixé sur traverses en béton armé bi-blocs, posées sur 30 cm d'un ballast de dureté élevée, a finalement été retenu pour la LGV Paris-Lyon.

L'expérience acquise de la maintenance des premières LGV a depuis conforté ce choix de la voie ballastée pour les LGV suivantes, à condition toutefois d'élargir la gamme des traverses aux modèles monobloc en béton précontraint, et surtout d'imposer une amélioration de la dureté du ballast, avec une épaisseur portée à 35 cm sous traverses, ceci afin de mieux tenir compte des sollicitations dynamiques des circulations à 300 km/h, voire 320 km/h sur les LGV suivantes.

Les mesures effectuées en voie lors d'essais et pour les opérations de maintenance laissent penser malgré tout que la question de la voie sur dalle pourrait se poser pour des lignes dédiées au seul trafic de voyageurs si des vitesses supérieures à 350 km/h devaient être pratiquées dans l'avenir.

### ***Une nouvelle signalisation ferroviaire***

La commande des itinéraires et la sécurité des circulations, garantie par l'assurance que chaque train dispose devant lui d'une longueur de voie libre permettant son arrêt, sont assurées par les installations de signalisation.

A 250 km/h et plus, l'observation par le mécanicien de feux en bord de voie devient inopérante et toutes les informations se doivent d'être indiquées en cabine au conducteur.

Les ingénieurs du département de la signalisation ont dû élaborer un nouveau concept garantissant la sécurité, mais permettant aussi d'offrir la meilleure capacité de transport aux heures de pointe avec un intervalle théorique de 4 minutes entre deux trains.

Ce système, baptisé TVM 300 pour « Transmission voie machine pour vitesse maximale 300 km/h », repose sur une transmission d'informations entre le sol et le mobile grâce aux courants des circuits de voie émis dans les rails de chaque section de 2 000 m environ, que des capteurs situés sous la motrice lisent en continu. Des « Émetteurs ponctuels d'informations » (EPI) complètent en certains points les consignes lues par la motrice, grâce à des boucles émettrices situées dans la voie.

Le mécanicien est préavisé lorsqu'il va devoir modifier sa vitesse puis reçoit une confirmation, et l'exécution de ces instructions est vérifiée par un contrôle automatique de vitesse qui déclenche le freinage utile en cas d'absence d'action conforme.

Les deux voies de la ligne nouvelle peuvent être circulées dans les deux sens, afin d'offrir une possibilité d'exploitation de secours en cas d'incident ou de travaux sur une voie. La circulation normale reste sur la voie de gauche, la signalisation étant optimisée pour y offrir la plus grande capacité théorique de circulation de 15 trains par heure, en pratique de 12 trains, soit un toutes les 5 mn.

### ***Des sous-stations d'alimentation électrique et une caténaire adaptée à la grande vitesse***

L'arbitrage entre rames à turbine à gaz et rames électriques a été rendu dès 1974 au profit de l'électrification. Le comportement dynamique de la caténaire et du pantographe a dû faire l'objet de nombreux essais en ligne pour garantir, à grande vitesse, un bon captage du courant de traction. Une tension mécanique de la caténaire et du fil porteur supérieure à celle des voies anciennes, et un pantographe à double étage ont permis d'obtenir un bon captage et de limiter le soulèvement vertical de la caténaire dans les limites admises.

Les sous-stations d'alimentation se raccordent sur le réseau THT d'EDF, de préférence sur le réseau 220 kV, exceptionnellement sur le réseau 400 kV.

Pour espacer au maximum les sous-stations tout en limitant les pertes de tension sur les caténaires, et afin de réduire les perturbations électromagnétiques sur le voisinage, une technique nouvelle d'alimentation en 2 x 25 000 V a été adoptée pour les LGV, avec la caténaire et un feeder déroulé en parallèle, alimentés respectivement en + 25 kV et - 25 kV par rapport au rail.

## **La LGV Paris-Lyon**

### ***Les études***

Les référentiels de base adoptés, il a fallu engager les études d'avant-projet, puis du projet de la ligne nouvelle.

Le bureau d'études s'est alors étoffé à mon arrivée début 1970 en recrutant une quinzaine de personnes, afin de couvrir les compétences nécessaires en géologie et géotechnique, et d'ingénierie de projet.

Cette équipe s'est peu après élargie dans un nouveau département des Lignes nouvelles,

créé sous la direction de Guy Verrier en y intégrant des compétences complémentaires topographiques et domaniales.

La toute récente introduction de l'informatique et du dessin automatique initiée par le service d'Études techniques des routes et autoroutes (SETRA) du ministère de l'Équipement nous a conduits alors à nous approprier ces nouveaux outils pour nos projets ferroviaires.

Les études des ouvrages d'art étaient quant à elles assurées par le département des Ouvrages d'art dirigée par Étienne Chambron (X1951-PC) et par Jacques Gandil (ENPC 1952), responsable de la division des ouvrages TGV.

Entreprendre un avant-projet sur plans au 1/5 000° a pour conséquence directe de rendre le projet public. Envoyer des topographes et des entreprises de sondages géotechniques sur le terrain suppose des autorisations officielles, une information du public et des autorités locales.

Avant d'engager ces opérations sur le terrain, encore faut-il que le tracé de la ligne, ébauché par les études préliminaires, soit validé dans une bande de confiance de quelques centaines de mètres. Ce tracé a bien évidemment suscité des réactions ou oppositions locales qui se sont souvent résolues par des ajustements et aménagements limités.

Par contre, ce tracé, plus direct et plus court de 80 km entre Paris et Lyon que la ligne PLM passant par Dijon, avait de ce fait provoqué une vive réaction de M. Robert Poujade, maire de Dijon, ancien ministre, qui voyait d'un très mauvais œil que sa ville soit laissée à l'écart de ce projet, comme elle l'avait été de l'autoroute A6 quelques années plus tôt.

Le passage par Dijon aurait été très pénalisant si ce n'est mortel pour le projet. Il a fallu de longs mois de négociations pour dénouer cette difficulté. Au bout du compte, un compromis fut validé lors d'une rencontre entre Robert

Poujade et Paul Gentil (X1942-M), directeur général de la SNCF, où nous avons pu, Paul Avenas et moi-même, exposer une solution comportant un déplacement du tracé principal vers l'est d'une dizaine de km, à la traversée du département de l'Yonne, permettant la réalisation d'une « bretelle » de 15 km rejoignant la ligne ancienne peu avant Montbard.

Une desserte de Paris-Dijon en 1 h 35 et l'engagement de Paul Gentil de garantir un minimum de dessertes pour Dijon, tant sur Paris que sur Lyon, avait ainsi permis d'effacer cet obstacle.

Autant pour les LGV suivantes, les élus et les populations avaient une connaissance du TGV acquise grâce à l'exemple largement médiatisé de la ligne Paris-Lyon, autant pour ce premier projet, nous nous sommes retrouvés, dans toutes les communes concernées, face à une population incrédule, nous prenant pour des originaux qui leur faisaient perdre leur temps avec un projet de science-fiction. Au fil des mois, observant les travaux de reconnaissance sur le terrain et les plans que nous pouvions monter pour discuter du tracé de la ligne, du rétablissement des routes et chemins, des remboursements prévisibles, notre crédibilité a pu s'affirmer. Nos engagements sur la réparation des préjudices des riverains et sur les conditions d'acquisition des terrains nécessaires a aussi permis de calmer progressivement les inquiétudes.

C'est ainsi, sur la base de cet avant-projet, que le dossier d'enquête d'utilité publique a été élaboré. Outre le projet technique, ce dossier comprenait l'étude des impacts sur l'environnement de la ligne dans tous les domaines: foncier, agriculture et élevage, nuisances sonores et visuelles, hydraulique, faune sauvage, archéologie, etc.

Le dossier comprenait également un volet économique justifiant la rentabilité du projet pour l'entreprise et pour la collectivité, et les conditions de son financement.

Le temps passait et la décision gouvernementale de lancer cette enquête d'utilité publique s'est faite attendre, et ce n'est qu'après un ultime rapport demandé par le ministère des Finances – dit Rapport Le Vert – que cette décision fut prise en Conseil des ministres le 6 mars 1974, quelques semaines seulement avant le décès de Georges Pompidou.

L'enquête publique a effectivement été ouverte en avril 1975, et la déclaration d'utilité publique publiée au JO du 23 mars 1976. La mise en service de la ligne était alors prévue en 1981, mais pour répondre au « plan d'austérité » du nouveau gouvernement de M. Raymond Barre, il a été demandé à la SNCF d'établir l'investissement du projet en maintenant l'ouverture de la section Sud entre Saint-Florentin et Lyon en septembre 1981, mais en décalant celle de la section Nord entre Paris et Saint-Florentin à septembre 1983. L'objectif était maintenant fixé.

### ***Les chantiers de la ligne nouvelle***

La DUP acquise, j'ai alors quitté le département d'études de Guy Verrier pour rejoindre Paul Avenas à la direction de la Ligne nouvelle.

Pour ouvrir les premiers chantiers la DUP obtenue, il avait bien sûr fallu anticiper dès 1973 les études du projet à l'échelle du 1/1 000<sup>e</sup> des terrassements et ouvrages d'art, et définir les acquisitions foncières à réaliser. Les enquêtes réglementaires parcelaires et hydrauliques s'étaient déroulées sur les quelques 200 communes concernées en 1975 dès que les principales observations du rapport de la commission d'enquête d'utilité publique avaient été connues, de manière à permettre d'engager les acquisitions foncières dès l'accord du Conseil d'État.

De même, des appels d'offre de travaux de déplacement de réseaux, de grands terrassements et d'ouvrages d'art avaient été lancés dès le printemps 1976, afin de pouvoir signer les premiers marchés de génie civil à l'automne 1976 en Saône-et Loire.

Dans les mois suivants, tous les grands lots de travaux de génie civil des 285 km de la section Sud ont été lancés de manière à pouvoir bénéficier au mieux des trois étés 1977 à 1979 pour construire la plateforme de la ligne et la mettre à disposition des entreprises de travaux ferroviaires en charge de la pose des voies et caténaires, de la signalisation, des bâtiments techniques et des gares.

Des équipes sur le terrain ont été déployées pour assumer la maîtrise d'ouvrage de ces chantiers. Trois groupes Travaux ont été implantés à Sens pour la section Nord, à Avallon et Mâcon pour la section Sud, dirigées respectivement par Hubert Chavance, Édouard Féougier et Jean Pruneau.

La direction de la ligne était, elle, installée à Paris Gare de Lyon et assurait les services généraux RH, comptabilité, marchés, domanial, études génie civil et équipements ferroviaires.

Les chantiers de génie civil étaient suivis par Jean Bayon (X1942-PC), qui nous avait rejoint après avoir dirigé les travaux du chemin de fer Trans-camerounais, et par moi-même. Nous avons travaillé tous deux de concert pendant ces cinq années en nous partageant la gestion de marchés de génie civil s'étalant sur plus de 400 km.

Les départements spécialisés de la direction de l'Équipement (nommée « Installations fixes » avant 1972) apportaient aussi leur assistance :

- le département des Ouvrages d'art pour le contrôle des études d'exécution des entreprises des ouvrages principaux de la ligne et une assistance pour le suivi des phases délicates des chantiers des grands ouvrages.
- le département des Lignes nouvelles pour une assistance géotechnique des travaux de terrassements.
- le département Recherche voie pour la pose des voies.
- les départements de la signalisation, télécom, caténaires et postes d'alimentation 25 kV, chacun dans son domaine de compétence.

Contrairement à d'autres LGV construites par la suite, cette ligne a la particularité de ne comporter que peu d'ouvrages exceptionnels :

- aucun tunnel : au passage du Bois clair, entre Cluny et Mâcon, un tunnel a pu être évité de justesse au prix d'un déblai très profond.
- six viaducs en béton précontraint ne représentant qu'un linéaire total de 2 500 m, soit moins de 1 % de la ligne. Construits par poussage du tablier, ils ont bénéficié du développement d'une technique innovante pour des ouvrages ferroviaires.

Par contre, les terrassements ont permis de toucher presque toutes les couches des quatre

ères géologiques. Ce fut l'occasion pour nous tous d'acquérir une large expérience dans les techniques de terrassement, un métier bien plus subtil qu'il n'y paraît, tant les enjeux économiques d'un bon mouvement des terres adapté aux conditions géologiques et météorologiques se révèlent importants. Employer les bons matériaux au bon endroit et au bon moment en fonction de leur qualité et des conditions de leur mise en œuvre relève de l'art du terrassier.

Les chantiers de génie civil de la section Sud ont pu se terminer comme prévu au cours du premier semestre de l'année 1979, afin de livrer la plateforme aux entreprises ferroviaires au fur et à mesure de la réception des travaux.



*Illustration A : Pose automatisée de traverses et de voies (fin 1979).*

© Collection particulière

L'objectif d'ouvrir cette section au service commercial en septembre 1981 imposait une fin des travaux des installations ferroviaires, y compris le poste d'aiguillage et de régulation situé à Paris- Gare de Lyon, dès le tout début de l'année 1981, et des deux gares de Montchanin TGV et Mâcon TGV avant l'été.

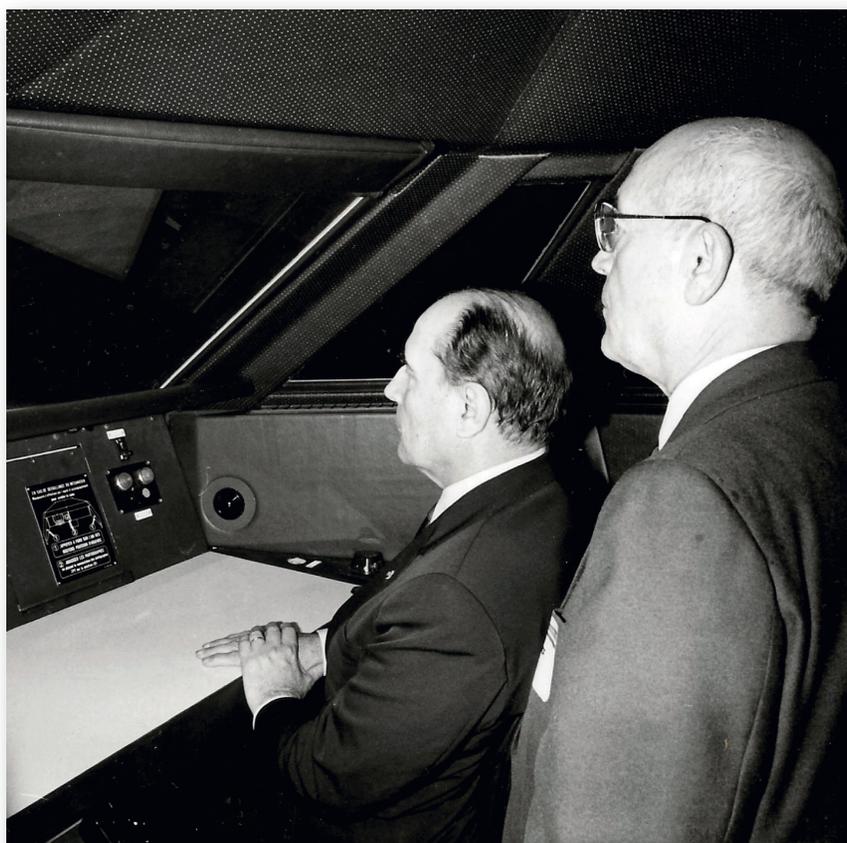
Plusieurs mois étaient en effet nécessaires pour tester l'infrastructure et les premiers TGV sur la ligne, et en phase finale d'assurer la formation des conducteurs et des équipes de maintenance.

Après des montées en vitesse progressives, le record de vitesse sur rail de 331 km/h, détenu par la SNCF depuis 1955, a été détrôné par un nouveau record à 380 km/h, établi le 26 février 1981 dans le département de l'Yonne au voisinage de Tonnerre.

L'inauguration de cette première LGV a eu lieu en gare de Montchanin TGV le 27 septembre 1981 en présence de M. François Mit-

terrand, élu quelques mois plus tôt président de la République (voir illustration B).

Pour la petite histoire, c'est au détour de son discours que le Président a annoncé, un peu à la surprise générale, la décision d'engager, dès la mise en service de la totalité de la ligne, la réalisation de la LGV Atlantique avec ses deux branches Paris-Le Mans et Paris-Tours.



*Illustration B : Inauguration de la première LGV par François Mitterrand le 27 septembre 1981.*

*A côté du Président, Paul Avenas directeur de la Ligne nouvelle*

© SNCF CAV

C'est à ce moment que j'ai quitté la direction LN1 pour prendre à Reims la responsabilité du secteur Infrastructure de la Région Champagne-Ardenne, puis, de 1983 à 1987, du département de la Maintenance des voies de la direction de l'Équipement.

Les travaux se sont enchaînés sur la section Nord entre Combs-la-Ville et Saint-Florentin,

avec le décalage prévu de deux années. Elle a été ouverte au service en septembre 1983. La vitesse de circulation de 260 km/h, choisie à l'origine, a rapidement été relevée à 270 km/h selon le programme de signalisation prévu. Elle a par la suite été portée aux 300 km/h, cela étant permis par les normes de tracé définies à l'origine, après l'adaptation de la signalisation et du matériel roulant.

## La LGV Atlantique

Éloigné des projets LGV entre 1982 et 1987, je ne citerai que pour mémoire la réalisation des 279 km de la LGV Atlantique, dont le lancement avait été annoncé en septembre 1981.

La direction LN2 s'est mise en place en gare de Massy, conduite par Étienne Chambron, libéré de LN1 en 1983 à la fin des travaux de Paris-Lyon, secondé par Dario d'Annunzio (X1972-PC) et Philippe Oblin (X1946-PC).

## La LGV Nord-Europe

Sans remonter aux premières réflexions de la fin des années 1960 que je rappelais en introduction, l'histoire du projet de ligne à grande vitesse sur le nord de la France s'est trouvée intimement liée à celle de la liaison Trans-Manche, envisagée dès le début des années 1970.

Des études de tracé ont alors été conduites parallèlement aux études d'avant-projet de la ligne Paris-Lyon. Un premier projet de ligne était proposé en jumelage avec l'autoroute A1, passant au sud de Lille pour rejoindre Bruxelles. La branche vers Londres prenait naissance au sud d'Arras pour rejoindre directement le tunnel sous la Manche à Fréthun, près de Calais. Une troisième branche d'une cinquantaine de km refermait ce triangle central, pour assurer la liaison Londres-Bruxelles en contournant par l'ouest l'agglomération de Lille.

En janvier 1975, le gouvernement britannique ayant annoncé qu'il renonçait à s'engager dans la construction d'une ligne nouvelle entre Douvres et Londres, ce projet a perdu de sa priorité, et de nouvelles études n'ont finalement repris qu'en 1983 avec la Belgique et l'Allemagne, sur une liaison Paris-Lille-Bruxelles-Cologne, étendue en 1985 aux Pays-Bas vers Amsterdam.

A noter que, contrairement à Paris-Lyon, cette ligne comporte plusieurs tunnels pour lesquels il a fallu prendre en compte les ondes de pression générées par l'entrée des trains à grande vitesse (voir à ce propos l'article de François Lacôte sur le matériel roulant<sup>1</sup>).

Les mises en service commercial auront lieu en septembre 1989, pour la branche Paris-Le Mans, et un an plus tard pour celle de la branche sud-ouest de Courtalain jusqu'au sud de Tours, après qu'un nouveau record de vitesse y a été établi à 515 km/h en mai 1990.

Lors d'une rencontre à Lille le 20 janvier 1986, le projet Nord sera finalement relancé par la décision commune du Premier ministre britannique et du président de la République française de réaliser le tunnel sous la Manche avec un objectif d'ouverture en 1993. Le calendrier de mise en service par étapes de l'ensemble du projet ne sera arrêté qu'en novembre 1989.

Sur le territoire français, une LGV Paris-Lille-Tunnel sous la Manche avec une gare de passage au centre de Lille devra être exploitable en mai 1993, la liaison Lille-Bruxelles étant assurée par la ligne existante jusqu'à l'ouverture de la LGV en Belgique, prévue en 1995. Entre le tunnel et Londres, la ligne existante sera utilisée en première étape à partir de novembre 1994 avec un terminus provisoire en gare de Waterloo.

La branche Arras-Tunnel du projet de 1975 est à ce stade abandonnée.

A la suite de la décision franco-britannique de janvier 1986 de lancer une procédure de concession pour la réalisation du tunnel, les études de projet de la ligne en France ont été activement menées sur la base du tracé retenu traversant Lille, afin de pouvoir dispo-

---

1. Ndlr: « La famille TGV, 40 ans de service commercial, 4 générations », figurant dans le présent bulletin.

ser d'un dossier d'enquête d'utilité publique dès que le gouvernement déciderait de lancer la procédure. Cette demande sera faite à la SNCF le 9 octobre 1987, et il m'a alors été demandé de mettre en place sans délai une direction de projet -LN3- pour prendre en charge les procédures et la maîtrise d'ouvrage des travaux.

Des cadres d'expérience, qui avaient déjà fait leurs premières armes sur LN1, m'ont alors rejoint avec Georges Berrin (ENPC 1967), directeur adjoint, à la direction en Gare de Paris-Nord et dans les 3 divisions travaux LGV Nord à Louvres, dirigée par Michel Gibold (ENPC 1973), à Arras, dirigée par Casimir Gébarowski et à Armentières, dirigée par Bernard Crumeyrolle (X1977-ENPC). Les recrutements se sont aussi ouverts aux volontaires en place dans les structures régionales du réseau Nord et d'autres régions de la SNCF. D'autres enfin, libérés de LN2 avec la fin des travaux de génie civil de la LGV Atlantique, ont conforté les équipes de direction et du terrain.

La maîtrise d'ouvrage des travaux affectant les installations en exploitation est restée assurée par des équipes de la région de Paris-Nord pour la gare et l'avant-gare de Paris jusqu'à l'origine de la ligne nouvelle au km 16. De même pour la région de Lille sur les 9 km de la traversée urbaine de la ville avec la gare TGV de Lille-Europe.

L'enquête d'utilité publique s'est déroulée mi-1988, et le décret d'UP a été publié le 29/09/1989 après avis favorable du Conseil d'État.

Il restait à peine quatre ans pour livrer 330 km de ligne nouvelle aux voyageurs ! Ce planning, imposé par la convention avec Eurotunnel, prévoyait une mise en service de la LGV pour mi-1993, avec des pénalités en cas de retard.

La gestion de ce planning très tendu a sûrement été un des principaux challenges auxquels notre équipe a été confrontée.



*Illustration C: Viaduc de Verberie traversant l'Oise (fin 1991).*

© Collection particulière

Et comme l'histoire n'est pas toujours rose, nous nous sommes trouvés en Picardie face à une très forte opposition sur le tracé de la ligne, que le décret d'utilité publique n'a pas suffi à contenir.

Ce tracé de la ligne, jumelé à l'autoroute A1, laissait la ville d'Amiens à une quarantaine de km à l'ouest, et les élus et une association très active ont entrepris un long combat pour obtenir une modification du projet en déplaçant son tracé pour passer au contact d'Amiens et y implanter une gare.

Le débat avait été tranché par l'enquête et le rejet par le Conseil d'État des recours introduits. Les engagements pris par l'État de mettre la ligne en service jusqu'au tunnel en 1993 ne permettaient plus de remettre en cause le projet et les procédures engagées et abouties.

Un compromis a finalement été négocié avec les élus d'Amiens, du département et de la région Picardie pour positionner une gare TGV à l'intersection de la ligne nouvelle et de la future autoroute A29. Cette solution, longtemps en compétition avec une gare à Chaulnes, à la croisée de la voie ferrée Amiens-Saint-Quentin, n'a pas fait l'unanimité, mais a été jugée plus performante pour Amiens et surtout moins perturbatrice pour la desserte régionale TER, en évitant des attentes inacceptables entre les arrivées et les départs des voyageurs en correspondance TGV.

L'inscription d'une future LGV directe depuis le nord de Compiègne jusqu'au tunnel sous la Manche, avec une gare de passage proche d'Amiens, a par la suite été officialisée par l'État dans le schéma directeur TGV adopté en conseil interministériel le 14 mai 1991. Mais cette perspective d'avenir est intervenue bien tard dans le calendrier des travaux, et le combat à la fois médiatique et juridique, mené par l'Association Amiens TGV, nous a compliqué la tâche. Notamment, certaines acquisitions foncières ont été retardées par la vente en indivision de parcelles situées

sur l'emprise de la ligne à quelques milliers de sympathisants, provoquant de ce fait des interruptions dans la continuité des chantiers pendant plusieurs mois.

## **L'interconnexion en Île-de-France**

La décision gouvernementale d'octobre 1987 de construire la LGV Nord avait aussi inclus celle d'une ligne d'interconnexion avec la LGV Sud-Est, contournant l'agglomération parisienne par l'est, avec au passage la desserte de l'aéroport Charles De Gaulle et de l'est de la ville nouvelle, avec la gare de Marne-la-Vallée-Chessy en correspondance avec le terminus du RER A. Cette nouvelle gare a de plus permis de conclure un accord avec la société Disney pour créer son nouveau parc d'attractions près de Paris, alors en concurrence avec d'autres capitales en Europe.

La naissance d'un réseau à grande vitesse avec ces deux lignes, complété par la LGV Atlantique en construction, ouvrait ainsi une attractivité nouvelle pour des voyages province-province sans changement de gare à Paris.

Outre la liaison Nord-Sud-Est, le projet comporte un triangle central sur la commune de Coubert raccordant une branche Ouest vers Créteil sur la ligne PLM et une jonction avec la grande ceinture à Valenton permettant de rejoindre la LGV Atlantique à Massy.

Ce nouveau raccordement à la ligne PLM constitue de fait une nouvelle origine de la LGV Sud-Est située à 9 km seulement de la gare de Lyon au lieu des 27 km parcourus sur la ligne ancienne depuis 1981, permettant ainsi une amélioration de la capacité des infrastructures, la ligne classique offrant un plateau de 6 voies de Paris à Villeneuve-St-Georges et de seulement 4 voies au-delà.

L'enquête d'utilité publique s'est ouverte en octobre 1988, sur la base des études d'avant-

projet conduites par les départements des lignes nouvelles et des ouvrages d'art de la direction de l'Équipement, fruit des prospections géotechniques et des négociations locales menées conjointement avec la direction LN3 dans les cinq départements de la couronne de l'Île-de-France concernés par les 102 km du projet.

Le décret d'Utilité Publique est paru au JO du 3 juin 1990.

Dès le début de l'année 1988, une quatrième division Travaux, dirigée par Marcel Journet (ENPC 1971), s'est constituée à Tournan-en-Brie au sein de LN3 pour préparer les dossiers d'enquêtes et appuyer sur le terrain les études du projet.

### ***La construction des infrastructures***

Comme pour tout projet d'infrastructures, les études d'impact du dossier d'UP analysent les conséquences sur l'environnement de la réalisation et de l'exploitation future du projet, et détaillent les mesures correctives qui peuvent y être apportées.

Parmi ces impacts, quelques-uns se sont révélés importants pour ces deux lignes.

L'impact sur le bâti, notamment le bruit, a nécessité des protections plus nombreuses que sur Paris-Lyon où la densité de population est beaucoup plus faible.

L'obligation faite au maître d'ouvrage d'inventorier et de faire procéder aux fouilles des sites archéologiques affectés par les travaux nous a conduits à conclure une convention avec la sous-direction de l'Archéologie du ministère de la Culture pour délimiter et organiser ces fouilles, coordonner leur programmation en fonction du planning des travaux et fournir les moyens matériels aux équipes mobilisées.

Sur les 170 sites inventoriés sur les 450 km de ligne, 90 se sont révélés intéressants et ont fait l'objet de fouilles de sauvetage entre

1988 et 1990, pour une importante enveloppe financière de plus de 50 millions de Francs.

Une autre particularité de la LGV Nord est son tracé jumelé sur plus de 130 km avec l'autoroute A1. L'intérêt de ce choix est surtout de ne pas faire de nouvelle coupure dans le tissu agricole, de regrouper les impacts hydrauliques et paysagers et de mutualiser les protections contre les nuisances sonores des deux infrastructures.

Lorsque les deux ouvrages peuvent être étudiés et réalisés simultanément, le jumelage est bénéfique à tous points de vue, techniquement et économiquement. La seule contrainte importante est d'assurer, par des merlons de terre ou des barrières, la protection de la voie ferrée contre la pénétration accidentelle d'un véhicule, d'un poids-lourd ou de son chargement, depuis les voies routières ou les ponts supérieurs.

Dans notre cas, la présence d'une autoroute en service, de ses échangeurs, de ses bretelles d'entrée et de sortie, de ses aires de services compliquaient beaucoup le passage des travaux de la voie ferrée qui doivent bien entendu toujours maintenir accessibles l'autoroute elle-même et les ouvrages qui la franchissent.

Les terrassements réalisés dans les plaines du Nord et de l'Île-de-France n'ont permis qu'une réutilisation très partielle des déblais pour réaliser les remblais et a fortiori les couches de plateforme qui nécessitent des matériaux de qualité. Sur plus de 30 millions de m<sup>3</sup> de déblais, plus de la moitié ont dû être déposés dans des décharges réaménagées en terres agricoles, et un volume équivalent a été approvisionné de sources extérieures.

Les études avaient mis en évidence cette difficulté due aux caractéristiques géotechniques souvent médiocres des terrains en place, et une logistique d'approvisionnement, de transport et de stockage a dû être anticipée.

Pour limiter ces apports coûteux de matériaux, ont été utilisées pour la première fois sur les LGV des techniques de construction de remblais sur des sols compressibles pour franchir une trentaine de fonds de vallées. En évitant la mise en décharge de ces couches souvent très humides et leur remplacement par des matériaux de meilleure qualité, des techniques adaptées de drainage de ces sols, de montée progressive ou de surcharge temporaire des remblais ont permis de consolider le sol support et d'accélérer suffisamment son tassement, pouvant parfois dépasser un mètre, pour que les remblais soient stabilisés avant la pose des voies.

Plus de 400 ponts routiers et ferroviaires pour franchir les routes, les cours d'eau, permettre le passage des engins agricoles et de la faune sauvage ont été construits.

Outre ces ouvrages dits courants, 14 viaducs, dont le plus long a dépassé 1 800 m de longueur, un tunnel et plusieurs tranchées couvertes complètent la liste des ouvrages d'art importants.

Pour la première fois sur une LGV, certains viaducs ou ponts ferroviaires ont été construits avec des tabliers constitués par une dalle en béton reposant sur des poutres métalliques, s'appuyant elles-mêmes sur les piles de l'ouvrage. Cette technique de construction s'est révélée efficace et économique, notamment pour franchir des cours d'eau ou des autoroutes et routes importantes, en limitant au maximum l'impact des travaux sur les circulations de la voie franchie.

La pose des voies et caténaires n'ont pas fait l'objet d'innovations particulières par rapport aux deux LGV précédentes. L'expérience acquise par les entreprises a par contre permis d'atteindre une très bonne qualité géométrique des voies dès la pose, ce qui s'est révélé précieux en terme de planning pour enchaîner au mieux l'intervention des différentes entreprises.

Une nouvelle signalisation, dite TVM 430, a par contre introduit un saut de performance par rapport à la TVM 300 équipant les LGV Sud-Est et Atlantique.

Cette « Transmission Voie-Machine » est toujours basée sur le principe d'une communication d'informations entre les rails, des boucles d'informations ponctuelles et les capteurs de la motrice. En augmentant considérablement le nombre d'informations possibles transmises en cabine, un calcul continu de la courbe de contrôle de la vitesse est devenu réalisable tout en préservant l'ergonomie de la conduite, ce qui a permis de réduire l'espacement théorique entre deux trains de 4 à 3 mn, et ainsi d'offrir la capacité pratique de 15 trains par heure demandée en pointe sur la LGV Nord. Cette capacité d'informations transmises permet aussi une exploitation de la ligne à 320 km/h, voire plus dans l'avenir, et de s'adapter facilement à d'autres LGV, en France ou à l'étranger.

C'est ainsi que tunnel sous la Manche et la LGV jusqu'à Londres ont été équipés de cette nouvelle technologie.

L'informatique a aussi fait son introduction dans des fonctions de sécurité dans les postes de signalisation en ligne, ainsi que dans le poste d'aiguillage et régulation central implanté en gare de Lille.

Après la fin des travaux, les essais réglementaires ont été réalisés dans les postes de signalisation et avec des marches en ligne à des vitesses devant atteindre la vitesse potentielle autorisée augmentée de 10 %, soit 350 km/h pour une homologation de la LGV Nord à 320 km/h, et 300 km/h pour l'Interconnexion homologuée à 270 km/h (hors la traversée de Lille et de l'aéroport CDG, limitée à 230 km/h).

La mise en service commerciale s'est faite en deux étapes pour le TGV Nord: le 23 mai 1993 pour les premiers 160 km entre Paris et Arras, et quatre mois plus tard, le 26 septembre 1993, pour la section Arras-Lille-Calais Fréthun.

Le calendrier fixé en 1989 pour exploiter la ligne à grande vitesse sur le territoire français aura donc été tenu.

Le tunnel sous la Manche s'est ouvert aux premières circulations commerciales en décembre 1993, mais les relations TGV Eurostar entre Paris et Londres Waterloo ne débiteront qu'après l'inauguration du tunnel le 6 mai 1994 en présence de Sa Majesté la Reine Élisabeth II et du président de la République François Mitterrand. La première section de la LGV au nord de Douvres sera exploitée à partir de 2003, et la deuxième en 2007 jusqu'à Londres Saint-Pancras, permettant ainsi des trajets sur Paris en 2h15 et sur Bruxelles en 2h.

De même, les premières liaisons Paris-Bruxelles et Londres-Bruxelles pourront être offertes en 1996 en utilisant la ligne ancienne en Belgique, et à grande vitesse à partir de décembre 1997 à l'ouverture de la LGV jusqu'à Bruxelles-Midi, permettant un temps de parcours de 1h25 sur Paris-Bruxelles.

L'interconnexion des LGV en Île-de-France a elle aussi été ouverte au trafic commercial en deux étapes: en juin 1994, la branche Nord/Sud reliant les LGV Nord et Sud-Est avec les deux gares de Marne-la-Vallée-Chessy-TGV et de CDG-TGV (en décembre), et deux ans plus tard, la branche Ouest complétant la connexion avec la LGV Atlantique en empruntant la ligne de ceinture entre Valenton et Massy.

## La LGV Rhône-Alpes

Outre la LGV Nord et l'interconnexion en Ile-de-France, la décision gouvernementale d'octobre 1987 avait porté sur la réalisation d'une LGV Rhône-Alpes contournant Lyon par l'est à partir d'une jonction sur la LGV Paris-Lyon à Montanay. Cette nouvelle ligne dessert au passage l'aéroport de Satolas, offre une jonction sur la ligne Lyon-Grenoble pour la

desserte de la Savoie et de l'Isère et rejoint la ligne Lyon-Marseille au niveau de Valence.

Je n'ai pas eu d'implication dans la réalisation de ce projet, simultanée avec celle de LN3, Je n'apporterai donc pas ici de témoignage particulier autre que de mentionner que la direction LN4, dirigée par Bernard Schaer (X1973-PC), puis par Jean Philippe à partir de l'été 1993, a mené à bien la maîtrise d'ouvrage des travaux permettant d'ouvrir une première section de 40 km en 1992 pour la desserte de Satolas-TGV et des Alpes à l'occasion des Jeux Olympiques d'Albertville, et en 1994, la section Sud jusqu'à Valence.

## La LGV Méditerranée

La poursuite de cette ligne entre Valence et Marseille s'est ensuite engagée avec une nouvelle direction LN5 basée à Marseille, dirigée par Pierre Izard (X1973-PC) puis Gilles Cartier (IPEF 1985), qui a pris en charge les procédures d'enquêtes publiques ayant abouti à une DUP en juin 1994.

Mon implication dans ce projet prend sa source dans la création de Réseau ferré de France (RFF) en mai 1997, nouvel établissement public prenant en charge les compétences de gestionnaire des infrastructures ferroviaires. Il était présidé par Claude Martinand (X1964-PC) qui m'a alors appelé à ses côtés comme directeur général délégué Réseau.

A ce titre, RFF reprenait la maîtrise d'ouvrage des investissements d'infrastructure. Les chantiers de la LGV Méditerranée étant déjà engagés sous la direction LN5 de la SNCF, il est apparu pertinent que RFF lui confie une large délégation de maîtrise d'ouvrage. Assisté de Josselin Martel, directeur d'opération, notre implication s'est limitée pour l'essentiel à un échange régulier avec la direction SNCF LN5 sur le suivi planning et financier du déroulement des chantiers, tout particulière-

ment pour le génie civil, domaine très important sur ce projet.

En effet, la ligne nouvelle de 303 km entre Valence et Marseille présente une densité inhabituelle de grands ouvrages d'art, et deux gares TGV en Avignon et Aix-en-Provence.

A noter que cette ligne a nécessité une étude particulière du risque de renversement des rames TGV sur certains viaducs ou hauts remblais en cas de vents traversiers très violents. C'est le cas notamment sur les viaducs sur le Rhône à l'entrée de la gare TGV d'Avignon, où à 60 m au-dessus du fleuve on a pu mesurer des vents très supérieurs à ceux connus près du sol. L'évaluation des risques a conduit à installer des stations anémométriques sur les sites critiques, permettant de commander automatiquement par la signalisation les limitations de vitesse nécessaires.

La ligne a été inaugurée le 1<sup>er</sup> juin 2001 en présence du Président Jacques Chirac.

## La LGV Est-Européenne

Les études d'avant-projet ont été engagées par la SNCF dès 1994, dirigées par Marcel Journet après son départ de la division Interconnexion de LN3.

Contrairement à la plupart des LGV précédentes qui ont été financées presque exclusivement par la SNCF (sauf pour la LGV Atlantique où l'État a apporté 30 % du coût du génie civil), la rentabilité prévue pour la LGV Est imposait une part importante de financement public à répartir entre la Commission européenne, l'État et les collectivités territoriales intéressées de Paris à Strasbourg.

A sa création en 1997, RFF a dû finaliser cette difficile négociation avant qu'une enquête d'utilité publique puisse être lancée.

En charge de la maîtrise d'ouvrage, nous avons mis en place une direction d'opération avec à sa tête Pierre Cerisier (X Lausanne), remplacé lors de son départ en retraite par Patrick Trannoy (X1979 PC), puis par Alain Cuccaroni (Mines) pour la deuxième phase du projet.

Autant la SNCF pouvait réaliser en interne ses propres études, autant RFF, dans le respect des règles nationales et européennes des marchés publics, se devait d'ouvrir ses appels d'offres de maîtrise d'œuvre aux bureaux d'ingénierie compétents présents sur le marché. Le génie civil de la ligne a été ainsi découpé en plusieurs lots attribués à différents bureaux d'études, y compris pour une part à l'ingénierie SNCF. Pour des exigences de compétence, la conception des équipements ferroviaires a par contre été négociée de gré à gré avec l'ingénierie SNCF.

Je limiterai là mon témoignage sur la LGV-Est, ayant quitté RFF début 2001, au moment où se déployaient les premiers chantiers, pour prendre la présidence de CERTIFER, la nouvelle agence ferroviaire française de certification, récemment créée pour satisfaire aux exigences européennes d'interopérabilité.

Cette LGV, exploitée à 320 km/h, a été mise en service en deux étapes : jusqu'à la Moselle avec la desserte de Metz et Nancy par une gare TGV située à Baudrecourt, en juin 2007, puis jusqu'à Strasbourg en juillet 2016, avec un temps de parcours depuis Paris de 1 h 46.

Avant l'ouverture commerciale de la première section, une tentative de record de vitesse sur rail a été entreprise avec succès le 3 avril 2007, portant le record mondial à 574,8 km/h, record non égalé à ce jour. 150 invités assistaient à bord à l'opération, qui a été retransmise en direct sur de nombreuses chaînes de télévision internationales.

## La LGV Rhin-Rhône

La LGV Rhin-Rhône est la dernière réalisée sous une maîtrise d'ouvrage publique traditionnelle de RFF.

Après une phase d'études d'avant-projet conduite par une équipe dirigée par Alain Combes (ENPC 1969) à Besançon, la branche Est de ce projet a été déclarée d'utilité publique en 2002.

Une direction d'opération managée par Xavier Gruz (ENPC 1994) a ensuite pris le relai pour assurer la maîtrise d'ouvrage du projet et des travaux.

Les chantiers d'une première phase de 140 km de la ligne entre Villers-les-Pots, à 15 km à l'est de Dijon, et Petit-Croix (Territoire de Belfort) ont été engagés en 2006.

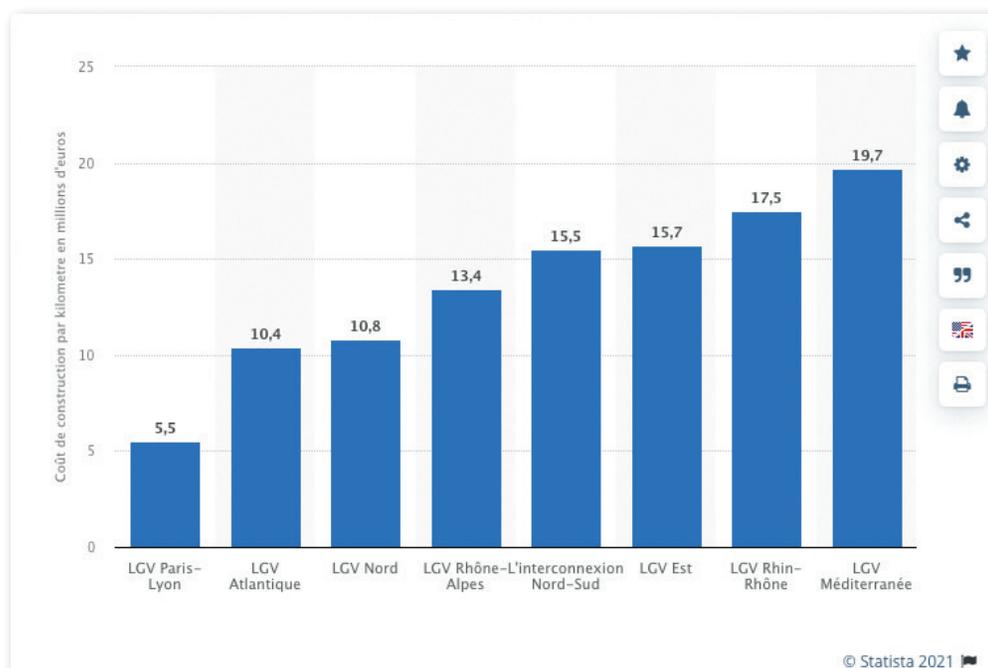
Inaugurée en septembre 2011 par le président Nicolas Sarkozy, elle a été ouverte au trafic sur Dijon-Mulhouse en décembre 2011, avec deux gares TGV à Besançon et Belfort-Montbéliard.

La deuxième phase du projet, comprenant les quinze premiers kilomètres au départ de Dijon et les 35 km entre Petit-Croix et Mulhouse, n'ont pas été programmés à ce jour, faute de financement.

## Évolution des coûts d'investissement des projets de LGV entre 1976 et 2011

Pour terminer l'évocation de ces LGV, le graphique ci-dessous permet de comparer le coût moyen au km de LGV des huit pro-

jets réalisés jusqu'en 2011 (source Statista 2021, coûts ramenés aux mêmes conditions économiques).



Ces disparités de coût importantes entre les différentes LGV tiennent pour une part à l'évolution des contraintes réglementaires et environnementales sur cette période de 35 ans, surtout pour les lignes tracées dans les zones à forte densité urbaine où les difficultés d'insertion peuvent conduire à des options de tracés plus coûteuses.

Le coût des acquisitions foncières et indemnités diverses varie aussi en fonction des lieux aussi bien agricoles qu'urbains, mais ne représente que 6 à 10 % environ du coût total.

Le choix fait en France de LGV dédiées au trafic voyageurs, permettant des rampes élevées jusqu'à 3,5 %, a permis des économies majeures sur le coût du génie civil qui reste cependant le poste de dépenses le plus important et aussi le plus variable selon les projets

La proportion de grands ouvrages d'art, viaducs et tunnels notamment, l'importance des besoins en ressources extérieures de matériaux de qualité et celle des dépôts de terres impropres à toute utilisation dans les remblais et les couches de plateforme expliquent pour beaucoup ces écarts de coût du génie civil, qui se détermine comme le solde des autres postes, soit entre 50 % et 70 % du coût de chaque projet.

Le coût au km des équipements ferroviaires (voies et appareils de voie, caténaires et sous-stations d'alimentation, signalisation et télécommunications, gares et bâtiments) a relativement peu évolué à partir de la LGV Atlantique. Le retour d'expérience de la maintenance de la LGV Paris-Lyon a montré qu'une épaisseur supérieure d'un ballast de dureté plus élevée et qu'une caténaire plus grosse étaient nécessaires, induisant un surcoût du poste ferroviaire pour les lignes suivantes. Le coût de ces équipements est de l'ordre de 20 % à 35 % du total selon les projets.

## Les dernières LGV

N'ayant participé à RFF qu'aux préliminaires de ces projets, je ne ferai que les citer brièvement pour mémoire.

**La LGV Perpignan-Figueras**, qui a la particularité d'être ouverte au trafic fret combiné et de franchir les Pyrénées par un tunnel sous le col du Pertus, a été réalisée par un contrat de concession franco-espagnol avec un groupement d'entreprises conduit par les deux groupes Eiffage et Dragados. La section concédée a été ouverte au service en décembre 2010 entre Perpignan et Figueras, mais la liaison rapide jusqu'à Barcelone a dû attendre janvier 2013, qui a vu la mise en service de la LGV entre Figueras et Barcelone, réalisée sous maîtrise d'ouvrage de l'ADIF, gérant des infrastructures ferroviaires espagnoles.

**La LGV Bretagne-Pays de Loire** entre Le Mans et Rennes a fait l'objet d'un partenariat public-privé (PPP) contracté avec le groupe Eiffage. **La LGV Sud Europe-Atlantique** entre le sud de Tours et Bordeaux a quant à elle été réalisée par un contrat de concession avec le groupe Vinci. Ces deux lignes ont été ouvertes au service commercial en juillet 2017.

**La LGV CNM**, contournant Nîmes et Montpellier en prolongement de la branche Nîmes de la LGV Méditerranée, a la particularité d'être également ouverte au trafic fret. L'appel d'offres pour un partenariat public-privé a été remporté par le groupe Bouygues, et sa mise en service est intervenue en décembre 2017 pour le fret et juillet 2018 pour les TGV, avec deux gares nouvelles au sud des agglomérations de Nîmes et Montpellier.

Concession ou PPP, le titulaire doit assurer la maintenance et les opérations de régénération nécessaires pendant la durée du contrat, au terme duquel ces infrastructures reviendront dans le réseau ferré national.

La différence principale entre PPP et concession tient au mode de rémunération du constructeur. Pour le PPP, le titulaire perçoit un loyer défini dans le contrat, peu dépendant du trafic. Le concessionnaire est quant à lui rémunéré par un péage payé par chaque circulation ; il supporte de ce fait un risque lié au trafic.

Ces contrats avaient pour objectif de limiter la part de fonds publics nécessaire pour financer les projets. Le portage des risques du coût de construction, et surtout du risque sur les recettes pour la concession, induit en contrepartie une augmentation des frais financiers imposés par les groupes bancaires qui apportent la part privée du financement.

## Quels projets pour l'avenir ?

Depuis les derniers investissements de LGV évoqués ci-avant, aucun autre projet du schéma directeur de 1974 n'a été réellement engagé. La priorité accordée à la régénération du réseau ferré classique s'est traduite par des contrats pluriannuels entre SNCF Réseau et l'État pour améliorer les services de transport intercités et banlieues des grandes villes, ainsi que les capacités offertes au trafic fret.

Lors de la manifestation organisée par la SNCF le 17 septembre 2021 à l'occasion du quarantième anniversaire de l'ouverture de la LGV Paris-Lyon, le président Emmanuel

Macron a annoncé la préparation de dossiers d'enquête d'utilité publique pour quelques projets de LGV.

Il s'agit pour les premiers de la liaison Bordeaux-Toulouse, d'une première phase de LGV de Montpellier à Béziers du « maillon manquant » jusqu'à Perpignan, et de premières sections au départ de Marseille et de Nice d'une ligne nouvelle entre ces deux villes.

\*  
\*   \*   \*

On compte aujourd'hui dans le monde plus de 50 000 km de lignes ferroviaires exploitées à 250 km/h et plus, dont bientôt 40 000 en Chine, 3 000 au Japon et 9 000 en Europe.

La France dispose d'un réseau de lignes à grande vitesse de plus de 2 700 km exploitées à 300 ou 320 km/h, sur lequel la SNCF a transporté en sécurité en quarante ans plus de trois milliards de voyageurs.

De par leur très faible impact carbone, ces réseaux de transport constituent un atout essentiel au moment où s'impose à tous une transition énergétique nécessitée par le réchauffement du climat.

## **Bibliographie**

*Le transport à très grande vitesse – Réseau nord de la France*  
Rapport de Robert Geai – Décembre 1965

*Le TGV Nord et la Jonction*, in *Revue Générale des Chemins de Fer* – Janvier 1992

Archéo TGV – Casterman – Mars 1992

*La construction du TGV Nord*, in *Revue Travaux - FNTF* – HS Janvier 1993

*Le TGV Nord-Europe*, in *La Vie du Rail & des Transports* – HS Mai 1993

*Les Interconnexions du TGV*, in *Revue Générale des Chemins de Fer* – Juin 1994

*Les très grandes vitesses ferroviaires en France*,  
in *Revue d'Histoire des Chemins de Fer* n° 12 & 13 – AHICF 1995

*Des Records et des Hommes – TGV Méditerranée* – Terres du Sud – 1999

*Les Coulisses de la Grande Vitesse*, *Les Carnets de l'Info* – Septembre 2011

*TGV 30 ans de Grande Vitesse*, in *Revue Générale des Chemins de Fer* – 4° trim 2011

# La famille TGV : 40 ans de service commercial, 4 générations

*François Lacôte (X1966)*

---

## Liminaire

Les origines du système TGV et de la première génération de matériel roulant (matériel TGV Paris/Sud-Est) ont été présentées dans l'entretien avec Jean Dupuy<sup>1</sup>.

Ingénieur à la SNCF depuis septembre 1974 et arrivé au département de la Construction de la direction du Matériel de la SNCF en 1980, j'ai pris la direction des programmes TGV en octobre 1982, soit un an après la mise en service du premier TGV, et j'ai ainsi dirigé la conception, le développement, les essais et la mise en service des deux générations suivantes de TGV.

Quelques années plus tard, après des positions de directeur du Matériel puis directeur

de la Recherche et de l'Innovation à la SNCF, j'ai rejoint la société Alstom<sup>2</sup> en tant que directeur technique (CTO), où, entre autres missions, j'ai pu piloter la création, les essais et la mise en service de l'AGV (Automotrice Alstom à Grande Vitesse) en Italie. L'AGV reprend les principes directeurs des TGV, il en partage l'ADN et constitue ainsi, de mon point de vue, la quatrième génération de trains à grande vitesse. L'objet de ce document est de présenter l'histoire de cette grande aventure française, la saga TGV, initiée grâce aux succès technique et commercial de sa première génération, le TGV Sud-Est (ci-après « TGV PSE » ou « PSE »).

---

1. Ndlr: Figurant dans le présent bulletin.

2. Ndlr: Créée en 1928, la société a pris le nom d'Alstom en 1932, puis est devenue successivement Alstom Atlantique en 1976, GEC-Alstom en 1989 et enfin Alstom depuis 1998. Pour des raisons de simplicité, on a retenu dans tout cet article la dénomination actuelle « Alstom ».



*La famille TGV rassemblée, de gauche à droite : TGV Duplex, TGV Thalys, TGV Sud-Est rénové, TGV Eurostar, TGV Atlantique record (rame 325, 515,3 km/h le 18 mai 1990), TGV de mesure (infrastructure), TGV Duplex Lyria (franco-suisse), TGV postal, TGV Sud-Est record (rame 10, 380 km/h le 26 février 1981).*

© SNCF

## **De la première à la deuxième génération : le TGV Atlantique**

*Quand un changement d'aiguillage stratégique  
mène sur la voie d'un nouvel essor*

### **Les fondamentaux de la première génération**

L'architecture d'ensemble de la rame TGV est restée inchangée au fil des générations successives. Cette architecture, dite en « rame articulée », est unique dans le monde ferroviaire pour cette gamme de vitesse et elle présente des avantages incomparables pour la pratique de la très grande vitesse. La rame TGV est un cas unique, puisque chaque bogie ne supporte que deux éléments de suspension secondaire, une extrémité de caisse reposant sur cette suspension secondaire (bout porteur) supportant, par l'intermédiaire d'une rotule, l'extrémité de la caisse adjacente (bout supporté) ; c'est cette rotule qui fait toute la spécificité de la rame TGV articulée (sur la rotule). Ce montage se voit sur le schéma de la suspension intercaisse pneumatique inséré plus loin.

La décision de la rame articulée, « indéformable » en exploitation et en maintenance, représentait ainsi une véritable « révolution culturelle ». A mon sens, seule la SNCF (et non l'industriel) pouvait lancer une telle réflexion sur l'architecture optimale pour la très grande vitesse, puis prendre cette décision en rupture avec les architectures classiques de trains de grandes lignes.

La traction de la première génération fut par contre fondée sur un système électrique classique, utilisant un moteur électrique à courant continu et avec collecteur, ce qui correspondait à l'état de l'art de l'électrotechnique de l'époque pour les moteurs à vitesse continûment variable.



Le TGV 001 © SNCF

Lorsque le Président Mitterrand, en septembre 1981, inaugure la mise en service du premier TGV, il invite la SNCF à étudier une deuxième ligne TGV pour la desserte de la façade Atlantique de la France, le TGV Atlantique.

En fait, la SNCF avait déjà en quelque sorte « anticipé » cette demande et lancé les études préliminaires de ce deuxième TGV, menant à un programme guidé initialement par une vision stratégique de rentabilisation : profiter de la technologie mise au point tout en la peaufinant. Pourtant, l'aboutissement sera autre : grâce à une alchimie complexe de plusieurs années mêlant avancées technologiques et remise à plat de l'approche commerciale, le TGV Atlantique se révélera finalement le fer de lance d'une nouvelle génération de trains aux nombreuses avancées techniques.

## **Le choix initial « de raison », rentabiliser en perfectionnant**

Dans la droite ligne des principes directeurs (techniques et économiques) de la première ligne TGV, les caractéristiques principales du système TGV Atlantique étaient déjà arrêtées :

- pour l'infrastructure, compte tenu du relief traversé, un gradient de profil en long relativement faible (1,5 % au lieu de 3,5 % pour la ligne TGV Paris Sud-Est), mais avec des tunnels en sortie de Paris ;

- pour la signalisation, reconduction du système Paris/Sud-Est (TVM 3000) ;
- pour le matériel roulant, reconduction de la technologie Paris/Sud-Est.

Du fait d'un profil de ligne plus facile (1,5 %) et de la présence de quais de grande longueur (500 m) sur les gares de la desserte Atlantique, il est ainsi décidé de réaliser des rames de même technologie, mais plus longues (240 m avec 10 voitures au lieu de 200 m et 8 voitures) et moins motorisées (4 bogies moteurs au lieu de 6 bogies moteurs pour le Sud-Est), offrant donc des possibilités moindres que les précédentes et juste suffisantes pour le besoin... Et cela dans une double optique.

D'une part, rentabiliser tout l'investissement de recherche et développement fourni pour le TGV Sud-Est. En effet, sa mise en service était considérée comme un aboutissement de toutes les études, de tous les développements techniques ayant abouti à la création du « système TGV ».

D'autre part, régler rapidement des « défauts de jeunesse » du TGV PSE qu'avaient révélés les premiers mois d'exploitation, en dépit de toutes les précautions prises pour éviter ce type d'imprévus. En particulier, trouver une solution pour améliorer le confort vibratoire, après une série importante de tentatives infructueuses de modification de la suspension secondaire des voitures à ressorts acier, en installant une suspension pneumatique.

Pour la direction de la SNCF, la ligne TGV Atlantique constituait donc une reconduction optimisée économiquement, tout comme un laboratoire pour peaufiner la technologie PSE.

Ainsi, en septembre 1982, on me propose de prendre la direction du programme TGV avec une double mission :

- Régler tous les problèmes de fonctionnement de la première génération (TGV PSE).
- Diriger le programme TGV Atlantique pour des rames TGV reconduisant la même tech-

nologie, mais avec des performances réduites (augmentation de la longueur et de la masse, réduction d'un tiers de la puissance).

Ainsi, cette perspective ne suscite pas chez moi un grand enthousiasme, et je demande en parallèle à conserver la direction des programmes d'automotrices à deux niveaux de la région parisienne, matériel innovant dont j'ai dirigé la construction et les essais, et dont la mise en service commercial est proche. Cela m'est accordé, et c'est d'ailleurs la direction conjointe de ces deux projets qui m'amènera, des années plus tard, à proposer une évolution du matériel TGV vers l'architecture « deux niveaux » (le TGV Duplex).

### ***Première mission: régler les problèmes de jeunesse du TGV PSE***

En effet, malgré l'expertise des ingénieurs de la SNCF, leur expérience de la vitesse de 200 km/h, les nombreux essais à 300 km/h et plus de la rame prototype TGV001 dans la ligne des Landes plusieurs années avant la sortie des rames TGV de série, les essais à grande vitesse des deux rames de présérie (baptisées Patrick et Sophie) commandées avec sagesse par la SNCF 18 mois avant la série, le début du service commercial fit apparaître un nombre significatif d'anomalies ou d'avaries qu'il convenait d'analyser et traiter en priorité. D'autant plus logiquement que la génération suivante (TGV Atlantique) devait en profiter dès la conception.

La majeure partie d'entre elles résultait de la pratique d'une vitesse très supérieure aux vitesses pratiquées en transport ferroviaire jusque-là...

### ***La contrainte des vents et le souffle du pragmatisme***

Tout d'abord, des phénomènes liés à l'aérodynamique lors des circulations: par vents transversaux violents, la prise au vent des pantographes entraînait des soulèvements excès-

sifs de leurs archets, provoquant la rupture et l'arrachement de la caténaire et ainsi l'immobilisation du TGV en rase campagne. En résultèrent des incidents importants, notamment durant l'hiver de la première année d'exploitation commerciale (1981-1982).

La première mesure prise par la SNCF fut d'installer des stations anémométriques dans les zones concernées, aptes à déclencher des restrictions de vitesse lorsque la vitesse du vent dépassait des valeurs prédéfinies.

Dans une deuxième phase, et afin de se libérer de cette contrainte de la surveillance des vitesses de vents de travers, la SNCF avait lancé des recherches en soufflerie à Modane, visant à utiliser l'effet « Coandă » [du nom de son découvreur] en agissant sur la forme des acrotères en toiture de la motrice, avec l'objectif de « coucher » les filets d'air. Lors de ma prise de fonction comme responsable des programmes TGV, ayant assisté aux essais en soufflerie et à l'échec absolu de la disposition envisagée, je pris la décision d'adopter la suggestion d'un ingénieur de la SNCF, proposition jusque-là écartée car moins « attirante » scientifiquement mais éprouvée: prendre en compte la hauteur constante de la caténaire de la ligne grande vitesse (contrairement au réseau classique où la caténaire est de hauteur variable pour prendre en compte les diverses contraintes de ce réseau, passages à niveau notamment), et ainsi préconiser l'installation d'une butée mécanique de limitation du développement des pantographes pour les circulations sur LGV: moins « joli » que l'effet Coandă mais autrement plus efficace!

### ***L'effet « boule de neige » de l'hiver***

Le deuxième enjeu technique concernait la circulation à grande vitesse par temps de neige, qui apporte son propre lot de problèmes: d'une part, des entrées de neige dans les carters d'huile des organes de transmission (formation de « mayonnaise ») et ainsi une très forte sollicitation des agents d'entretien du

TGV devant procéder, la nuit, à la remise en état des organes de transmission pour fournir chaque matin aux exploitants un parc de rames TGV totalement « assaini » : véritable exploit des équipes de maintenance SNCF, complètement motivées par l'importance du succès de cette nouvelle ère du transport ferroviaire.

La circulation à grande vitesse sous précipitations neigeuses fit apparaître un autre problème jusqu'alors inconnu sur le réseau classique : l'accumulation progressive de neige sur les bogies formant des amas compacts, et leur chute à l'occasion de variations brutales de l'environnement aérodynamique comme les croisements de TGV à vitesse maximale de la ligne ; ces chutes de blocs de neige compactée entraînant des « giclées » de ballast pouvaient endommager le TGV « croiseur » (bris de vitre par exemple).

### ***La gestion du contact roue-rail et l'importance accrue de l'anti-enrayeur***

Une autre série de problèmes est sans doute à imputer à l'insuffisante prise en compte des sollicitations mécaniques venant du contact rail-roue liées à la grande vitesse : les efforts dynamiques croissent en effet très rapidement avec la vitesse en domaine de fréquence, et au moins comme le carré de la vitesse en amplitude. Cette sollicitation mécanique beaucoup plus intense qu'anticipé a entraîné des fissurations et des ruptures d'organes de transmission qu'il a fallu corriger de manière urgente.

Enfin, la pratique de la très grande vitesse a mis en évidence un phénomène mal identifié jusque-là et susceptible d'engager la sécurité de la circulation : si lors d'un freinage, du fait de la défaillance du système d'anti-enrayage (l'équivalent de l'ABS automobile), l'essieu est amené à « enrayer » (blocage de l'essieu) sans aller jusqu'à l'arrêt complet du train, le « plat » créé par l'énergie du frottement de la roue sur le rail peut suffire à empêcher la remise en

rotation de l'essieu une fois les freins desserrés ; une situation éminemment dangereuse car, au fil des kilomètres parcourus, la roue va s'user jusqu'à provoquer un déraillement. Ainsi l'anti-enrayeur, jusque-là utile pour le confort du voyageur et la durée de vie de la roue, devient un organe essentiel pour la sécurité des circulations à très grande vitesse.

Cette énumération montre qu'à la prise de fonction une année après la mise en service, la mission du directeur de projet TGV était d'abord de résoudre rapidement et efficacement les problèmes de circulation du premier TGV, avant d'imaginer toute évolution technique pour le suivant, le TGV Atlantique. Cependant, en parallèle avec les travaux de résolution de tous ces problèmes, les équipes techniques de la direction du matériel de la SNCF continuaient leurs recherches et développements sur tous les sous-systèmes qui composent le matériel TGV, en poursuivant des objectifs de progrès qui constituent une des constantes d'évolution de la rame TGV : performances, confort, économie, impact environnemental. Cela, combiné à d'autres facteurs, allait rapidement induire une remise à plat de l'orientation du programme TGV Atlantique...

## **L'opportunité d'une orientation nouvelle**

Il se trouve en effet que, tandis que les soucis de jeunesse du TGV se résolvaient, plusieurs facteurs externes allaient se réunir pour rendre incontournable une remise à plat du programme Atlantique.

### ***Des évolutions techniques majeures justifiant de relever les ambitions***

Les travaux menés par les équipes dédiées à la R & D en étroite collaboration avec l'industrie ferroviaire faisaient apparaître des potentialités très prometteuses.

### ***Une avancée considérable dans le domaine de la traction***

Dans le domaine de la traction, le développement avec les équipes de Jeumont-Schneider (JS) d'une nouvelle technologie de moteurs de traction (le moteur triphasé synchrone à onduleur de courant) offrait à la fois un gain considérable de puissance massique (le quasi-doublement par rapport aux moteurs de la première génération) et d'économie d'entretien, laissant entrevoir (enfin !) des possibilités de vitesse bien supérieures à la vitesse envisagée pour le projet initialement sous-motorisé, et ce dans la composition prévue avec deux voitures supplémentaires par rapport au TGV PSE. On pouvait ainsi imaginer une vitesse de 300 km/h, une aptitude en rampe avec un gradient bien supérieur à celui prévu (2,5 % au lieu de 1,5 %), et ainsi des économies également sur l'infrastructure du fait d'un profil en long plus facile dans son inscription dans le relief.

Je décidai donc d'arrêter la réalisation de la rame prototype « sous motorisation PSE » lancée par mon prédécesseur en la transformant en rame « prototype synchrone », la rame PSE88, qui devait ensuite s'illustrer en décembre 1988 avec un record de vitesse à 408,6 km/h.

Une telle évolution dans les performances, permise par cette nouvelle technologie de traction, devait bien évidemment s'accompagner d'une évolution symétrique dans les autres composantes de la rame TGV : freinage, captage, roulement et suspension, pour pouvoir effectivement utiliser ces nouvelles potentialités offertes en traction.

### ***Une nouvelle technologie pour les disques de freinage***

Les ingénieurs développèrent avec l'industrie de nouveaux disques de freinage en acier haute résistance supportant de très hautes températures, permettant d'assurer la dissipation de l'énergie cinétique d'un TGV roulant à 300 km/h au moins (au lieu de 260 km/h précédemment) tout en simplifiant

l'équipement de freinage. Nous pûmes ainsi considérablement l'alléger en supprimant à la fois les sabots frottant sur les roues (dont l'effet « dépolissant » entraînait un surcroît d'usure et de nuisance sonore) et la ventilation de disques devenue superflue (avec à la clé un gain très sensible sur la résistance à l'avancement à grande vitesse). En parallèle, les ingénieurs conçurent également un nouvel automatisme de gestion de l'adhérence en freinage (anti-enrayeur), capable d'assurer à la fois l'optimisation de l'effort en fonction de l'adhérence disponible et l'antiblocage de l'essieu.

Ces deux innovations majeures (disques et anti-enrayeurs à glissement entretenu) illustrent parfaitement le triptyque « performances/économies/environnement » des objectifs de progrès d'une nouvelle génération du TGV : performances (de 260 km/h à 300 km/h) – économie (réduction de la résistance à l'avancement due à la suppression de la ventilation) – environnement (réduction d'au moins 7 dB(A) du bruit du roulement, grâce à la suppression des sabots).

### ***Des progrès majeurs dans le roulement et le confort***

Si sur le plan de la sécurité de roulement le premier TGV était sans reproche, il y avait cependant deux problèmes majeurs à régler. Tout d'abord une usure tout à fait excessive des roues, résultant d'une erreur d'appréciation dans le comportement du bogie TGV : ce bogie de grand empattement (3 m), fortement rattaché à la caisse par des amortisseurs à front raide, cela pour assurer une excellente stabilité pour les parcours à grande vitesse, s'inscrivait moins bien qu'un bogie classique dans les courbes plus marquées du réseau existant, qui pourtant représentaient une part majoritaire du parcours total des TGV : un point que les ingénieurs de la SNCF avaient largement sous-estimé, et qui se traduisit par une usure très rapide et inacceptable des roues. La solution fut assez simple à concevoir, mais moins simple à appliquer : équiper les rames TGV de « graisseurs de

boudin de roues », comme le sont tous les matériels moteurs de la SNCF. Les ingénieurs avaient pensé, à tort, que les TGV roulant sur lignes à grande vitesse ne comportant que des courbes de très grand rayon (supérieur à 4000 m) n'avaient pas besoin d'en être équipés, négligeant ainsi l'importance des parcours sur ligne classique !

Mais ensuite, il restait un problème beaucoup plus important et difficile à régler, aussi bien techniquement que culturellement : il s'agissait du problème du confort vibratoire de la rame TGV, bien moins bon que celui des voitures Corail, irréprochables dans ce domaine, alors que les principes de conception des suspensions de ces deux familles de matériel, contemporaines de la fin des années 1970, étaient les mêmes...

Lorsque j'arrivai sur le poste de direction des matériels TGV, un an après la mise en service du premier TGV, de très nombreuses études et essais « en ligne » (en circulation) de TGV à la suspension modifiée avaient été réalisés, tous infructueux, au point que mon prédécesseur, très honnêtement, me transmit l'ensemble du dossier relatif au problème de cette suspension avec le message : « *on a tout essayé avec la suspension pneumatique, ne cherche pas il n'y a rien à en tirer* ».

Après avoir pris connaissance de l'ensemble du dossier, j'arrivai à une conclusion différente : l'architecture originale du TGV, créée pour réduire la résistance aérodynamique du train, présente par ailleurs des handicaps qui expliquent son comportement vibratoire défavorable. Ma proposition fut de transformer ce handicap en avantage grâce à une nouvelle solution de suspension spécifique de cette architecture très particulière, solution qu'il fut difficile de faire accepter (une bataille duraille !). Ceci permit de conserver l'architecture articulée de la rame TGV, dont les vertus insoupçonnées m'amènèrent à livrer un combat acharné pour les faire reconnaître et les exploiter.

### ***La dynamique d'une nouvelle offre commerciale***

En parallèle de ces développements technologiques, la direction commerciale « Voyageurs » de la SNCF réfléchissait à une évolution de l'offre commerciale TGV à partir des premières réactions des voyageurs du PSE. En simplifiant et en caricaturant un peu, leur discours pouvait se résumer ainsi : « *Bravo SNCF, vous nous offrez le temps de l'avion pour le prix du train, mais vous avez trop copié l'avion (voitures identiques à couloir central) et oublié tout ce que peut offrir le train en termes d'aménagements variés pour l'agrément du voyage* ».

Pour prendre en compte cette remarque, il fut décidé en commun (direction commerciale et direction de projet TGV Atlantique) de demander à Roger Tallon, designer nommé pour succéder au designer du premier TGV Jacques Cooper, de faire des propositions d'aménagement intérieur apportant nouveauté, diversité des espaces et confort, pour répondre aux demandes commerciales. Ces propositions firent d'abord l'objet de maquettes en taille réelle construites par le technicentre SNCF situé sur la ligne Atlantique, appelé à l'époque « Les Ateliers SNCF du Mans ». Ces maquettes préfiguraient les aménagements de la voiture de 2<sup>e</sup> classe, des voitures « club » de 1<sup>re</sup> classe, les différents espaces spécifiques pour les familles ou les groupes, et la voiture bar.

Ainsi, en parallèle avec tous les travaux et essais pour assurer le bon fonctionnement et la sécurité de la première génération (TGV PSE), se développaient toutes les briques technologiques et commerciales pour une nouvelle génération proposant un très important saut technologique en termes de performances, d'économie, de confort et d'impact dans l'environnement.

## ***TGV Atlantique round 2, une nouvelle équation technique et économique***

Dès le départ, la décision de lancement de cette seconde génération avait été conditionnée par Jean Dupuy à la résolution des problèmes de fonctionnement du TGV PSE et à la mise en œuvre des modifications du matériel qui en découlait : « *Lacôte, avant de penser aux 300 km/h, réglez d'abord les problèmes du TGV actuel!* ». Une injonction très claire, que je m'employais à mettre en œuvre... En même temps que j'encourageais les équipes de développement à poursuivre la préparation de la génération suivante.

Dix-huit mois plus tard, les problèmes de fonctionnement du TGV avaient trouvé des solutions, toutes en cours d'application sur le parc de rames. Il devenait ainsi possible de revenir auprès de la direction générale pour proposer d'abandonner le projet de rame TGV Atlantique dérivant de la technologie TGV PSE, mais moins performante puisque plus longue, plus lourde et moins motorisée ; et au contraire de faire un véritable saut technologique vers une rame plus performante (300 km/h), plus économique (motorisation et freinage moins coûteux en maintenance), plus confortable (suspension pneumatique SR10 et espaces conviviaux et diversifiés) et moins agressive pour l'environnement (gain de 10 dB(A) dans le bruit mesuré à 25 m de l'axe de la voie).

En parallèle avec les études techniques et développements du matériel, il avait aussi fallu lancer des réflexions avec d'autres partenaires du projet.

► Avec nos partenaires de l'infrastructure, obtenir le maintien de la limite de charge à l'essieu à 17 t (limite fixée pour la vitesse de 260 km/h), et non une limite inférieure justifiée par l'augmentation de la vitesse de 260 km/h à 300 km/h : Serge Montagné (X 1964), chef du département des études de la voie, accepta de ne pas abaisser cette limite, après examen des premiers résultats de comportement de la voie Paris-Lyon,

mais également sensible aux grandes difficultés qu'aurait apporté à la conception du TGV de deuxième génération un abaissement de cette limite pour tenir compte de l'accroissement de vitesse.

► Avec le directeur de la ligne nouvelle Atlantique Étienne Chambron (X1951), les discussions ont porté sur les possibilités offertes par cette nouvelle génération de TGV, plus puissante et offrant un couple au démarrage très supérieur au projet d'origine, permettant ainsi un profil en long du tracé beaucoup plus favorable (rampe de 2,5 % au lieu de 1,5 % dans le projet originel), source d'économies dans le coût de réalisation ; le caractère tardif de la décision ne permit pas cependant de réaliser la totalité des économies apportées par ce matériel plus performant.

► Avec le département des investissements de la SNCF, il fallut reconstruire le bilan économique du projet global TGV Atlantique pour en vérifier la pertinence, compte tenu des économies apportées (construction de la ligne, baisse des coûts de maintenance), de l'augmentation du chiffre d'affaires en exploitation (valorisation du temps de parcours gagné par le passage de 260 km/h à 300 km/h), de l'évolution des coûts d'exploitation (plus en énergie, moins en maintenance) mais aussi... de l'augmentation du coût du matériel roulant du fait des améliorations techniques apportées à ce matériel.

Ainsi, l'équation économique du projet TGV Atlantique conservait une solution satisfaisante, à condition toutefois que le prix de la rame TGV Atlantique reste conforme à l'estimation qui avait été faite par la SNCF (direction du Matériel), soit 67 millions de francs (année 1985).

Restait ainsi à négocier ce prix avec le ou les industriels.

## La négociation du contrat industriel, entre tractations et bonne intelligence

Pour le premier TGV, le paysage industriel français pour le ferroviaire était suffisamment diversifié pour pouvoir lancer un véritable appel d'offres et, après négociation avec les deux « grands », Alstom et Francorail-MTE<sup>3</sup>, la SNCF (Jean Dupuy) put obtenir un prix très voisin de l'estimation donnée dans le dossier ministériel (20,3 millions de francs – année 1975); la SNCF accepta le regroupement des industriels Alstom et Francorail-MTE pour assurer la construction des rames dans les meilleures conditions techniques et financières.

Ce faisant, la SNCF avait accepté (provoqué ?) le regroupement des industriels français du ferroviaire pour la construction du premier TGV, rendant ainsi très problématique une mise en concurrence pour la seconde génération, attisant les craintes de Jean Dupuy pour obtenir des conditions de prix correctes... Un seul groupe industriel important, les Ateliers du Nord de la France (ANF), constructeur des autorails et turbotrans de la SNCF, n'était pas dans le consortium « TGV ». Il pouvait être le « challenger » lors de l'appel d'offres pour cette seconde génération de TGV, et Jean Dupuy lui fit passer le message, espérant ainsi peser sur le prix de la rame en réponse à l'appel d'offres. Cet appel d'offres, lancé en 1985, ne répondit pas aux espérances de Jean Dupuy : ANF ayant rejoint le consortium Alstom-Francorail, et s'étant ainsi vu attribuer une part de la construction (la réalisation des deux voitures « Club » de 1<sup>re</sup> classe), il n'y eut qu'une seule réponse à l'appel d'offres, pour une proposition de prix (76 millions de francs) largement supérieure à l'estimation de la SNCF (67 millions). Or, ce prix était un paramètre important de l'équation assurant l'intérêt économique de la création de cette nouvelle génération.

Il faut souligner que pendant toute la période précédant l'appel d'offres, le directeur industriel d'Alstom avait fait un lobbying intense auprès de sa direction générale, plaidant pour une reconduction de la technologie du premier TGV (ainsi que j'avais trouvé le dossier en arrivant à la direction du projet), et non de suivre les « délires technologiques » d'un jeune « irresponsable » de la SNCF, car l'outil industriel était alors parfaitement rodé. Ce lobbying était d'ailleurs parvenu aux oreilles de la direction générale de la SNCF.

Il faut dire que l'entreprise Alstom proprement dite n'était pas impliquée dans les nouvelles technologies souhaitées pour le TGV Atlantique, puisque nous les avons directement pilotées et développées, soit avec son partenaire Francorail (traction et bogie), soit directement avec les équipementiers (captage avec Faiveley, freinage avec Knorr et Faiveley, suspension pneumatique avec Continental, sièges avec Compin, etc.). Faut-il ainsi voir dans le prix élevé qui était proposé une certaine frilosité d'Alstom à changer et reconcevoir son outil industriel ?

Une dernière « étape » dans le lancement de cette nouvelle génération de TGV : après avoir témoigné d'une irritation extrême envers ANF, qui avait préféré rejoindre le groupement des industriels TGV plutôt que faire une offre indépendante, Jean Dupuy me chargea de mener des discussions-négociations avec le groupement des industriels pour obtenir le prix estimé par la SNCF : 67 MF ! Sa consigne : « *vous sauvez la suspension et la motorisation (moteurs synchrones autopilotés), le reste est moins important !* ».

---

3. Ndlr : *Francorail* était un groupement de fabricants français de matériel roulant ferroviaire, formé au début des années 1970 et disparu à la fin des années 1980. En 1973, l'entreprise MTE (*Matériel de traction électrique*), filiale commune de Creusot-Loire et Jeumont-Schneider a formé un *GIE* avec Francorail, appelé Francorail-MTE. Sur ce sujet, voir aussi l'éditorial de René d'Ambrières dans le présent bulletin.

Il s'ensuivit une série de réunions-discussions au cours desquelles l'ensemble de la future rame TGV fut analysé, décortiqué, pesé, confronté à d'autres références; du côté du groupement, André Thinières (X 1959) menait les négociations. Au bout de plusieurs mois qui virent s'enchaîner moult réunions, et après avoir « sauvé » la quasi-totalité des innovations prévues pour cette deuxième génération, j'arrivai au montant accepté par les industriels de 67,70 MF (et non 67 MF comme exigé par Jean Dupuy). Je revins donc vers Jean Dupuy avec ce résultat « non conforme », étant un peu inquiet de sa réaction. Sa réponse fut à la fois apaisante et surprenante: « *C'est bien, Lacôte, mais il me faut 67 MF; eh bien, vous allez retourner voir Alstom et leur dire qu'il nous faut 67 MF, pas un centime de plus, mais que pour le faire, nous allons prendre en charge, nous SNCF, l'aménagement de la voiture-bar du TGV Atlantique dans notre établissement industriel du Mans (celui qui avait réalisé les maquettes à l'échelle 1:1)* ». C'était Jean Dupuy!

Inquiet *a priori* de la réaction d'Alstom à cette demande originale, j'eus l'heureuse surprise de rencontrer un accueil favorable de l'industriel, dû certainement à l'esprit d'ouverture et à l'intelligence « commerciale » de mon interlocuteur André Thinières. Il fut ainsi décidé que les 12 premières rames seraient totalement réalisées par Alstom, que la totalité des approvisionnements pour l'aménagement intérieur de l'ensemble des rames serait négociée et commandée par Alstom, et que les remorques-bar après la douzième rame seraient aménagées au Mans par la SNCF dans son technicentre... ramenant ainsi le prix moyen de la rame TGV Atlantique à 67 MF. On note ici l'impact considérable de l'inflation au moment des deux chocs pétroliers: ce prix est en effet environ le triple de celui négocié par Jean Dupuy pour les rames du Sud-Est à 8 voitures seulement, comme rappelé ci-dessus.

Le marché fut immédiatement signé, pour une commande de 85 rames en tranche

ferme, augmentée de 10 rames en option (option qui fut confirmée et permit d'assurer la continuité de la fabrication). La commande comportait deux rames de présérie, en avance de livraison par rapport au reste de la série, aux fins d'assurer les essais de validation et de certification, et en même temps de définir les éventuelles modifications à apporter à la série. Elles furent également mises en service commercial sur ligne classique, en remplacement de trains Intercités, pour recueillir les réactions des voyageurs, identifier des mises au point en relation avec le service commercial et initier la formation du personnel d'accompagnement.

### ***L'aboutissement du TGV Atlantique***

La mise en service commercial eut lieu le 24 septembre 1989 pour la desserte en direction de la Bretagne et des Pays de la Loire, et une année plus tard, le 25 septembre 1990, pour la desserte en direction du Sud-Ouest

Cette mise en service ne connut pas les mêmes difficultés et incidents que lors de la mise en service de la première génération, les très bons résultats de confort vibratoire apportés par la nouvelle suspension SR10 amenèrent la direction générale de la SNCF à décider de l'appliquer sur les 109 rames de la première génération: une modification importante réalisée dans le technicentre SNCF de Bischheim, celui qui avait assuré tous les travaux de modification de la rame 10 de 1<sup>re</sup> génération (d'où le nom donné à la suspension, suspension SR10) pour le développement, les mises au point et les essais de cette nouvelle suspension.

Un souci important toutefois: le système informatique embarqué; la rame TGV Atlantique était le premier matériel roulant de la SNCF à adopter la technologie numérique pour le contrôle-commande du train, en remplacement des logiques à relais appliqués sur les matériels précédents.

Nous (SNCF et Alstom, co-développeurs) avons assez largement sous-estimé la complexité et les « pièges » d'une solution numérique pour le contrôle-commande d'un matériel roulant dans un environnement électromagnétique agressif. Cela se traduit par un nombre relativement important de mises au point appliquées avec célérité et, assez rapidement, le fonctionnement du système fut bien maîtrisé et le service assuré sans problème majeur.

Au-delà de ces quelques soucis, l'offre Atlantique fut extrêmement bien accueillie par le public, et le succès ne se démentit pas. La réputation du TGV, ainsi renforcée, lancera une nouvelle dynamique d'appropriation de la technologie en France, en Europe et même au-delà.

## **La famille TGV de deuxième génération : au-delà de l'Atlantique**

***TGV « réseau », Thalys (PBKA), Eurostar (TMST),  
AVE (Madrid-Séville), KTX (TGV Corée)***

La période 1985-1995 fut riche en projets de lignes ferroviaires à grande vitesse, en Europe et dans le monde. La mise en service de la ligne Paris-Lyon en 1981, projet considéré à l'époque avec scepticisme par certains de nos voisins européens qui développaient d'autres systèmes de transport terrestre (sustentation magnétique), fut un succès économique (respect absolu des devis de construction infrastructure et matériel roulant) et commercial (respect de l'engagement sur le prix du billet, trafic conforme aux prévisions). Ces succès inspirèrent nos voisins européens et des pays d'Asie, qui développèrent des projets de ligne à grande vitesse largement inspirés du système français, pour lesquels la technologie TGV fut largement sollicitée.

Entre-temps toutefois, la poursuite du plan stratégique français de développement du réseau TGV allait pousser la SNCF à changer d'approche pour les futurs TGV, d'un TGV « sur mesure » pour chaque ligne à un TGV « standard » capable d'arpenter indifféremment l'ensemble du réseau. Et c'est finalement cette rame peaufinée sur la base de la rame Atlantique qui servira de support à de

nombreux projets de lignes à grande vitesse, en Europe et au-delà. Une rame pour toutes lignes des réseaux France et Europe  
Une rame pour le réseau LGV France, référence pour les lignes européennes

### **La rame « Réseau », pour le réseau français puis le réseau européen**

Le développement du réseau TGV français (TGV Nord, contournement TGV de Lyon, projet Lyon-Valence) et ses perspectives (schéma directeur TGV en France) poussèrent la SNCF à faire évoluer son concept « un ligne TGV, un train » qui avait permis une optimisation très poussée des conceptions réciproques entre l'infrastructure et le matériel, en termes par exemple de vitesse limite, de longueur de rame, d'aptitude en rampe. La perspective d'un véritable réseau TGV amena ainsi à la conception d'un modèle unique de rame TGV, apte à toutes les lignes du futur réseau TGV, et en particulier à la rampe de 3,5 % de la ligne PSE, à la longueur maxi-

male des quais des gares autres que celles du réseau Atlantique (400 m au lieu de 500 m), à la circulation dans les tunnels du réseau Atlantique et des autres lignes TGV prévues (en particulier Rhône-Alpes et Méditerranée), là où la ligne TGV PSE n'avait aucun tunnel, et enfin compatible avec les signalisations TVM300 et TVM430.

Cette rame « toutes lignes TGV » fut baptisée rame TGV Réseau. Sa conception dérivait étroitement de la rame TGV Atlantique, raccourcie à 8 voitures (200 m) au lieu de 10 (240 m) et ainsi « naturellement » apte à la rampe de 3,5 %.

Deux différences importantes cependant : la circulation en tunnel et la desserte de Bruxelles.

### ***La circulation en tunnel sur ligne à grande vitesse***

C'est une des contraintes que nous avons mal évaluées pour le projet TGV Atlantique, dont la ligne comporte des tunnels à la sortie de Paris, parmi lesquels les tunnels de Villejust, deux tubes de 4,8 km et 45 m<sup>2</sup> de section libre. Lorsqu'un train rentre à grande vitesse dans un tunnel, il engendre une onde de compression qui se déplace en avant vers l'extrémité du tunnel, se réfléchit et revient (toujours à la vitesse du son) vers le train, « traverse » et se réfléchit ensuite à l'entrée du tunnel, et ainsi de suite : aussi dans un tunnel de longueur importante, le train circule dans un réseau d'ondes de pression, dont les variations viennent affecter le confort des voyageurs, lorsque les voitures ne sont pas étanches à la pression (le cas général à l'époque de la conception TGV Atlantique).

Le phénomène était connu des concepteurs du système TGV Atlantique et, en l'absence de références médicales sur le sujet de l'inconfort tympanique, nous nous étions fondés sur l'expérience vécue par la SNCF lors de la circulation des trains « Capitole » circulant à 200 km/h sur la ligne Paris-Toulouse : lors

de la circulation dans un tunnel de 41 m<sup>2</sup> de section sur cette ligne, les voyageurs s'étaient plaints de surpression dans les oreilles, ce qui avait disparu après la décision de réduire la vitesse à 180 km/h. Ces éléments avaient alors permis de considérer que la valeur limite de la variation de pression était celle mesurée lors de cette circulation d'un train « Capitole » à 180 km/h dans le tunnel en question. Cette valeur fut prise en compte pour la détermination de la section des tunnels de Villejust (45 m<sup>2</sup>), pour une vitesse cible de 270 km/h, et prenant en compte le profil de l'avant de la motrice TGV, beaucoup plus favorable pour atténuer ce phénomène (aérodynamique instationnaire) qu'une face avant de locomotive. Les premiers essais avant mise en service, avec un TGV entrant à 270 km/h dans le tunnel de Villejust, furent déroutants, du fait d'un inconfort ressenti très important, malgré une variation de pression mesurée très proche de la prévision par modélisation.

D'où venait l'erreur ? Elle ne venait pas des calculs, mais du paramètre pris en compte pour le dimensionnement : il nous apparut que le confort tympanique dépendait beaucoup plus du gradient de la variation de pression ( $d\Delta P/dt$ ), que de la variation elle-même ( $\Delta P$ ), lequel gradient est beaucoup plus élevé pour une vitesse de 270 km/h que pour le train « Capitole » à 200 km/h. La conséquence fut double.

En premier lieu, il fut décidé de limiter la vitesse à 220 km/h dans le tunnel de Villejust ce qui, compte tenu de sa proximité de Paris, ne pénalisait que peu le temps de parcours (moins d'une minute) Paris-Provence ou Provence-Paris ; les deux autres tunnels de la ligne TGV Atlantique (Briis-sous-Forges et Vouvray) étaient des tunnels à double voie de grande section (100 m<sup>2</sup>) et présentaient de ce fait un rapport de blocage (rapport entre section du train et section du tunnel) beaucoup plus favorable, permettant ainsi la circulation à 300 km/h sans problème.

Par ailleurs, pour prendre en compte le développement du réseau TGV qui devrait

comporter un certain nombre de tunnels (contournement de Lyon, LGV Méditerranée, etc.), on décida de privilégier les tunnels à grande section (100 m<sup>2</sup>) à double voie, et en parallèle d'opter pour l'étanchéité des caisses à la pression lors de la circulation en tunnel : c'est là la principale différence entre la rame Atlantique et la rame TGV Réseau ; avant l'entrée en tunnel, la signalisation au sol envoie une commande vers le train qui va fermer les entrées et sorties d'air nécessaires à la climatisation ; par ailleurs, ce besoin d'étanchéité conduit à réexaminer l'ensemble de la structure, d'abord pour colmater toutes les fuites potentielles, puis pour prendre en compte les nouvelles contraintes en résultant (ce ne sont plus les oreilles qui souffrent, ce sont les structures...). La fatigue résultant des sollicitations dues aux variations de pression lors des circulations en tunnel se traduisant maintenant (caisses étanches) par des sollicitations alternées, il fallut par exemple renforcer les dispositifs de verrouillage des portes d'accès.

Cette modification (étanchéité des caisses) n'était pas strictement nécessaire pour la LGV Nord (pas de tunnel, tranchées couvertes de très grande section), mais pouvait être considérée comme une anticipation pour le futur réseau à grande vitesse. Alstom, par ailleurs, s'était montré très désireux de la réaliser, pour préparer des réponses adaptées aux futurs appels d'offre internationaux (en particulier Espagne et Corée du Sud) qui, compte tenu de la présence de tunnels sur leurs futures lignes à grande vitesse, exigeaient cette disposition. Alstom accepta ainsi de « serrer les prix » relatifs à cette modification.

***Une évolution mineure mais intéressante pour l'avenir de la grande vitesse :***

***le redimensionnement de la traction***

En même temps que l'on finalisait le projet TGV Réseau, on réfléchissait déjà à la possibilité d'un TGV à deux niveaux. On avait de plus identifié une possibilité d'augmentation de la puissance du moteur de traction, à

masse et volume identiques, en rééquilibrant les dimensionnements en température entre stator et rotor. Cela permettait de doter la motrice TGV d'une puissance supérieure, utile pour la future motrice TGV 2 niveaux dont la résistance aérodynamique supérieure à celle du TGV à 1 niveau (TGV Réseau) nécessitait plus de puissance : il était ainsi possible d'anticiper le futur TGV 2 niveaux en ayant des motrices identiques pour 1 niveau et 2 niveaux. Il fut enfin décidé qu'une partie du parc TGV Réseau serait apte à la circulation sur le réseau belge, et donc capable de s'alimenter en tension continue 3000 V, aptitude nouvelle pour un TGV adapté aux tensions électriques du réseau français (1500 V continu et 25000 V alternatif).

La rame « Réseau », représentant donc une amélioration nette de « l'Atlantique », fut fondatrice des premiers projets de ligne à grande vitesse en Europe, aussi bien de dimension nationale (le TGV d'Espagne) qu'internationale (Eurostar et Thalys).

**La ligne Madrid-Séville, un jalon historique pour le réseau LGV du Sud de l'Europe.**

En octobre 1986, l'Espagne adoptait son plan directeur ferroviaire comprenant initialement quatre lignes à grande vitesse rayonnant autour de Madrid ; la première d'entre elles devait relier Madrid à Séville, avec pour objectif une mise en service pour l'ouverture de l'Exposition universelle de Séville en avril 1992. Au moment de la consultation pour le matériel roulant, le matériel TGV Atlantique était déjà conçu et en début de livraison à la SNCF. Il était donc possible pour Alstom, avec l'assistance de la SNCF (j'ai ainsi participé à de nombreuses réunions d'explication et de présentation de la rame TGV Atlantique aux experts de RENFE), de proposer un train très directement dérivé de la rame TGV. Le gouvernement espagnol et RENFE avaient en effet décidé d'adopter, pour

leurs lignes à grande vitesse, l'écartement européen (1,435 m) et non l'écartement du réseau espagnol existant (1,668 m), permettant ainsi d'opter pour un train techniquement identique à la rame Atlantique, nombre de voitures mis à part (8 au lieu de 10).

Un choix historique dont l'avenir démontrera le bien-fondé: au fil des extensions, les réseaux nationaux devinrent européens, et l'on peut aujourd'hui se rendre de Paris à Barcelone en à peine 4 heures de train; le réseau à grande vitesse espagnol est l'un des plus étendus.

L'expérience de plusieurs années de service commercial à grande vitesse en France, la création d'une seconde génération de TGV, les résultats présentés par la SNCF (succès commercial, sécurité, fiabilité, économie de l'exploitation) ont certainement pesé dans la décision finale d'attribuer à Alstom un marché de 16 rames TGV, des rames TGV Atlantique « améliorées » (reprenant les évolutions qui conduiraient ensuite à la rame « Réseau ») à 8 voitures.



*L'exploitation du TGV (TAV) par la RENFE  
© Collection particulière*

## **Thalys et Eurostar : vers le nord de l'Europe et au-delà ?**

La fin des années 1980 est marquée par l'essor d'un nombre important de projets de lignes ferroviaires à grande vitesse; en lien avec le projet de LGV Nord et du tunnel sous la Manche, deux projets de matériels TGV sont décidés et, pour ce faire, deux comités spécialisés pour leur spécification sont créés.

► Un comité pour le projet relatif aux relations entre l'Angleterre et le Continent (France et Belgique), soit les liaisons Londres-Paris et Londres-Bruxelles. En attendant son nom « commercial », ce train est baptisé « TMST » (Trans-Manche Super Train !). Le comité comprend des représentants « matériel roulant » des réseaux ferroviaires britannique (British Rail), belge (SNCB) et français (SNCF).

► Un comité pour les liaisons entre la France, la Belgique, les Pays-Bas et l'Allemagne. Le train (avant de s'appeler « Thalys ») est appelé TGV PBKA (Paris-Bruxelles-Köln-Amsterdam); ce comité réunit les experts du matériel roulant des réseaux belge (SNCB), néerlandais (NS), allemand (DB) et français (SNCF).

Pour ce qui me concerne, je dirige le groupe d'experts français SNCF, membre de chacun des deux comités.

Comme pour tout projet industriel d'envergure, les discussions nécessitent plusieurs années, notamment pour s'accorder sur les choix techniques. Deux en particulier me semblent dignes d'être relatés.

### ***Le combat des 17 t par essieu et ses enjeux industriels***

Même si les spécifications des trains à grande vitesse Transmanche et PBKA se voulaient essentiellement fonctionnelles, chaque délégation connaissait les spécificités des trains susceptibles de concourir chez leurs industriels et, de ce fait, les délégations anglaise d'un

côté (TMST), allemande de l'autre (PBKA), dès la première réunion, contestèrent vivement, et contre toute logique scientifique, la limite maximale de charge à l'essieu imposée par la SNCF pour les lignes à grande vitesse (LGV françaises), soit 17 t par essieu. Il est vrai que la locomotive britannique (class 91), capable de 225 km/h, pesait 81,5 t (soit 20,75 t par essieu) et que la motrice allemande de l'ICE1, capable de 250 km/h, pesait 80 t (soit 20 par essieu). La délégation allemande allait même jusqu'à prétendre que notre norme de charge « statique » par essieu de 17 t n'était pas pertinente, et que la limite pertinente, pour la fatigue de la voie, était de limiter la charge dynamique par roue à... 17 t (non plus par essieu, mais par roue !). Sans entrer dans des considérations scientifiques qui alourdiraient l'article, mentionnons simplement que le critère de charge dynamique par roue bute sur le choix de la méthode de mesure (à quelle fréquence filtrer la mesure ?) et n'est pas intrinsèque au matériel, puisqu'il faut bien évidemment caractériser la « qualité géométrique » de la voie (ses « défauts ») pour la prendre en compte dans la conception ! S'agissant de la fatigue de l'infrastructure dans sa globalité (et non seulement du rail), c'est bien la charge statique de l'essieu qui en rend compte !

Autre point d'achoppement propre à la délégation allemande, ses experts ne voulaient pas intégrer les exigences de la SNCF en matière de résistance passive, touchant la résilience des structures en cas de collision ; à la suite d'un violent accident de passage à niveau en septembre 1988 (collision entre un TGV roulant à 110 km/h et un convoi routier exceptionnel de 110 tonnes), et à l'occasion du développement de la troisième génération de TGV (TGV à deux niveaux avec voitures en alliage léger), j'avais lancé des études et un développement visant à améliorer sensiblement la résistance passive d'un TGV en cas de collision de cette nature. L'objectif était de les appliquer à la nouvelle génération de TGV, et aussi aux autres matériels en développement à la SNCF (autorails régionaux par exemple). Je

souhaitais bien évidemment faire profiter le TGV PBKA de cette avancée très intéressante pour la sécurité des conducteurs et des voyageurs. Réponse de la délégation allemande : « *pas question, une telle disposition pourrait détériorer nos matériels en cas de collision d'un tel train avec un de nos matériels !* » Réponse étonnante, par ailleurs inexacte sur le plan du comportement respectif des deux matériels en cas de collision, et enfin ce n'était pas le scénario pris en compte ! Nous avions compris qu'il s'agissait simplement de « protéger » la solution « ICE », la motrice ICE de l'époque n'étant pas dimensionnée en termes de résistance passive.

Les discussions furent difficiles et assez longues ; nos homologues belges et néerlandais partageaient néanmoins notre point de vue sur les deux sujets, en particulier pour la charge limite à l'essieu, puisque, contrairement aux Anglais et aux Allemands, ils avaient prévu de construire une ligne à grande vitesse en prolongement de la LGV Nord-Europe, et avaient ainsi le souci de préserver la tenue de leur infrastructure en profitant de l'expérience déjà significative de la SNCF.

Ces difficultés furent aplanies et aboutirent à un accord sur les spécifications de la SNCF. En effet, sur le plan industriel, Alstom fusionna avec GEC Angleterre pour former GEC-Alstom, et l'industrie allemande fit « comprendre » à la DB qu'elle ne pourrait pas être compétitive sur cet appel d'offre basé sur des spécifications trop éloignées de l'ICE tel que conçu à cette époque (c'est du moins ce que j'ai compris et pu vérifier au vu des résultats de l'appel d'offres, la proposition allemande ICE étant d'un prix sensiblement supérieur à celui de l'offre TGV française).

### ***Des rames adaptées aux spécifications internationales***

Il fut ainsi possible, à l'issue de toutes ces réunions, d'aboutir à une spécification unique pour l'un et l'autre des deux projets (Transmanche et PBKA), consulter les industriels,

et aboutir à une proposition émanant d'un groupement industriel piloté par Alstom :

- pour les rames PBKA, Alstom associé à des industriels belges, ACEC Transport et Brugeoise et Nivelles, et des industriels néerlandais, Holec et RMO.
- Pour les rames TMST, Alstom associé à GEC Angleterre et la société Metro-Cammell (l'ensemble devenu à cette occasion GEC-Alstom), ainsi que la Brugeoise et Nivelles, en Belgique

Ces rames PBKA et TMST reprenaient très fidèlement (nous y étions attachés) les principes de conception de la rame TGV, en particulier l'architecture en « rame articulée », la chaîne de transmission mécanique, les organes de roulement et les bogies eux-mêmes (stabilité et sécurité), ainsi que la suspension SR10 (confort). En revanche ces rames internationales présentaient des particularités liées aux spécificités des infrastructures sur lesquelles elles seraient amenées à circuler.

- Pour les rames TMST, les impositions sécuritaires pour la circulation dans le tunnel sous la Manche, la prise en compte du gabarit anglais différent du gabarit européen, des hauteurs de quai imposant un emmarchement mobile motorisé, et enfin (*last but not least...*) une électrification du réseau Sud-Est de l'Angleterre de type « métro » : par troisième rail et tension à vide de 750 V (descendant sous charge à 500 V !), et tout cela pour emmener à 160 km/h un train de près de 800 tonnes ! À cela, il fallait ajouter, pour la circulation en Belgique, la tension d'alimentation de 3000 V en tension continue et la signalisation belge.
- Pour les rames PBKA, la difficulté de conception et de réalisation résidait essentiellement dans la partie électrique, pour prendre en compte les tensions d'alimentation belge (3000 V continu) et allemande (1500 V alternatif très basse fréquence 16,66 Hz) pour une motrice TGV (déjà adaptée aux deux tensions du réseau français, 1500 V et 25 000 V 50 Hz) qui devait impérativement rester de masse inférieure ou égale à 68 t (la fameuse limite des

17 t par essieu !). Ces rames devaient bien entendu intégrer les systèmes de signalisation belge, néerlandais, allemand, en plus des deux systèmes français !

Ces deux projets de TGV européens connurent des histoires très différentes.

### ***Deux réussites au cheminement différent***

Le projet PBKA se déroula conformément aux prévisions, malgré les contraintes apportées pour la conception de la motrice par tous les types de tension d'alimentation et de signalisation à prendre en compte : un tour de force pour l'industriel, qui bénéficiait heureusement d'une base solide de référence avec la version tri-tension de la rame TGV Réseau (donc déjà adaptée au réseau belge) et de la nouvelle structure de caisse venant du développement TGV Duplex pour la motrice.

L'histoire est différente pour le TGV Transmanche (TMST), qui connut de nombreuses vicissitudes se traduisant par d'importants retards. Pour des raisons de partage industriel, Alstom avait confié la conception et la fabrication du système de traction électrique du train à son partenaire anglais GEC, alors promoteur d'une innovation de leur conception, la motorisation asynchrone à thyristors GTO. Tandis que nous, ingénieurs SNCF, souhaitions bien évidemment la reconduction du système de traction à moteurs synchrones parfaitement viable pour cette application, comme l'illustraient son usage sur les rames TGV Atlantique et Réseau. Connaissant notre réticence, la direction d'Alstom était allée plaider cette évolution technique majeure directement auprès de la direction générale de la SNCF, arguant de l'expérience de GEC dans leur nouvelle technologie. Je me souviens de la conversation téléphonique avec mon directeur de l'époque : « *Lacôte, Alstom est venu me présenter le projet de traction électrique proposé par GEC pour le Transmanche; ils m'ont convaincu, et j'ai donné mon accord!* ».

En fait, GEC n'avait aucune expérience de traction ferroviaire à moteurs asynchrones avec onduleur à thyristor GTO, et aucun ingénieur SNCF n'était présent lors de cette réunion « au sommet ». Il fallut accepter la décision, et les ingénieurs électriciens de SNCF s'employèrent dès lors à « ferroviariser » la technologie GEC à travers de nombreuses réunions/discussions, cela afin de prendre en compte les exigences liées à la maintenabilité et à la fiabilité du système.

Sur le plan mécanique, les usines de Métro-Cammel<sup>4</sup> et de La Brugeoise et Nivelles<sup>5</sup> n'étaient ni équipées, ni familières avec les techniques de fabrication des « chaudrons » (les caisses des voitures) issues de la conception Alstom pour ses TGV: les tous premiers « chaudrons » comportaient de tels défauts de fabrication qu'ils étaient inutilisables, et, devant le refus des techniciens de l'usine Alstom de construction de ces voitures d'aller aider leurs homologues britanniques, nous avons dû envoyer en Angleterre et en Belgique des ingénieurs SNCF pour aider à résoudre ces difficultés de fabrication !

Enfin (*last but not least*) les réunions avec le *Railway safety inspectorate* ne furent pas sans souci, ce dernier nous demandant, par exemple, de supprimer tous les tabourets prévus dans la voiture-bar, s'agissant (*indeed*) d'objets extrêmement dangereux pour les voyageurs en cas d'arrêt brutal ou de collision...

Le choix du design (esthétique industrielle) fut également une aventure, avec un concours faisant appel à trois cabinets par pays, une présélection de trois finalistes par un comité « technique » (techniciens et commerciaux de chaque entreprise ferroviaire), et un jury final au niveau des directions générales. Chaque pays défendant son poulain, la réunion au

niveau des directions générales fut longue et difficile, jusqu'à une décision finale de type « jugement de Salomon », qui proposait de confier le design extérieur (forme avant livrée) au cabinet anglais, le design intérieur au designer du TGV Roger Tallon, et les espaces « particuliers » au designer belge. Sur ma demande expresse lors de cette réunion, j'obtins qu'il y ait un « pilote » dans le train, et que la coordination et le pilotage soit assurés par le designer du TGV Roger Tallon (ouf!). Ce même Roger Tallon, designer des TGV depuis le TGV Atlantique, avait, lors de son audition pour Transmanche, « osé » proposer d'appeler ce futur TGV « Eurostar ». Il s'était fait vertement rappeler à l'ordre par les représentants commerciaux du comité de sélection, ces derniers lui rétorquant qu'il devait se limiter strictement à une proposition de design du train, et que le nom du train n'était pas de son ressort; plusieurs mois plus tard, le comité sollicita une agence de communication pour une proposition de nom, et ce fut le nom « Eurostar » qui fut proposé et choisi. Roger Tallon me fit comprendre que nous étions vraiment très particuliers...

Le projet connut un déroulement très difficile, avec des retards importants dans la livraison des rames liés :

- D'une part à la complexité de ce train, appelé à circuler sur trois réseaux ferroviaires différents et dans le tunnel sous la Manche, pour lequel la Commission intergouvernementale de sécurité (CIG) avait de nombreuses exigences. Parmi elles, l'obligation de « sécabilité » de la rame, pour pouvoir sortir du tunnel avec la demi-rame non affectée par une panne ou avarie touchant l'autre demi-rame (exigence abandonnée vingt ans plus tard pour les nouvelles rames Eurostar).
- D'autre part à la complexité du montage industriel associant les usines de trois pays

---

4. Ndlr: Il s'agit de la *Metropolitan Cammel Carriage & Wagon Company*, une ancienne compagnie britannique de construction de matériel ferroviaire créée en 1863.

5. Ndlr: *La Brugeoise et Nivelles*, ou BN, était un constructeur belge de matériel ferroviaire, racheté à la fin des années 1980 par le groupe canadien Bombardier.

qui, pour certaines, ne possédaient pas la technicité suffisante.

Outre des retards, cela conduisit à une réclamation financière très importante de la part du groupement industriel, la mise en œuvre d'un arbitrage... Bref, un projet long, difficile et coûteux, mais qui finalement aboutit à la création d'un parc unique de trains à grande vitesse assurant des relations entre Londres, Paris et Bruxelles, dans des conditions de sécurité, fiabilité et confort pour les voyageurs tout à fait bonnes : grossesse difficile, accouchement laborieux, mais un beau bébé !

## **Premier signe d'une vocation planétaire : le TGV Corée**

La fin des années 1980 voit également émerger le projet de ligne ferroviaire à grande vitesse Séoul-Busan, en Corée du Sud. Le gouvernement coréen crée à cet effet une structure de projet spécifique, le KHRC (*Korea High Speed Rail Construction Authority*). Ce projet est largement décrit dans l'article de Pierre Louis Rochet.<sup>6</sup>

La SNCF a bien entendu été associée à l'ensemble des réunions, discussions, présentations du système TGV français, qui ont conduit à la signature le 14 juin 1994 du contrat passé par KHRC au consortium de 12 entreprises emmené par Alstom.

Le matériel roulant proposé est très directement dérivé des rames TGV de 2<sup>e</sup> génération, les rames TGV Atlantique pour les aménagements intérieurs, et les rames Réseau pour l'évolution de la traction (nouveaux moteurs synchrones) et l'étanchéité des voitures, très utiles vu le nombre et la longueur des tunnels de la LGV coréenne.

Une modification importante, toutefois, dans la composition de la rame : comme il n'est pas prévu, comme en France, de faire varier la

composition pour assurer des dessertes multiples avec des séparations ou rendez-vous de rames, la rame est une entité indéformable de grande longueur : 2 motrices et 18 voitures, chaque motrice alimentant 3 bogies moteurs, en comparaison avec une rame TGV Réseau comportant 2 motrices (alimentant chacune 2 bogies moteurs) et 8 voitures ; si la technologie électrique est la même, il a fallu bien entendu adapter le dimensionnement des équipements (transformateurs) pour la traction et l'énergie auxiliaire (onduleurs pour la climatisation).

Je suis ainsi amené à conduire des présentations et des démonstrations en atelier SNCF de maintenance TGV ou en ligne sur la LGV Atlantique, de même que des missions en Corée pour expliquer la technologie TGV et les principes directeurs de la nouvelle signalisation du TGV Nord et des futures lignes TGV, la TVM430, en appui de l'industriel CSEE.

Il faut noter que pour chaque contrat TGV à l'exportation, il est prévu que la SNCF, qui a très largement contribué à la conception, aux développements puis au financement des coûts d'industrialisation, bénéficie d'une redevance d'1 % à 2 % pour tout contrat gagné par les industriels du TGV, qui bien entendu ne manquent de solliciter un rabais sur cette redevance pour aider au succès de l'offre...

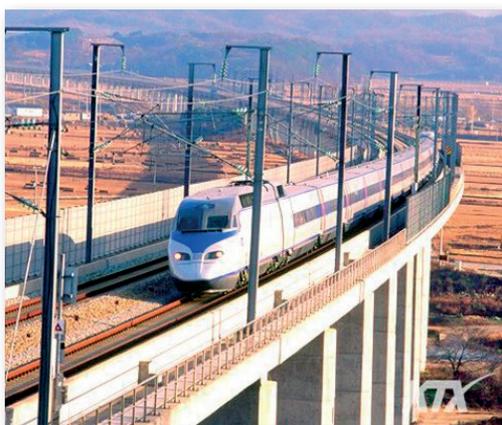
Le contrat du TGV Corée, signé en juin 1994, comportait une obligation de transfert complet de la technologie TGV vers les industriels coréens, 12 rames étant construites dans les usines françaises, les 34 rames suivantes (sur un total de 46) construites en Corée. Ce transfert complet de technologie TGV était considéré comme acceptable du côté français, sachant que nous étions déjà lancés dans la conception de la génération suivante, le TGV à deux niveaux, et que cela nous apportait un avantage stratégique lors de la féroce mise en compétition.

---

6. Ndlr: Figurant dans le présent bulletin.

### ***La construction, entre difficultés prévisibles et imprévues***

La construction de la ligne connut de grandes difficultés. Deux ans avant la notification du contrat pour le matériel roulant, on donna, en juin 1992, le premier coup de pioche. Mais beaucoup d'aléas techniques (en particulier des questions relatives au dimensionnement « dynamique » des ouvrages), le très grand nombre de viaducs et de tunnels résultant de l'implantation de la ligne dans un relief difficile, des modifications de tracé pour respect de sites archéologiques, font que des retards très importants vinrent impacter le projet. Les premières rames construites en France et livrées en Corée durent par exemple être stockées plusieurs mois avant l'inauguration officielle d'un premier tronçon de la ligne et du service commercial le 1<sup>er</sup> avril 2004, soit 15 ans après le colloque « grande vitesse » d'octobre 1989 et 10 ans après le contrat signé avec GEC-Alstom.



*Le KTX I coréen*

Les premiers essais de circulation des rames avant la mise en service avaient permis de valider l'ensemble du système, mais un phénomène inconnu jusque-là avec les rames TGV circulant en Europe nous déconcerta : en hiver, par temps très froid et sec, les rames KTX présentaient un comportement dynamique transversal très désagréable, en raison d'oscillations transversales de basse

fréquence (autour du Herz) et d'amplitude significative pour une vitesse modérée (environ 200 km/h). À l'époque (2002), j'avais quitté la SNCF pour passer chez Alstom comme directeur technique, et je retrouvai donc le TGV Corée qu'il fallait finaliser, entre autres attributions. Ce phénomène d'oscillations, que les Coréens baptisèrent du joli nom de « swaying » [balancement], n'était jamais apparu sur aucune des rames TGV équipées de la suspension SR10, toutes générations confondues, tous réseaux grande vitesse confondus, et par n'importe quel climat et température, de l'Espagne (AVE) aux Pays-Bas (Thalys) en passant par la France (PSE, ATL, Réseau, Duplex) !

### ***La magie du contact roue-rail!***

Après analyse et de nombreux essais en hiver (le phénomène disparaissant au printemps jusqu'à l'hiver suivant), il apparut que la cause essentielle résidait dans une augmentation sensible de la raideur transversale de la membrane pneumatique de la suspension SR10 pour de « petits déplacements », par temps froid (-10°C et en-dessous) et très sec, combinée à une pose de la voie TGV Corée avec une inclinaison de rail un peu différente de celle préconisée par la SNCF. Après avoir imaginé de nombreuses modifications allant jusqu'à installer des systèmes de réchauffage des dites suspensions, je proposai de simplement tenter de « découpler » la fréquence d'oscillation du bogie (le « lacet » de bogie) de celle de la remorque TGV sur sa suspension (le « lacet » de caisse) par la création d'un nouveau profil de roue : l'augmentation de la « conicité » du contact roue-rail, paramètre tout à fait critique de la stabilité d'un bogie grande vitesse, permettait d'augmenter la fréquence du lacet de bogie et ainsi tenter ce « découplage ». Il s'agissait d'une solution qui diminuait un peu la marge de stabilité du bogie TGV à très grande vitesse, mais les différents records de vitesse (dont celui du 18 mai 1990 à 515 km/h) avaient montré la marge considérable qui existait pour une circulation à 300 km/h.

Cette solution de changement de profil de roue, bien que très simple, s'avéra parfaitement efficace... Mais il me fallut beaucoup de temps, d'explications du phénomène et de sa solution, pour convaincre nos interlocuteurs coréens: c'était trop simple, il y avait certainement une conséquence néfaste que nous cachions! Et pourtant non, c'est tout simplement la magie du contact roue-rail! En près de 20 ans de circulation maintenant des rames TGV Corée, ce phénomène n'est jamais réapparu.

Mon intervention sur le projet du TGV Corée en 2002 permit également de faire profiter le client coréen de l'ensemble des résultats de recherche et d'essais que j'avais pilotés en

tant que directeur de recherche à la SNCF, pour prendre en compte les risques liés aux vents de travers très violents que nous étions susceptibles de rencontrer sur la ligne du TGV Méditerranée (entre Avignon et Marseille). Ces travaux avaient permis d'établir une évaluation assez précise des risques encourus et préconiser une surveillance anémométrique permanente de la ligne, avec intervention directe sur la signalisation pour ralentissement des trains, en cas de dépassement des limites fixées pour la vitesse du vent. Toute cette connaissance a ainsi pu être transmise au maître d'ouvrage coréen pour instrumentation et surveillance anémométrique de la LGV coréenne.

## **La troisième génération de TGV, le TGV à deux niveaux ou « TGV Duplex »**

### **TGV 2N: les prémices**

L'idée de créer une nouvelle génération de TGV, un TGV à deux niveaux, remonte en fait à plus de... 30 ans! Les toutes premières études de faisabilité, établies par la SNCF, datent en effet du début de l'année 1987. À cette époque, comme on vient de le voir, le TGV Paris/Sud-Est circulait depuis cinq ans, connaissait une fréquentation déjà très importante, son bilan économique était conforme aux prévisions. Le projet TGV-Atlantique était lancé, la ligne nouvelle (LGV Atlantique) était en voie de réalisation; les rames TGV Atlantique, commandées en 1985, étaient en cours de fabrication; les projets de ligne TGV vers le Nord de la France (projet PBKA) et du tunnel sous la Manche étaient en cours d'instruction.

L'idée de lancer une troisième génération de rame TGV, cette fois à deux niveaux de salles voyageurs par voiture, procédait alors de considérations de progrès significatifs,

relatifs toujours au même triptyque: performances, confort des voyageurs, économie d'exploitation.

Les performances: la vitesse de 270 km/h étant validée par cinq ans d'exploitation commerciale, et celle de 300 km/h actée pour le TGV Atlantique à venir, l'objectif était de consolider cette vitesse (avec d'ailleurs une marge d'accélération significative), mais avec une capacité unitaire plus importante par rame, pour faire face à l'augmentation prévisible du trafic, en particulier en période de pointe.

Le confort des voyageurs: la possibilité de disposer de deux niveaux d'aménagement pouvait permettre à la fois de différencier les espaces (espaces tranquilles au niveau inférieur, espaces « panoramiques » avec intercirculation continue au niveau supérieur), diminuer la densité de sièges en deuxième classe,

tout en préservant, malgré cette architecture plus contraignante, les qualités de confort vibratoire, acoustique, et climatique de la seconde génération.

L'économie: un progrès très sensible était recherché. Grâce à l'architecture finalement retenue qui permet de proposer plus de sièges pour une résistance aérodynamique à peine supérieure et une maintenance pratiquement inchangée par rapport à la génération précédente, ainsi que des coûts de personnel de bord équivalents, l'augmentation significative du nombre de places se traduira par un coût d'exploitation au siège offert réduit d'une valeur pratiquement équivalente, de l'ordre de 40 % ! La formule récemment développée par la SNCF (l'offre « OUIGO ») en est d'ailleurs une démonstration encore plus évidente.

On aurait pu croire que la difficulté majeure d'un tel projet serait de relever le défi « technique » : il fallait faire plus volumineux, plus capacitif, mais en même temps plus léger que les versions précédentes, pour pouvoir accueillir une charge supplémentaire de voyageurs avec leurs bagages (+40 %), et ainsi rester à l'intérieur de la limite de charge imposée par l'infrastructure pour la grande vitesse (17 tonnes maximum par essieu), limite déjà atteinte par les générations précédentes ! Défi technique considérable, mais qui fut relevé par les équipes de la SNCF et d'Alstom, travaillant ensemble sur cette « chasse aux kilos » : essieux creux, bogies en acier HLE (Haute limite élastique), utilisation de l'alliage léger pour les structures de caisse (au lieu de l'acier utilisé dans les générations précédentes), sièges en magnésium, etc. Au bout du compte, le défi fut relevé !

Autre défi technique, la résistance passive des structures: l'alliage d'aluminium ayant une moindre résilience que l'acier dans le domaine plastique, il fallut défricher le domaine de la résistance passive des structures de caisse pour pouvoir garantir un comportement au moins aussi bon que celui des générations

précédentes, ce qui donna lieu à des développements importants, des essais de collision « grandeur nature » sur des caisses prototypes; l'ensemble de ces études et développements apportèrent d'ailleurs un progrès très significatif dans la prise en compte de la résistance passive des structures pour l'ensemble de la filière ferroviaire, y compris sur le plan européen.

Enfin, les considérations relatives au confort vibratoire d'un ensemble de voitures de volumes, dimensions, masses, tout à fait différents de ceux des générations précédentes nous conduisit à faire construire un ensemble prototype de trois voitures du futur TGV 2N, qui fut testé à grande vitesse.

Développements techniques innovants, défis considérables, mais finalement, le plus grand défi fut certainement celui d'arriver à convaincre en interne à la SNCF de la grande pertinence d'un tel concept de TGV à deux niveaux: une dure bataille, une bataille duraille !

## **La création du TGV Duplex : une bataille duraille !**

Deux arguments nous furent opposés au sein de la SNCF: un premier relatif à l'architecture, un second concernant la pertinence commerciale d'un train à deux niveaux.

L'architecture: certains dirigeants au sein de la direction générale, sans être à priori hostiles au concept « deux niveaux », considéraient le défi technique impossible et voulaient revenir à une architecture « classique » et non articulée de rame composée de voitures individuelles à deux niveaux, sur le modèle des trains de l'Île de France ou de certaines régions, ce qui rendait bien évidemment plus facile le respect de la limite de charge à l'essieu. Mais cela détruisait cette architecture si originale qui assure la possibilité d'espaces différenciés, une accessibilité

bien meilleure (emmarchement au niveau du quai), une intercirculation à niveau constant, une plus grande capacité et une moindre résistance aérodynamique (plus petit nombre de bogies).

Après beaucoup de discussions, et un arbitrage final demandé par la direction générale à mon prédécesseur (responsable du premier TGV), la décision fut (enfin!) prise d'adopter cette nouvelle architecture, et ainsi de conserver le concept de « rame articulée » si avantageux dans de nombreux domaines, dont la sécurité.

La pertinence commerciale : dans ce domaine l'opposition fut violente, féroce, et pas toujours honnête. En résumé, le directeur du projet TGV (moi-même) et ses ingénieurs n'avaient rien compris à la spécificité de l'offre TGV pour la clientèle : le TGV ne pouvait devenir une « bétailière » comme pour la banlieue ! Bref, c'était une opposition viscérale à ce projet.

Le président et le directeur général de l'époque étaient en revanche ouverts à une démarche explorant l'acceptabilité commerciale d'un tel projet, et donnèrent un feu vert conditionnel, sous réserve de l'accord in fine de la branche commerciale « voyageurs » de l'entreprise.

Ce projet tant controversé sur le plan commercial connut plusieurs étapes :

Le design Roger Tallon : ce grand designer avait déjà transformé l'offre commerciale et le design du TGV en créant l'esthétique industrielle et les aménagements de la seconde génération des TGV (Atlantique, Réseau, Eurostar). Devant l'énorme résistance des équipes commerciales à notre projet, déjà abouti sur le plan des grands principes de l'architecture de la rame TGV Duplex, je me souviens d'avoir dit aux ingénieurs et techniciens : « *je pars montrer notre projet à Roger Tallon ; s'il 'sent bien' le projet, ce projet se fera !* » La réponse de Roger Tallon fut plus

que positive, et il s'investit complètement avec nous tout au long du développement du TGV Duplex.

La réalisation de maquettes dites « statiques » : comme pour tout projet de nouveau train, il fut d'abord décidé de construire (dans le technicentre SNCF de Paris-Nord Le Landy) deux maquettes à l'échelle 1 : une voiture de 2<sup>e</sup> classe et une voiture de 1<sup>re</sup> classe, avec bien entendu la plate-forme d'accès, l'escalier intérieur et la passerelle d'intercirculation au niveau supérieur, au-dessus du bogie commun, éléments qui font l'originalité et l'intérêt de cette architecture. Ces travaux étaient bien entendu réalisés suivant les directives de Roger Tallon, le « papa look » [comprenez le père de la face visible de ce TGV], comme il aimait s'appeler. Compte tenu de l'enjeu (pas le droit à l'erreur), on procéda en parallèle à l'évaluation de sous-ensembles, comme l'escalier d'accès à l'étage pour lequel il fallut faire trois variantes successives (comment concilier ergonomie, confort et économie d'espace).

L'évaluation commerciale globale des maquettes fut confiée à une entreprise spécialisée, chargée de recueillir la réaction d'un panel de voyageurs TGV potentiels. Contrairement aux craintes violemment exprimées au sein de l'entreprise, les résultats furent absolument excellents (merci Roger !). Une première manche gagnée, mais on nous dit que c'était loin d'être suffisant !

Les maquettes « dynamiques » : cette première évaluation n'était pas suffisante, parce que réalisée en « statique » seulement ! Il fallait une « vraie » enquête de satisfaction à travers un « vrai » voyage TGV, dans un « vrai » TGV, avec de « vrais » voyageurs ; mais comment faire ? Il fut décidé de prendre un TGV « un niveau », un TGV Paris/Sud-Est, et de réaliser deux « demi-voitures », soit un seul niveau sur les deux prévus dans le Duplex, une de 2<sup>e</sup> classe et une de 1<sup>re</sup> classe avec les aménagements de salles prévus dans le futur Duplex. Une telle entreprise était pour nous périlleuse puisqu'il s'agissait de tester la réac-

tion de voyageurs TGV dans des voitures au plafond abaissé, sans explication aucune. Là encore, surprise (merci Roger !), les résultats furent excellents : « enfin, la SNCF pensait à rénover ses déjà vieux TGV ! ». En parallèle une maquette « statique », échelle 1, de la future voiture bar « panoramique » fut réalisée et testée, avec à nouveau des résultats très positifs (à nouveau merci Roger Tallon).

Au vu de tous ces résultats très positifs, et malgré les fortes résistances encore exprimées, la direction générale de la SNCF décida de confirmer le projet, lancer l'appel d'offres puis le marché de construction de cette nouvelle génération de TGV (groupement Alstom/Bombardier), marché signé en avril 1991 : il s'agissait d'un marché de 100 rames, pour une première tranche « ferme » de 45 rames.

Première manche gagnée, mais quid des manches suivantes ? Les préjugés ont la vie dure...

## **La vie difficile du projet de TGV à deux niveaux et son arrêt brutal**

Quand on veut tuer son chien, on dit qu'il a la rage...

Marché signé en avril 1991, livraison des rames prévue entre 1995 et 1998 : la première rame de la série des 45 rames commandées en tranche ferme devait être livrée en avance de la série pour effectuer les essais de confort et identifier les ultimes mises au point.

Peu après sa livraison (1995), la direction commerciale SNCF demande si elle peut disposer de cette rame pendant quelques jours pour une « enquête clientèle » ; je réponds que ce n'est pas possible, la climatisation n'étant pas encore réglée, la rame n'ayant effectué que des essais techniques, essentiellement de performances (traction, freinage,

captage, aérodynamique, acoustique, etc.). Il m'est répondu : aucun problème, il s'agit uniquement d'une enquête à poste fixe en gare, pour évaluer la pertinence et l'acceptabilité des espaces pour les bagages. Accord donné, rame mise à disposition, plus de nouvelles... sauf... plusieurs semaines plus tard, un appel téléphonique du directeur général : « *Lacôte, c'est une catastrophe, votre nouveau TGV rend tous les voyageurs malades, les commerciaux viennent de me prévenir, les résultats de l'enquête sont exécrables, vous ordonnez à Alstom d'arrêter immédiatement la production !* » Renseignements pris, l'enquête avait été réalisée non pas en gare, mais en circulation Paris-Lyon et retour, l'été, climatisation non réglée, avec une dernière question posée aux voyageurs enquêtés : « à votre avis, ce TGV peut-il rendre les voyageurs malades ? ». La réponse, à la très grande majorité, fut : oui !

Après débriefing et explication avec la direction générale, il fut décidé (ouf !) d'entreprendre une « véritable » enquête relative au confort dans ce nouveau TGV (climatisation réglée !) ; il fut demandé de comparer le confort de cette rame Duplex, sur les mêmes trajets (Paris-Marseille et retour), avec une rame de 1<sup>re</sup> génération (PSE) et une rame de 2<sup>e</sup> génération TGV R). Enquête faite, les résultats furent sans appel : nette préférence des voyageurs pour le futur TGV Duplex !

Mais cette bataille duraille n'était pas terminée, les opposants au projet persistant dans leur déni de la pertinence de ce nouveau TGV, malgré les résultats très positifs de toutes les enquêtes qu'ils avaient eux-mêmes commandées et pilotées : ce nouveau TGV ne pouvait être qu'une « bêtaillère », tout juste bon (et encore) pour la relation Paris-Lille d'une heure de trajet !

On profita ainsi de l'arrivée d'un nouveau président pour la SNCF, issu du secteur aérien, pour le convaincre de l'erreur stratégique qu'était le lancement du TGV Duplex (cette « bêtaillère » !). Ainsi, en pleine activité

industrielle de production du TGV Duplex chez Alstom, il me fut demandé de renégocier à la baisse le marché des TGV Duplex, en ramenant à 30, au lieu de 45, le nombre de rames à livrer ; un jeu « perdant- perdant » !

Cette décision devait (pensait-on) clore définitivement, avec la livraison en 1996 de la trentième et dernière rame TGV Duplex, le chapitre de ce qui était considéré comme une erreur stratégique majeure.

## **Epilogue (bon sang ne saurait mentir): TGV Méditerranée, Duplex le retour**

Année 1998, la dernière rame Duplex est livrée, le marché est clos.



Le DUPLEX © SNCF

Le projet TGV Méditerranée est en plein développement. La directrice « SNCF-Voyageurs » en charge de la future desserte présente son activité et son projet à la direction du matériel roulant (études et conception des trains) ; elle déclare à son auditoire (ingénieurs et techniciens) ébahi, mais ravi : « *dans notre projet de desserte, il y a des durées de transport relativement longues, malgré le temps gagné avec la ligne nouvelle Méditerranée, comme Paris-Nice en six heures. Pour attirer les voyageurs, je mettrai pour de tels temps de parcours nos meilleurs TGV, à savoir les Duplex !* ». Aux antipodes du Paris-Lille en une heure...

Depuis, trois commandes successives de TGV Duplex ont été passées à l'industrie ferroviaire française, pour constituer finalement la plus importante flotte de TGV de la SNCF : plus de 150 rames, une famille diversifiée (rames « Océane », rames « Ouigo », rames « Lyria », etc.)

Les chemins de fer suisses (CFF) ont d'ailleurs acquis la licence de cette architecture pour l'appliquer sur leurs trains Intercités IC2000, en impliquant Roger Tallon pour le design.

Le TGV du futur, récemment commandé par SNCF à Alstom pour une première commande de 100 unités, sera un Duplex largement réétudié, mais qui conserve cette architecture originale.

Une architecture qui vient par ailleurs de s'illustrer brillamment en permettant de transporter les malades de la Covid-19 dans des conditions de sécurité optimales, par la séparation

entre les salles inférieures (« chambres » des malades) isolées du reste des espaces voyageurs, et les salles supérieures pour le personnel soignant et ses équipements, le tout desservi par un couloir continu de circulation au niveau supérieur.

Les préjugés ont la vie dure ; patience, énergie, force de conviction peuvent en venir à bout.

## **La quatrième génération : l'AGV d'Alstom**

### **Pourquoi une quatrième génération, pourquoi l'AGV ?**

#### ***La problématique***

Fin des années 1990 : la livraison de la première commande de TGV Duplex est terminée, et la SNCF vient de relancer une nouvelle commande liée à la croissance du trafic TGV, à la mise en service du TGV Méditerranée et aux perspectives de nouvelles lignes TGV (LGV Est et suivantes). Ainsi, la SNCF confirme son besoin de rames Duplex, qui viennent compléter « par le haut » en capacité (plus de 500 places par rame) un parc TGV composé de rames à 1 niveau d'une capacité d'environ 400 places. À cette même époque, le développement prévu du réseau européen à grande vitesse fait apparaître des besoins de trains de capacité variable, allant de 250 à 500 places, des perspectives de vitesse au-delà de 300 km/h, et souligne la complexité technique des équipements de traction et de signalisation pour s'adapter à la diversité des systèmes du futur réseau.

Pour ce qui concerne la typologie des matériels, on ressent chez la majorité des exploitants une grande réserve vis-à-vis de l'architecture « deux niveaux », à l'image d'ailleurs de ce qu'avait connu la SNCF au début du programme TGV 2N.

Enfin les progrès techniques de la traction ferroviaire (en termes de volume et de masse)

depuis le milieu des années 1980 laissent entrevoir la faisabilité d'une nouvelle architecture pour un train à grande vitesse, et cela en dépit de la contrainte forte du respect de la charge limite par essieu : l'architecture dite « à motorisation répartie », de type automotrice, chaque élément du train comportant une salle voyageurs ; cela par opposition à l'architecture « TGV » comportant deux motrices sans voyageur encadrant 8 à 10 voitures dédiées aux espaces voyageurs.

Cette architecture à motorisation répartie présente, à longueur égale de train, une plus grande capacité et une accessibilité mieux répartie sur les quais (toute la longueur du quai est disponible), par rapport à l'architecture TGV à un niveau.

#### ***Une décision de l'industriel Alstom***

À la fin des années 1990, partageant cette analyse, Alstom fait le constat d'un besoin de matériel à grande vitesse pour l'Europe, pouvant se décliner en une gamme en complément du « gros porteur » TGV à deux niveaux commandé par la SNCF.

Par ailleurs, la conception et la réalisation des trois premières générations de TGV ont

permis une évolution continue dans le partage des rôles entre la SNCF et l'industriel; le matériel TGV étant intimement lié, dans sa conception et son exploitation, au système TGV lui-même, seul le créateur de ce système (la SNCF) était en mesure d'effectuer les choix structurants impactant le matériel :

- › Le choix de la rampe de 3,5 % pour la ligne, optimisant le tracé, mais impactant fortement le dimensionnement en traction du train.
- › Le choix de l'architecture en rame articulée, optimisant la résistance à l'avancement, et d'autres paramètres intéressants pour le train, mais impactant fortement la maintenance, avec l'obligation de créer des établissements de grande longueur (plus de 200 m) dotés d'équipements spéciaux (levage simultané de toutes les voitures pour la maintenance des bogies).
- › Un fractionnement et un dimensionnement des équipements majeurs du train pour assurer sa résilience en cas de défaillance d'un équipement.
- › etc...

Ainsi, pour la première, et très largement pour la seconde génération, la SNCF était l'architecte en chef du train, concevait elle-même les éléments clés (bogies moteur et porteur, suspension, articulation de la rame articulée), ou bien en pilotait la conception directement avec les « équipementiers » (pantographe avec Faiveley, disques de freinage, dispositifs d'anti-enrayage, roulements de boîtes d'essieu, etc.) et en assurait les essais de performance et de validation dans ses propres laboratoires et centres d'essai.

Mais au fil des générations et de leurs modèles successifs (en particulier dans le cas des modèles « export » de la seconde génération), la part de l'industriel ensemble a progressivement augmenté; ainsi, pour la troisième génération (TGV 2 niveaux), Alstom a largement participé à la conception (la SNCF restant architecte général), en particu-

lier pour les aspects structurels et le système de traction.

En conséquence, riche de l'expérience et de la compétence acquises, et désireux d'être présent sur le marché à venir des trains à grande vitesse du réseau européen, Alstom décida de lancer le développement d'une Automotrice à grande vitesse, l'AGV (le sigle rappelant évidemment la filiation « TGV »).

## La conception de l'AGV

Mon arrivée chez Alstom en 2000 coïncide avec le début du développement de l'AGV, dont les principes directeurs de conception reprennent pour l'essentiel ceux des générations précédentes de TGV, le situant logiquement comme la quatrième génération des trains à grande vitesse français.

### *Les choix de conception structurants de l'AGV*

- › Un train à grande vitesse pour le réseau européen (donc multi-tension et multi-signalisation).
- › Une vitesse cible de 360 km/h.
- › Une architecture en rame à motorisation répartie (l'optimum pour la capacité en voyageurs en formule « 1 niveau »).
- › Une conception modulaire par modules de 3 voitures, permettant de couvrir une gamme complète allant de l'AGV 7 (7 caisses) à l'AGV 14 (14 caisses) en passant par le modèle « standard » européen de 200 m, l'AGV 11.
- › Le choix de la filiation TGV, à savoir les mêmes principes de conception des bogies (empattement de 3 m garant de la stabilité), la suspension SR10 et le maintien de l'architecture en « rame articulée » (l'ADN du TGV).

Ce dernier point représentait d'ailleurs un choix audacieux et un défi technique impor-

tant, puisqu'il fallait rester dans l'enveloppe des 17 t par essieu malgré le chargement supplémentaire apporté par l'installation des équipements de traction et de la motorisation dans les voitures (et non plus dans des véhicules spécifiques comme les motrices des TGV précédents).

Pour illustrer ce défi, on peut indiquer que pour la longueur standard européenne, soit un train de 200 m, la solution AGV11 doit s'accommoder de 12 bogies, là où tous les autres trains à grande vitesse (200 m, 8 voitures) peuvent s'appuyer sur 16 bogies ! Indépendamment des autres avantages importants de la rame articulée, cet écart apporte déjà un avantage sensible en termes de résistance aérodynamique (et donc de dimensionnement en traction et de consommation d'énergie), de maintenance... Et partant, globalement, de coût d'exploitation. Mais cela à condition de savoir maîtriser le bilan de masse, et de ce point de vue les solutions développées pour la génération précédente (TGV 2 niveaux) donnaient déjà des orientations et une expérience très utiles.

### ***Les innovations techniques apportées par l'AGV***

La contrainte majeure du respect du bilan de masse fut un élément déterminant pour l'étude de deux innovations techniques majeures :

- Le moteur synchrone à aimants permanents, une première en traction ferroviaire, permettant de produire un moteur « petit mais costaud » (faible masse, belle puissance) avec, de plus, une retombée intéressante sur la transmission entre moteur et essieu : du fait de sa faible masse, le moteur peut être installé dans le bogie tout en préservant la stabilité de marche à très grande vitesse, là où, pour les générations précédentes, le moteur de traction était porté par la caisse de la motrice, disposition favorable pour la stabilité mais nécessitant une transmission complexe (réducteur - arbre à cordons coulissants - pont moteur).

À titre indicatif, entre la première et la quatrième génération, la puissance massique du moteur de traction TGV a été multipliée par 3 (de 0,3 kW/kg à 1 kW/kg !). Le bogie moteur AGV a d'ailleurs montré ses grandes qualités de stabilité de marche lors du record de vitesse établi le 3 avril 2007 à la vitesse de 574,8 km/h !

- L'utilisation du matériau composite en fibre de carbone (une première également en construction ferroviaire) pour des éléments structurels des voitures AGV : cette solution a été appliquée sur la rame prototype de l'AGV, testée en fatigue à poste fixe au centre d'essais de la SNCF à Vitry-sur-Seine ; les résultats aussi bien en termes de tenue mécanique qu'en termes d'allègement se sont révélés excellents. Cependant, le surcoût de cette technologie par rapport à la construction métallique ne permit pas de la retenir sur la série AGV, d'autres solutions d'allègement moins coûteuses ayant été identifiées. Cette technologie du composite carbone, en développement significatif dans l'industrie aéronautique, n'est pas encore disponible pour la construction ferroviaire malgré son formidable potentiel : la valeur du kilogramme gagné n'est pas la même pour ces deux modes de transport !

### **Le développement, les essais, un premier contrat AGV en Italie**

Après les études puis les essais à poste fixe des sous-ensembles critiques (moteurs, bogies, convertisseurs de puissance traction, structures composites, équipements de freinage), il a été décidé de réaliser une rame prototype pour validation de l'ensemble de la conception. Cette rame, baptisée « Pégase » (Prototype évolutif grande vitesse d'automotrice standard européenne, sic!) a ainsi effectué un très grand nombre de circulations d'essai, d'abord sur le circuit d'essais de Velim, en République Tchèque, jusqu'à des vitesses de

220 km/h, puis en France sur la ligne TGV Est (novembre à décembre 2008, 7 200 km parcourus, vitesse atteinte 364 km/h).

Les équipements de traction et les bogies moteurs avaient par ailleurs été testés brillamment lors de la campagne d'essais de vitesse de janvier à avril 2007, montant jusqu'à 574,8 km/h sur la rame ayant établi le record de vitesse !

Ces performances menèrent à la conclusion d'un premier contrat le 17 janvier 2008, avant même la présentation officielle de la rame AGV Pégase effectuée le 5 février 2008 : le

premier client de l'AGV fut la compagnie privée italienne *Nuovo Trasporto Viaggiatori* (NTV), pour une commande de 25 rames AGV11 (11 voitures) livrées en 2011 et 2012. Leur fabrication fut partagée entre deux usines d'Alstom : Aytré, près de La Rochelle, et Savigliano, dans le Piémont.

Leur mise en service eut lieu le 28 avril 2012, après un voyage inaugural le 21 avril 2012 sur la ligne à grande vitesse Rome-Naples.

Depuis cette date, les 25 rames AGV Italo parcourent le réseau italien à grande vitesse à la vitesse de 300 km/h.



*L'AGV italien © Collection particulière*

## **Conclusion : 4 générations en 30 ans, un même ADN pour des progrès considérables**

Au long des 30 années de développement de la grande vitesse en France, en Europe et dans le monde, l'industrie française, emmenée et pilotée par la SNCF, organisée autour du grand ensemblier ferroviaire Alstom, aura conçu et développé 4 générations successives de trains à grande vitesse, poursuivant à chaque transition le même triptyque d'objectifs de progrès : performances, confort du voyageur, économie d'exploitation.

Ces quatre générations partageaient le même ADN dans leur conception : le bogie léger et de grand empattement, gage de stabilité ; la grande résilience face aux défaillances d'équipements ; et enfin cette architecture originale, unique dans le monde ferroviaire, et exigeante : la rame articulée.

L'histoire n'est pas terminée, puisque la SNCF a récemment commandé à Alstom, à l'issue d'un partenariat exemplaire de conception partagée, 100 rames d'un TGV nouveau, à deux niveaux, bénéficiant de l'ADN des générations précédentes.

Ce projet a été présenté le 17 septembre dernier en présence du président de la République, à l'occasion de la cérémonie célébrant les 40 ans du service TGV et ses 3 milliards de voyageurs transportés.

Longue vie au TGV !



# La saga des records de vitesse

*Entretien avec François Lacôte (X1966)*

*Mis en forme par René d'Ambrières (X1970)*

---

29 mars 1955, 331 km/h sur la ligne des Landes, c'était le record établi par la SNCF avant le TGV. Il restait inégalé, mais avec la mise en service successive des lignes TGV, le temps des records revint et cette fois-ci à une cadence élevée. Près d'un record tous les dix ans entre 1981 et 2007, un pour chaque génération de TGV !

Quid des objectifs de ces exploits ? C'étaient les mêmes pour chacun des records. Le premier but était technique. En poussant les matériels roulants à des vitesses très supérieures à celles de l'exploitation commerciale, il s'agissait en premier lieu de démontrer que le service avait été conçu avec des marges techniques importantes, garantissant une grande sécurité et une excellente fiabilité.

Le second objectif était encore technique : explorer le plus loin possible le domaine de la très grande vitesse afin d'en améliorer la connaissance et en tirer des enseignements pour les projets futurs, dont les performances seraient nécessairement plus élevées. Ceci concernait la dynamique roue-rail et les problèmes de stabilité associés, le captage du courant, la résistance aérodynamique des rames, le bruit rayonné etc.

Le dernier objectif était social et concernait l'image de la SNCF. Social, car les records

permettaient de créer de la fierté autour d'un projet valorisant remarquablement le savoir-faire de l'entreprise. Et quoi de mieux que la poursuite d'un record pour y parvenir ! Objectif d'image également, pour montrer aux pouvoirs publics français, principalement au ministère des Transports, et aux potentiels clients étrangers l'excellence des matériels ferroviaires de l'industrie française et de la SNCF.

Pour chacune des trois premières générations de TGV, il y eut ainsi un nouveau record visant à chaque fois les objectifs précédemment énoncés, dont les limites augmentaient à chaque record. Pour réussir, la démarche suivie fut toujours la même. On utilisait comme matériel roulant un train de série remis ultérieurement en service commercial. Les modifications du matériel pour permettre les essais restaient limitées, et ceci est une caractéristique constante de tous ces records : le train du record restait très proche des trains en service. La voie était une portion nouvelle d'environ 100 km non encore ouverte au service. La rame était abondamment instrumentée de manière à suivre à bord et en temps réel l'évolution des paramètres critiques. Pour les essais de 2007, 300 capteurs furent implantés dans la rame, qui devint un véritable laboratoire d'essai. Enfin la campagne de test, qui durait environ 3 mois, était progressive.

Les essais en voie étaient précédés d'essais électriques à terre et d'essais en soufflerie. Ensuite, les essais en route se faisaient sur la base de montées en vitesse progressives, suivies d'inspections quotidiennes de la rame dès son retour en atelier.

Tous les essais des générations Sud-Est et Atlantique furent conduits sous la responsabilité directe de la SNCF. Par contre, pour la dernière génération, on institua une co-responsabilité entre la SNCF et Alstom. Jean-Marie Metzler (X1962) fut le directeur des essais TGV 100 de 1981, François Lacôte (X1966) des essais TGV 117 de 1989/1990, et les essais de 2007 furent réalisés sous la codirection de Jacques Couvert (X1967) pour la SNCF et de François Lacôte pour Alstom.

Chaque série d'essais avait son propre budget. Pour les premiers records, la SNCF en supporta la charge intégrale. Pour le dernier en 2007, le coût, un peu inférieur à 30 M€, fut partagé à parts égales entre SNCF, RFF et Alstom.

## Le record de 1981

A l'approche de l'ouverture de la première ligne à grande vitesse, Jean Marie Metzler se préparait à dépasser le record de 1955. La vitesse commerciale de cette première génération de TGV devait s'élever à 260 km/h. Les trains français les plus rapides étaient alors les « Capitole », qui roulaient à 200 km/h depuis 1967. Ils avaient été précédés par le Shinkansen qui s'élançait à 210 km/h depuis 1964, et par un train de la DB qui atteignait les 200 km/h depuis 1965. Le TGV ouvrait donc la voie à un service ferroviaire beaucoup plus rapide.

Pour le record, on baptisa le projet TGV 100, pour 100 m/s soit 360 km/h. La rame de série n° 16 fut préparée à cet effet, le nombre de

voitures réduit de 8 à 6, et le réducteur et le pont moteur modifiés afin de ne pas augmenter excessivement la vitesse de rotation des moteurs électriques. Dans le même but, on utilisa des roues de diamètre supérieur à la normale.

Les essais préliminaires ne durèrent que 2 à 3 semaines, et le record fut atteint le 26 février 1981 avec 380 km/h. Jean Dupuy, directeur général adjoint de la SNCF présent à bord, demanda que l'on s'en tienne là, même s'il restait encore de la marge. La SNCF avait en effet suffisamment prouvé qu'une exploitation commerciale à 260 km/h était possible sans aucun risque technique.

## Les records de 1988 à 1990

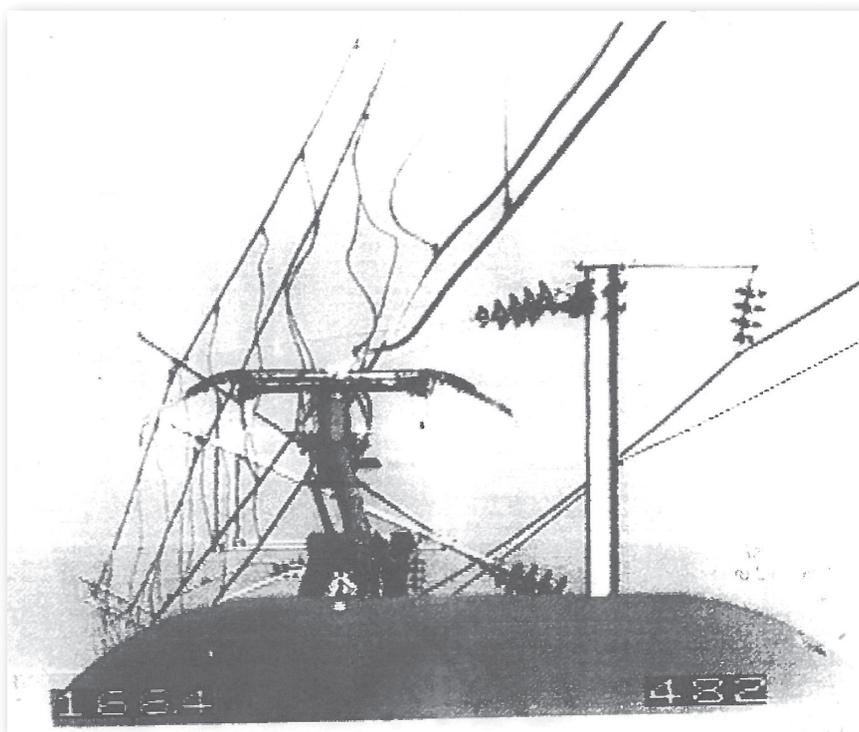
Les Allemands, nos grands concurrents européens, ne restaient pas inactifs. Ils s'approprièrent le record le 1<sup>er</sup> mai 1988 avec l'ICE V<sup>1</sup> qui atteignit 406,8 km/h sur la ligne nouvelle Hanovre-Würzburg. Dans le contexte des compétitions internationales en cours, ceci tombait particulièrement mal pour l'industrie française. Un nouveau record était bien programmé pour promouvoir le matériel de seconde génération, dont l'exploitation commerciale était prévue à 300 km/h, mais il fallut réagir plus vite pour rattraper l'avance prise par les Allemands. De plus, la ligne nouvelle Atlantique n'était pas encore utilisable en 1988. La seule solution pour faire des essais fut d'utiliser la LGV Paris-Lyon en s'insérant dans le trafic commercial. A l'époque, c'était envisageable car la SNCF contrôlait tout: le réseau, le matériel roulant et les essais de vitesse. Le directeur général de la SNCF Jean Costet (X1947), tout récemment nommé, autorisa François Lacôte à tenter un record à 420 km/h, légèrement au-dessus de celui des Allemands. Ce sera l'essai TGV 117 (117 m/s correspond précisément à cette vitesse horaire).

---

1. ICE signifie Intercity Express et V est l'initiale de Versuchzug, [rame d'essai].

Malheureusement, le 27 juin 1988 se produisit la catastrophe ferroviaire de la gare de Lyon avec ses nombreuses victimes. La rame d'essais était prête, mais il n'était plus possible de tenter un record et le projet fut provisoirement suspendu. En septembre 1988, les essais reprirent discrètement sur la ligne Paris-Lyon avec la rame TGV Sud-Est 88, qui avait servi de prototype pour le nouveau système de traction à moteur synchrone auto-piloté prévu pour la ligne Atlantique, que l'on limita à 6 voitures. Sur la ligne, les rames d'essais s'intercalaient entre les rames commerciales mais on évitait les croisements à très grande vitesse. Les montées en allure se succédèrent sans incident, et le 10 décembre 1988, dernier jour prévu pour cette campagne, le record allemand fut atteint et même très légèrement dépassé avec une vitesse de 408,6 km/h. Pour les raisons expliquées précédemment, François Lacôte n'avait pu donner l'autorisation d'aller au-delà. Ce record resta confidentiel, mais fut quand même habilement porté à la connaissance des clients coréens en octobre 1989.

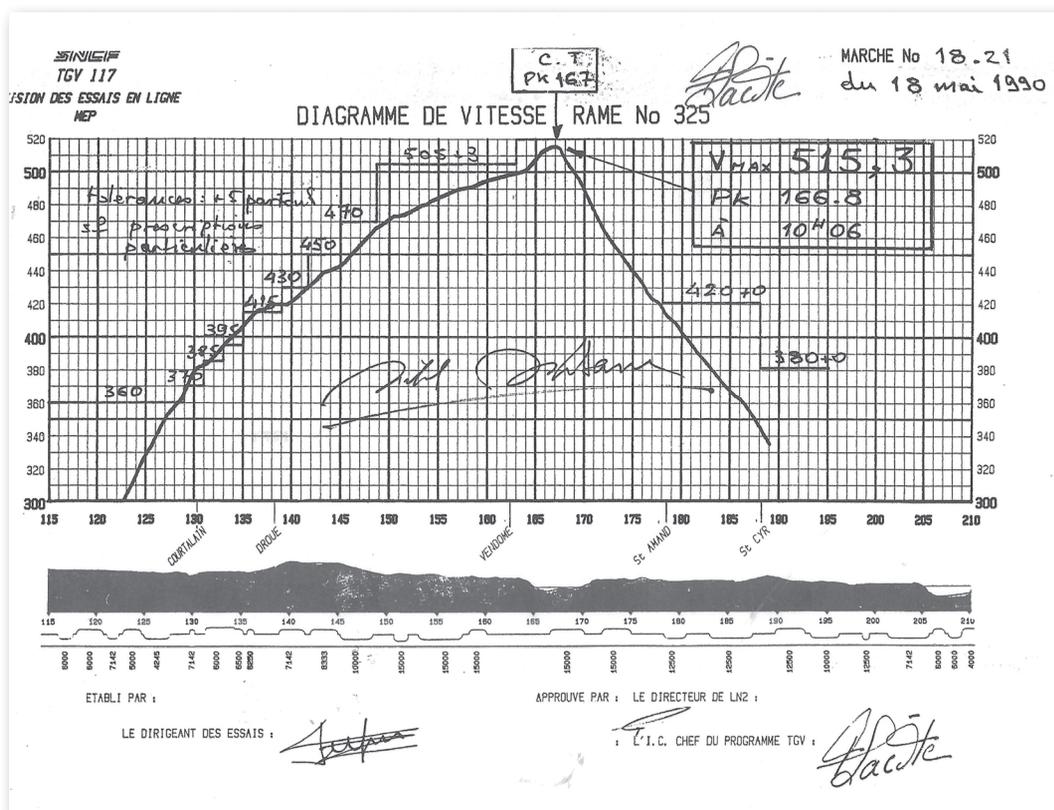
Dès que l'on put rouler sur la ligne Atlantique, les essais reprirent et, cette fois, dans une configuration optimale avant la mise en service commerciale. On utilisa la rame 325 du TGV Atlantique réduite à 4 voitures. Les montées en allure commencèrent en novembre 1989. La rame revenait tous les soirs à l'atelier TGV de Châtillon, où elle était chaque fois contrôlée. La vitesse visée était de 440 km/h, mais on s'aperçut bientôt que le matériel se comportait particulièrement bien, et que la dynamique roue-rail était excellente, même dans les courbes. On constata par contre un soulèvement important de la caténaire au niveau du pantographe, qui imposerait probablement sa limitation à l'essai. Le 5 décembre 1989, la vitesse de 482,4 km/h fut officiellement atteinte, et François Lacôte décida d'en rester là au vu des ondulations de la caténaire. Les journalistes prévenus attendaient le retour glorieux de la rame, gare Montparnasse. Jean Costet autorisa sur le champ François Lacôte à poursuivre les essais et les études en vue de dépasser les 500 km/h avant l'ouverture au public de la branche Sud-Ouest de la ligne TGV-Atlantique.



*Le soulèvement de la caténaire observé à 482 km/h  
La vitesse est lue en bas à droite © SNCF*

Ces nouveaux préparatifs nécessiteront 3 mois d'essais complémentaires. Il fut décidé après hésitation mais avec raison de limiter la rame à 3 voitures entre les 2 motrices. On soumit une caténaire à de nouveaux essais de fatigue. La caténaire ayant été surtendue, la limite venait maintenant de la puissance de la rame. Le réglage du moteur était particulièrement pointu, car il fallait éteindre chaque phase le plus tard possible pour ne perdre aucune puissance, tout en évitant les ratés de commutation. Un ingénieur de la SNCF avait acquis seul le secret du réglage fin des onduleurs de traction de série. Par ailleurs, les aiguillages avaient été posés à Vendôme, qui faisait partie du secteur du record, aussi fallut-il s'assurer qu'on pouvait les passer sans difficulté à 500 km/h. Et ce fut bien le cas !

Cette fois, la direction de la communication autorisa les journalistes à embarquer pour participer *in situ* au record. Mais le jour prévu, le 18 mai, l'heure de départ fut retardée par la présence d'un chevreuil sur les voies pourtant clôturées. Et la SNCF se refusant à diffuser cette explication, il fallut que François Lacôte trouve d'autres raisons pour justifier le retard sans inquiéter la presse. En plus des journalistes présents à bord, d'autres journalistes attendaient en gare de Vendôme pour voir passer le bolide... L'incident cynégétique ayant été réglé, l'opération fut un grand succès : la vitesse atteinte fut de 515,3 km/h, et il restait encore de la marge, mais cette petite réserve ne fut pas utilisée.



Ce record, comme les précédents, fut riche en enseignements. Il permit de vérifier que la vitesse critique de la caténaire n'était pas

atteinte. Il montra que l'on pouvait franchir en ligne directe un aiguillage à 500 km/h sans instabilité des bogies. Il confirma la

tenue de la rame dans les courbes. Et il permit enfin de mesurer le bruit rayonné à très grande vitesse. A cette époque, la sustentation magnétique réputée plus silencieuse était considérée comme une solution d'avenir. Le record prouva que les rames traditionnelles n'étaient pas plus bruyantes que les *maglevs*<sup>2</sup>. En outre ce record venait à point pour crédibiliser les offres commerciales françaises à l'export.

## 574,8 km/h en 2007

La première série de records s'était étalée sur 10 ans à peine. Il y eut alors une pause d'une quinzaine d'années puis, à l'approche de la mise en service de la LGV Est, la question d'un nouveau record se reposa. Mais la répar-

tition des rôles entre la SNCF et l'industrie, c'est-à-dire Alstom, avait profondément évolué: Alstom assurait maintenant la maîtrise d'œuvre technique des matériels roulants. En 2006, Guillaume Pepy, alors directeur général exécutif du groupe, proposa de tenter un nouveau record, ce qui impliquait un partage des coûts associés. D'abord réticent, Alstom accepta avec intérêt l'idée lorsqu'il fut décidé de profiter de ce record pour tester aussi la motorisation AGV prévue pour les TGV de quatrième génération.

On réalisa une rame constituée de 2 motrices de troisième génération à moteur asynchrone et de 3 voitures Duplex du Sud-Est dont une voiture-bar au centre, qui fut équipée d'une motorisation AGV. On baptisa le projet TGV 150, 150 m/s correspondant à 540 km/h.



*La rame du record de 2007 prise au téléobjectif © SNCF*

---

2. Ndlr: trains à sustentation magnétique.

Les essais préliminaires s'étalèrent sur 3 mois. Tous les dimensionnements techniques furent faits pour tenir 560 km/h, et on se réserva une marge de 60 km/h vis-à-vis de la vitesse critique de la caténaire, ce qui impliqua une surtension mécanique élevée de ces caténaires. Des essais en soufflerie furent réalisés préalablement. Après plusieurs montées en allure progressives, la vitesse de 540 km/h fut atteinte assez facilement. Le président d'Alstom transport, Philippe Mellier, demanda alors de viser le chiffre symbolique de 555,5 km/h. De façon encore plus ambitieuse, il souhaita ensuite 567 km/h. ce qui put être atteint. Il éleva alors la barre à 600 km/h. François Lacôte, directeur de l'essai pour Alstom, refusa ce dernier objectif. Mellier en référa alors à Pepy, qui se retourna vers l'homologue de Lacôte à la SNCF, Jacques Couvert, qui de concert avec Lacôte fit la même réponse négative.

Les essais préliminaires achevés, un premier galop d'essai eut lieu le 28 mars avec les journalistes, afin de les préparer à parler du record qui était imminent. La SNCF avait toutefois pris la précaution de leur faire signer avant un engagement de confidentialité strict sur cette première tentative. Heureusement, car la SNCF paya de malchance. A environ 510 km/h, un incident impressionnant se produisit : projection de ballast brisant les vitres extérieures, pénétration de fumée dans la voiture des journalistes et arrêt d'urgence sur défaut de freinage. Ceci dura à peine 2 minutes et la rame s'arrêta. Le train put repartir et rentrer à l'atelier de l'Ourcq. François Lacôte eut la présence d'esprit d'affirmer aux journalistes inquiets que le jour prévu pour le record officiel pourrait ne pas être modifié compte tenu des constatations techniques faites.

Il s'avéra que c'était un carénage en plastique d'à peine un kilo, placé sur une roue pour protéger des capteurs de mesures pendant les essais, qui s'était envolé et avait percuté le ballast dont les projections avaient cisailé une conduite d'air de freinage. Rien de grave donc ! La date de l'essai put être maintenue ; il faut dire que la sécurité des passagers n'avait pas du tout été mise en cause.

Le 3 avril 2007, la marche du record se passa parfaitement bien et on atteignit 574,8 km/h dans le trajet retour en direction de Paris.

Quels enseignements fut-il possible de tirer de cette dernière campagne ? La stabilité des rames Duplex face à un vent de travers fut confirmée ; les essais en soufflerie avaient en effet déjà montré que la voiture la plus exposée au renversement était le premier véhicule, la motrice. Les essais permirent aussi de valider l'efficacité du freinage à 500 km/h. L'absence d'envol du ballast à grande vitesse fut démontrée, à la différence de ce qui se passait avec l'ICE. Il y avait une telle crainte dans ce domaine qu'il avait été envisagé de coller le ballast, et les pots de colle déjà approvisionnés attendaient stockés à proximité de la zone des records... Ce record servit par ailleurs de validation à la stabilité dynamique du bogie AGV, qui est équipé d'un essieu avec un moteur à aimants permanents de 800 kg. Un aiguillage fut également traversé sans problème à 530 km/h en gare de Bezannes, à côté de Reims.

## Quel avenir ?

Après avoir suivi cette saga, la première question qui vient à l'esprit est évidemment celle-ci : ce magnifique record tiendra-t-il

longtemps ou pourra-t-il être bientôt conquis par d'autres ?



*Les rames de chacun des 3 records rassemblées en 2021 à la Gare de Lyon © SNCF*

En utilisant des matériels de quasi-série comme le fit la SNCF (associée à Alstom pour la 4<sup>e</sup> génération), cela paraît peu probable à court terme, et ce, pour les raisons suivantes : les matériels concurrents du TGV ont tous aujourd'hui des motorisations réparties ; or, pour battre un record, la meilleure solution, lorsque la motorisation est confinée dans les motrices d'extrémité, consiste à réduire le nombre de voitures pour limiter la résistance à l'avancement sans perdre de puissance. Avec une motorisation répartie, ceci est sans effet et envisager un nouveau record devient irréaliste, au moins avec les équipements électriques de série. Sur la rame TGV 150, aucun composant électrique n'avait été remplacé par du matériel plus puissant en vue des essais.

Ensuite, il faut disposer d'une ligne de qualité, si possible nouvelle, sans tunnel, d'une cen-

taine de kilomètres de long, ce qui n'est pas si fréquent. Et enfin, sur cette ligne, il faut maîtriser la tenue de la caténaire, ce qui s'avère de plus en plus complexe aux très grandes vitesses.

La seconde question que l'on a envie de poser est la suivante : ces essais ont-ils permis de cerner la limite de la vitesse commerciale possible sur rail ? A l'issue de ces records, il apparaît que le TGV a un potentiel de vitesse commerciale de l'ordre de 400 km/h avec une marge de sécurité tout à fait rassurante. Sur le projet de TGV Saint-Petersbourg-Moscou, des pointes à 400 km/h sont ainsi envisagées. La SNCF a acquis une expérience de 2 000 km parcourus à plus de 400 km/h et de 728 à plus de 500 km/h en 28 marches. Au-delà de 400 km/h, ce serait une autre aventure !



# Comment le TGV a bouleversé la conception des gares

*Jean-Marie Duthilleul (X1972)*

*Étienne Tricaud (X1980)*

---

On connaît le fameux adage exprimant la différence entre les trains et les gares: « le train se rend de gare en gare, mais la gare demeure et ne se rend pas ». Et pourtant lorsque le TGV redonne au train ses lettres de noblesses à la fin du xx<sup>e</sup> siècle, il va aussi bouleverser la conception des gares.

## **Le TGV a en effet à la fin du xx<sup>e</sup> siècle ressuscité le mythe du train dans la société française**

Car, dans les années 1970, le train, qui au xix<sup>e</sup> siècle avait connu la gloire en alimentant les rêves de voyage des populations européennes, avait rencontré la concurrence de l'avion, beaucoup plus rapide, et de la voiture automobile, beaucoup plus souple. Malgré le développement de la génération des trains Corail, il ne faisait plus guère rêver que les ferroviathes invétérés.

Le premier TGV orange, bondissant en 2 heures de Paris à Lyon, avait été perçu comme un nouveau type de transport, une navette rapide pour hommes d'affaires pressés, et non pas vraiment comme un nouveau « train ». Il fallut attendre la mise en service

du TGV Atlantique pour que les populations françaises se rendent compte que le TGV, à la fois rapide et familier, puissant et débonnaire, renouait avec le grand mythe du train, transport terrestre le plus rapide au monde. Il faut dire que ce TGV Atlantique, desservant toute la façade maritime Ouest et Sud-Ouest de la France, c'était le train des vacances.

## **Dans le sillage du retour du train, on assista alors au retour des gares**

En effet, la désaffection du train dans le cœur des populations s'était accompagnée de celle des gares dans les villes qu'elles desservaient. Certes, autour de la mise en service des trains Corail, avaient été lancées des actions de modernisation des gares. Mais celles-ci avaient été trop souvent en rupture avec l'histoire pour trouver leur place dans le cœur des habitants comme dans celui des voyageurs.

Ce retour des gares autour du développement du TGV s'est effectué sur 40 ans, entre 1980 et 2020. Au cours de ces années furent construites en France pour accueillir le TGV près de 25 gares nouvelles et restructurées une cinquantaine de gares anciennes. Cette

action fut portée non seulement par la SNCF, mais aussi par toute la société, notamment par les élus à tous les échelons de l'organisation territoriale française.

Cette action massive a connu cinq grandes périodes marquées par une évolution de la perception des gares dans la société française : tout d'abord « **l'effacement** », ensuite « **les retrouvailles** », puis « **la mutation** », « **l'urbanité** », et enfin « **la centralité** ». Nous allons dans les lignes qui suivent parcourir ces 5 grandes périodes.

## **L'effacement**

Le premier TGV, le TGV orange, commence à rouler sur la ligne nouvelle ouverte entre Paris et Lyon en 1981 alors que les évolutions de la société française tout entière sont portées par l'idéologie de la vitesse. Cette idéologie pose le principe que la rapidité, notamment de déplacement, va rendre la vie meilleure.

L'avion Concorde a commencé ses vols commerciaux en 1976, traversant l'Atlantique quasiment en 2 heures, permettant à ses passagers d'arriver aux États-Unis... avant d'être partis. Le nouveau Réseau Express Régional, le RER, fut mis en service en 1977 en même temps que la nouvelle station Chatelet-Les Halles.

Dans les mêmes années, en 1974, le paquebot France, symbole du plaisir du déplacement lent, a été désarmé.

Cette idéologie de la vitesse va avoir des conséquences durables sur l'organisation des villes en renforçant la conception de « la ville fonctionnelle ». Comme, grâce au développement des transports rapides, on va pouvoir aller très vite d'un endroit de la ville à un autre, il va être possible d'organiser celle-ci en unités fonctionnelles : on construira des « zones » spécialisées séparant les différentes activités humaines afin de les optimiser. On trouvera ainsi des « zones » dédiées au tra-

vail n'impactant pas les « zones » où l'on ira se reposer, des « zones » pour étudier, pour s'approvisionner, pour se soigner, pour faire du sport et ainsi de suite. La ville, petit à petit, va éclater, et avec elle le tissu de relations qui en faisait la richesse. Ce mouvement ne sera pas sans influence sur la conception des gares, comme on le verra plus loin.

Les premières gares aménagées ou construites pour accueillir le premier TGV sont conçues à la fin des années 1970, donc n'échappent pas à l'idéologie de la vitesse. Il s'agit alors, entre deux transports rapides, TGV et RER par exemple, de les organiser pour y minimiser le temps de présence des voyageurs. On parlera à leur propos de « lieux de transit ». Le « voyage » tant chanté par les poètes, est remplacé par le « déplacement » et par le « transit ». La gare n'est plus un lieu de rêve et de flânerie, à l'expression monumentale, la gare est un passage, qui disparaît dans le mouvement général qui agite les villes. Deux réalisations illustrent bien cet effacement de la gare devenue « passage » : les modifications apportées à l'époque à la Gare de Lyon et la nouvelle gare de Lyon-Part-Dieu.

A la Gare de Lyon, oubliées les grandes halles dont les vibrations lumineuses accompagnaient la cérémonie des adieux ou des retrouvailles sur le quai de la gare, inutiles les repas au restaurant du Train bleu au milieu des représentations des villes de la Méditerranée peintes sur les murs à l'occasion de l'Exposition universelle de 1900. Escamotée la « salle des fresques », représentant sur près de 100 m de long le défilement du paysage entre Paris et Marseille.

Il faut passer vite. Alors on a construit sous les voies ferrées un passage souterrain par lequel les voyageurs pressés, forcément pressés, d'autant plus que le plafond est très bas, pourront passer sans regarder ni les autres ni le ciel, du métro directement à l'un des quais du TGV.

A Lyon Part-Dieu, a été construite, à l'occasion de l'arrivée du bolide orange, une gare toute

nouvelle. Elle sera mise en service en 1983 en remplacement de la gare historique des Brotteaux. Il s'agit là aussi d'un grand passage souterrain reliant deux parties de la ville. Les voyageurs y descendent directement depuis les quais, rejoignant les citadins qui y passent au cours de la journée. Là encore, le passage est direct entre le TGV et la ville. La gare est effacée. Ce modèle montrera ses limites lorsque, deux décennies plus tard, l'absence d'un lieu spécifique à la gare ne permettra ni d'accueillir le trafic en augmentation, ni les services utiles aux voyageurs dans leur « déplacement ». Fait symptomatique, les architectes concepteurs érigèrent au débouché ouest de ce passage une façade monumentale, ne donnant sur aucun espace urbain d'accueil, mais pourtant ornée d'une grande pendule à l'instar des gares historiques, comme pour rappeler la gloire des gares anciennes au moment même où cette réalisation semblait annoncer l'effacement définitif de la gare dans la ville.

Mais cet effacement n'allait pas durer longtemps : la mise en service du TGV Atlantique allait sonner le retour des gares.

## Les retrouvailles

La mise en service du TGV Atlantique, éclairée par quelques années d'exploitation du TGV desservant le Sud-Est, va être présentée dès l'origine comme la mise en service d'un nouveau réseau. Il ne s'agit plus d'aller très vite de Paris à Lyon, il s'agit de desservir par le TGV plus de 17 villes de tout l'Ouest et le Sud-Ouest de la France. Une gare sera la tête de ce nouveau réseau à Paris, la gare Montparnasse.

Les Français renouent avec la magie du train : le TGV, c'est bien le retour du train dans l'imaginaire collectif. Les gares suivront ce mouvement et renoueront avec la magie des embarcadères du XIX<sup>e</sup> siècle.

3 ans avant la mise en service de ce nouveau réseau, les architectes de l'atelier d'architecture

de la SNCF, qui deviendra bientôt « l'agence des gares », se mettent d'arrache-pied au travail pour célébrer dans les villes desservies ce retour des gares. Une « charte des gares de l'Atlantique », qu'ils composent en 1986, va guider leur action. Il s'agit en substance de « faire des gares qui ressemblent à des gares », qui « expriment l'identité du réseau » et qui font donc rêver à l'Atlantique, dont « on lit le fonctionnement par les volumes », qui « s'inscrivent scrupuleusement dans les villes ». Et du Mans à Brest, de Saint-Pierredes-Corps à Nantes ou Poitiers, les gares vont se parer de toiles tendues, présenter à la ville de grands tympans de verre ouvrant sur des halls lumineux, décliner le bleu du nouveau TGV sur leurs mobiliers, et organiser les cheminements des voyageurs en leur permettant de voir leur train ou de se voir de loin pour profiter de ces moments si intenses en émotions depuis le XIX<sup>e</sup> siècle que sont les retrouvailles dans les gares.

La gare Montparnasse, tête du réseau, va servir de prototype à ce travail de réinvention de la gare. Mettant bas la façade de bureaux qui la coupait de la ville, elle va s'ouvrir sur celle-ci à travers la grande verrière de ce qui s'appellera la « Porte Océane », l'un des deux premiers murs de verre suspendu de Paris avec les serres de la Villette, réalisées à la même époque. La transparence de ce mur permettra de voir la ville depuis l'intérieur de la gare, et l'intérieur de la gare depuis la ville, et mettra en scène le ballet des escaliers mécaniques véhiculant les voyageurs entre les profondeurs du métro et les hauteurs des quais de la gare. De part et d'autre de cette verrière, les noms des villes desservies seront inscrits sur les massifs la supportant, reconnaissance explicite de la renaissance en plein cœur de la ville d'une porte sur un réseau extraordinaire, le réseau TGV, permettant de rejoindre depuis le centre de Paris près de 20 villes de France plus vite qu'en voiture, voire qu'avec un avion décollant d'un aéroport excentré.



*Gare Paris Montparnasse – Porte Océane (1990) Architectes : Jean-Marie Duthilleul, Etienne Tricaud, François Pradillon, Daniel Claris.*

© SNCF – AREP Photographe: Mathieu Lee Vigneau

La mise en place des nouveaux escaliers abrités par la Porte Océane résultera des calculs menés par les architectes de la SNCF qui, à cette occasion, jetteront les bases de la méthodologie de prévision des flux dans les gares. Celle-ci sera développée par la suite pour s'appliquer à toutes les études de grandes gares qu'ils réaliseront en France et à l'étranger lorsque sera créée, 10 ans plus tard, la filiale pluridisciplinaire d'étude des gares « Arep » (Aménagement, recherche, pôles d'échange).

La gare Montparnasse sera aussi le laboratoire de mise au point d'une méthode d'étude de « l'ameublement des gares » appelée à l'époque « Plan d'occupation de la gare » (POG). Cette méthode permettra de faire l'inventaire de tous les mobiliers – techniques, de confort, de service, de commerce, de signalétique – à placer judicieusement dans une gare pour que les voyageurs puissent trouver sur leur chemin tout le nécessaire pour leur voyage, depuis les billets jusqu'à la nourriture en passant par les sièges ou les caddies, à cette époque déjà lointaine où les valises à roulettes étaient encore rares. Cette méthode

permettra aussi aux cheminots de faire fonctionner en toute sérénité, au milieu des flux de voyageurs, cette « usine à fabriquer des départs et des arrivées de train » qu'est une gare. Par la suite, toutes les gares de la SNCF feront l'objet d'études semblables, dites « de POG », croisant sous forme graphique les tracés des flux et les implantations de mobiliers.

Ce travail de refonte de la gare Montparnasse, reconstruite dans les années 1965 au pied de la tour, a été associé à l'étude d'un hall de gare nouveau, distinct de la vieille gare, qui parut indispensable aux responsables de la ville et de la SNCF pour accueillir les voyageurs appelés à embarquer dans ce nouvel et étrange moyen de transport qu'était le TGV. Ce nouveau hall sera créé au-dessus de l'axe des quais, aux abords du Pont des 5 martyrs du lycée Buffon, à l'occasion de la réalisation du vieux projet de couverture des voies de la gare, rendu réalisable par la refonte complète du plan de ces voies. Dès l'origine, ce nouveau hall sera appelé « Hall TGV ».

Le trouble fut alors semé dans l'esprit des voyageurs : où devait-on donc se rendre pour

embarquer dans le bolide ? Fallait-il cheminer 200 m de plus depuis le métro pour rejoindre le nouveau hall, puis repartir dans l'autre sens sur le quai pour rejoindre sa place ? Un grand quotidien du soir titra même à l'époque : « le calvaire de Jacqueline à Montparnasse » pour annoncer un article décrivant les errances d'une voyageuse cheminant dans des couloirs interminables vers le TGV désiré, avant de le voir partir sans elle, dans un grand moment de mélancolie. L'origine du malentendu était d'avoir appelé « hall TGV » ce qui était simplement un hall nouveau de la gare construit à l'occasion de la mise en service du TGV. La cause en est à rechercher dans la méconnaissance du fonctionnement de la ville moderne irriguée par tous les nouveaux transports inventés au cours du xx<sup>e</sup> siècle. Un hall de gare est indissociable des transports de la ville qui permettent d'y accéder.

La gare de la fin du xx<sup>e</sup> siècle est fondamentalement un lieu pour faire passer des citadins, de l'un des transports de la ville aux trains.

Ainsi, le hall nouveau de la gare Montparnasse, n'était pas un hall « TGV », mais, éloigné de tous les transports en commun et donc accessible seulement raisonnablement en voiture, un hall « voitures », un hall propice à accueillir des voyageurs arrivant à la gare en voiture. Situé au milieu des quais, il minimisait le parcours de ces voyageurs arrivant en voiture, souvent encombrés de bagages ou ayant de la difficulté à se déplacer à pied. Ce hall fut donc conçu par les architectes de la SNCF pour accueillir de la façon la plus commode les voitures et taxis. Alors que le hall de gare historique accueillait les voyageurs arrivant en métro ou en bus. Cette distinction des halls par mode d'accès mit, à Montparnasse, plus de 5 ans à venir à bout de la notion de « hall TGV »...

Ce malentendu sera constaté aussi dans d'autres villes de France à l'époque autour de la notion de « gare TGV ». En effet, la prise de conscience que le TGV était tout simplement le train retrouvé et que sa force résidait

justement dans le fait qu'il pouvait bénéficier, dès sa mise en service, d'un réseau de gares déjà existantes, qu'il ne s'agissait bien souvent que de les réaménager pour leur donner plus de capacité d'accueil, de confort, ou de services, ne fut que très progressive, notamment dans l'esprit des responsables publics.

Car la prise de conscience que la gare de la fin du siècle était en fait un territoire d'échange entre tous les modes de transports de la ville moderne et le train ne commença à se répandre qu'avec l'ouverture des gares de la ligne à grande vitesse suivante, celle du TGV Nord et du contournement Est de Paris.

## La mutation

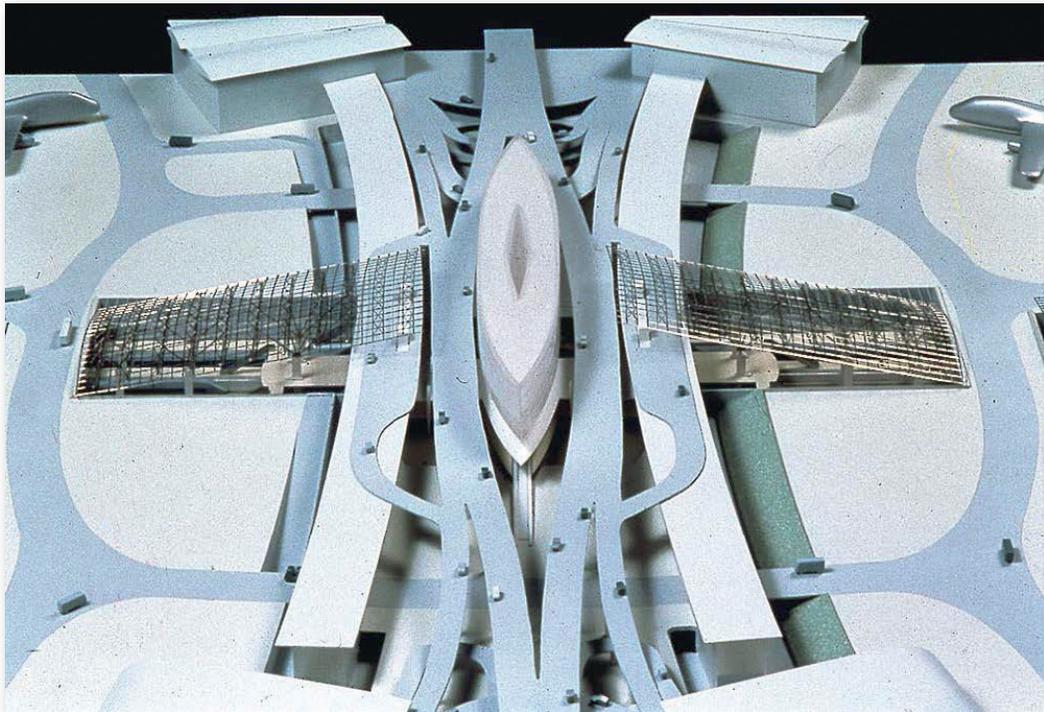
La mise en service du réseau du TGV Atlantique n'est pas encore advenue (elle le sera en 1989 et 1990) qu'en juillet 1987, la réalisation du tunnel sous la Manche est décidée, ce qui va provoquer la décision de réaliser le TGV Nord, et, la même année, la décision de réaliser le contournement Est de Paris à Grande vitesse. Alors sont mises à l'étude les gares de Lille-Europe, gare de passage dans Lille, Roissy-Charles-de-Gaulle, et Marne-la-Vallée-Chessy, qui desservira Disneyland Paris.

Ces trois projets sont annonciateurs de la mutation profonde des gares en France à la fin du xx<sup>e</sup> siècle. Elle a bouleversé la conception traditionnelle des gares qui ne peuvent plus être envisagées comme de simples bâtiments, mais doivent être conçues comme des territoires d'échanges entre tous les transports de la ville. C'est cette conception de la gare contemporaine qui fera le succès des architectes des gares françaises à l'étranger, à Séoul d'abord, où ils remporteront le concours pour la réalisation de la gare TGV du Sud de Séoul, puis en Chine où ils concevront, après Shanghai-Sud en 2000, 6 autres grandes gares, en Italie, à Turin ou au Maroc...

Le gare TGV de Roissy est un manifeste de ce concept. En effet, la plate-forme aéro-

portuaire de Roissy-Charles-de-Gaulle souffrait d'un péché de jeunesse: la difficulté d'y accéder en train. Conçue alors que le train était considéré comme un mode de transport sans grand avenir, contrairement à l'automobile, elle n'était desservie en train que par une gare de RER située au centre de gravité des différentes aérogares prévues, selon un raisonnement assez polytechnicien considérant que cette position minimisait les parcours vers ces différentes aérogares, et donc optimisait la somme des parcours à effectuer pour les rejoindre. Ce raisonnement aboutissait au résultat que, voulant desservir au mieux toutes les aérogares, on n'en desservait bien aucune: il fallait, dans tous les cas prendre le bus pour aller du RER à son avion. La mise en place de la nouvelle gare TGV allait rompre avec ce raisonnement.

Un premier projet situait la gare du TGV au droit de la gare du RER. La gare TGV était bien desservie par le RER mais ne desservait, à nouveau, correctement aucune aérogare. Il fut alors décidé que l'arrivée du TGV serait enfin l'occasion de constituer un carrefour unique de tous les transports au droit des aérogares 2. Les architectes des gares, associés pour l'occasion aux architectes des aéroports, mirent au point une construction dont les parois, sol, murs, plafond, sont constituées par les infrastructures de transports, et dont le cœur est constitué par les espaces piétons permettant de passer d'un transport à l'autre. Un hôtel, perché sur cette construction montre que cet endroit où l'on passe est aussi un lieu où l'on peut rester.



*Maquette de Roissy-Charles-de-Gaulle TGV (1994) Architectes: Paul Andreu, Jean-Marie Duthilleul, Etienne Tricaud, Daniel Claris. © SNCF – AREP*

Cette gare, mise en service en 1993, est sans doute l'expression la plus forte de la mutation de la gare à la fin du xx<sup>e</sup> siècle, non plus seulement embarcadère où l'on se rendait à pied ou à cheval pour rejoindre le train, vous emportant dans le voyage vers l'ailleurs, mais halte ménagée au sein du carrefour entre tous les modes de transports inventés depuis 1900 : métro et RER, tramway, voitures automobiles, bus et cars, vélos et motos... et avion. Cette halte est bien toujours une gare, car elle accueille des voyageurs devenant piétons pour rejoindre le TGV qui, à l'instar de son lointain ancêtre le train, est encore et toujours le vaisseau terrestre emportant à toute allure ses passagers rejoindre d'autres gares, d'autres carrefours de transport pour retrouver dans quelque ville lointaine l'être aimé qui les attend.

La gare nouvelle de Marne-la-Vallée-Chessy qui dessert les parcs de loisirs d'Eurodisney relève exactement du même concept, associant dans un même bâtiment une gare du RER et un très grand parking permettant aux voyageurs de rejoindre directement un hall de gare pour y passer quelques instants en attendant leur TGV.

Lille-Europe, construite en limite du centre-ville de Lille à la même époque, est, de plus, annonciatrice d'une autre évolution de la gare conséquence de l'invention du TGV : la revalorisation des quartiers entourant les gares à partir de la fin du xx<sup>e</sup> siècle. Après Lille-Europe, la plupart des projets de gare en France engloberont dans une même conception, la gare, toutes les infrastructures la desservant, et des développements urbains périphériques. En effet, la gare de Lille-Europe, primitivement prévue comme une gare de passage implantée non loin de Lille sur le trajet vers le tunnel sous la Manche, fut finalement située à la limite du centre historique de la ville de par la volonté expresse du maire de l'époque, Pierre Mauroy. Celui-ci voyait en effet dans cette implantation une occasion unique de constituer autour de la gare un nouveau quartier susceptible d'entraîner

une dynamique de développement de toute la ville. Ce sera le quartier « Euralille », qui va donner l'occasion aux architectes de la SNCF de développer une nouvelle organisation de gare.

Celle-ci, dont les quais font 400 m de long afin d'accueillir deux rames de TGV, est à la fois une gare de centre-ville, où les TGV s'arrêtent, et une gare de passage, traversée par deux voies sans quais en son centre, sur lesquelles les TGV peuvent circuler à grande vitesse, sans s'arrêter. Elle était initialement prévue enterrée, mais les architectes de la SNCF proposèrent de creuser sur son flanc Nord une grande place en pente pour que depuis la ville on voie les trains, et que depuis les trains on voie la ville. Le maire vit très favorablement ce dispositif qui lui permit de constituer un espace fondateur pour le nouveau quartier Euralille, dont il lança les études en parallèle.

Il s'agit alors de concevoir une gare qui soit reliée le plus étroitement possible, non seulement aux transports de la ville, mais aussi au nouveau quartier en gestation. Cette liaison prendra la forme d'une grande galerie, construite au-dessus des voies de passage du TGV. Cette galerie sera accessible depuis les rues du quartier sur toute sa périphérie, mais également depuis les stations de transport, métro, bus, tramway, et depuis les parkings construits en mitoyenneté. C'est en quelque sorte une galerie couverte de la ville, tout au long de laquelle sont aménagés des accès aux quais situés en contrebas de part et d'autre. Ces accès devaient être renseignés de façon à permettre aux voyageurs de descendre sur le quai au plus près de la voiture dans laquelle ils avaient leur place réservée, mais la SNCF ne disposait pas encore des moyens de « préannoncer » les emplacements des voitures sur le quai. Il faudra attendre 10 ans de plus et les gares du TGV Méditerranée pour que ce système de préannonce soit au point... Cette gare devait également initialement être chauffée, mais ce dispositif de confort fut jugé excessif par les responsables de la SNCF et supprimé en cours de chantier. Il faudra, là

aussi, attendre les gares du TGV Méditerranée pour voir apparaître les premiers halls de gare chauffés ou rafraîchis.



*Lille Europe (1994) Architectes : Jean-Marie Duthilleul, Etienne Tricaud, Pierre Saboya.*

*© SNCF – AREP Photographe : Jean-Jacques d'Angelo*

Les gares du TGV Méditerranée vont en effet ouvrir la voie à une attention aux voyageurs pleine d'urbanité, leur permettant de passer un moment agréable en gare.

## **L'urbanité**

Les études des gares du TGV Méditerranée vont démarrer au milieu des années 1990, lorsque le projet de ligne est presque au point. C'est pendant ces années que va progressivement s'estomper l'idée que le « temps de déplacement » est un temps inutile, une sorte de parenthèse dans la vraie vie. Ces années marquent, en effet, le début du développe-

ment des communications sans fil à longue distance. L'ancêtre du smartphone, le Bi-bop, est commercialisé en 1991. Les ordinateurs portables se développeront également entre 1990 et 2000, et la Wi-Fi se développera à partir des années 2000. Munis de ces nouveaux outils les voyageurs du *xxi*<sup>e</sup> siècle, reliés à leurs amis, à leur travail, à toutes les sources d'information, vont alors pouvoir vivre en mouvement, comme s'ils ne bougeaient pas, en ayant des activités qui jusqu'alors exigeaient qu'ils soient installés dans un lieu fixe. C'est cette nouvelle manière de vivre le mouvement que les gares du TGV Méditerranée vont prendre en compte en accueillant les voyageurs avec urbanité, leur permettant de se poser comme s'ils n'étaient pas en voyage, mais au contraire installés confortablement quelque part en ville. Elles vont permettre de faire « salon ». De plus, ces gares, considérées la plupart du temps très favorablement par les responsables des villes dans lesquelles elles s'implantaient, vont devenir de nouveaux bâtiments emblématiques, porteurs d'identité. Regardées, à juste titre, comme de nouvelles portes de ville puisque donnant accès à un réseau les rapprochant de tout le reste du pays, elles devaient donner aux voyageurs y débarquant comme un avant-goût des charmes de la cité voire du territoire desservi. Aussi furent-elles toujours travaillées non seulement avec les élus locaux, mais aussi avec des personnalités attachées à mettre en valeur les qualités de leurs lieux de villégiature.

L'emblème de cette nouvelle mutation est sans doute la gare nouvelle d'Avignon.

Cette gare devait être implantée au bord de la Durance en hauteur, face au mistral, en communication visuelle avec le Palais des Papes. L'élaboration de ce projet cumulait les difficultés et les exigences: il fallait abriter les voyageurs du vent violent venant du nord, mais aussi du soleil ardent venant du sud, leur permettre d'attendre leur TGV au plus près du point d'arrêt de la voiture où se situait leur réservation, prévoir des quais autres que ceux du TGV pour amener une navette ferroviaire

permettant de rejoindre le centre-ville, organiser la venue des automobiles et des autobus aux abords immédiats de la gare, anticiper sur la constitution des voiries du nouveau quartier qui devait se développer autour de la gare, et offrir aux voyageurs un cadre reflétant le raffinement et la douceur de la vie en Avignon et en Provence. Ceci dans un contexte marqué par un doute latent, exprimé dans la SNCF elle-même, sur l'utilité d'une telle gare que matérialisait cette interrogation souvent entendue : « mais qui va aller en train à Avignon?... », et la demande explicite de ne pas installer le moindre commerce dans cette gare où « il n'y aurait personne », et peu de places de parking. Le constructeur de la ligne eut heureusement la clairvoyance de se rendre maître d'une large emprise foncière autour de ces gares, ce qui permit d'accroître l'offre en la matière une fois que le succès apparut de façon patente.

Pour prendre en compte toutes ces données, le projet devait être simple, et répondre scrupuleusement aux contraintes exprimées : ce fut « un grand salon dans un jardin ». Un endroit pour vivre un moment confortable au milieu du voyage.

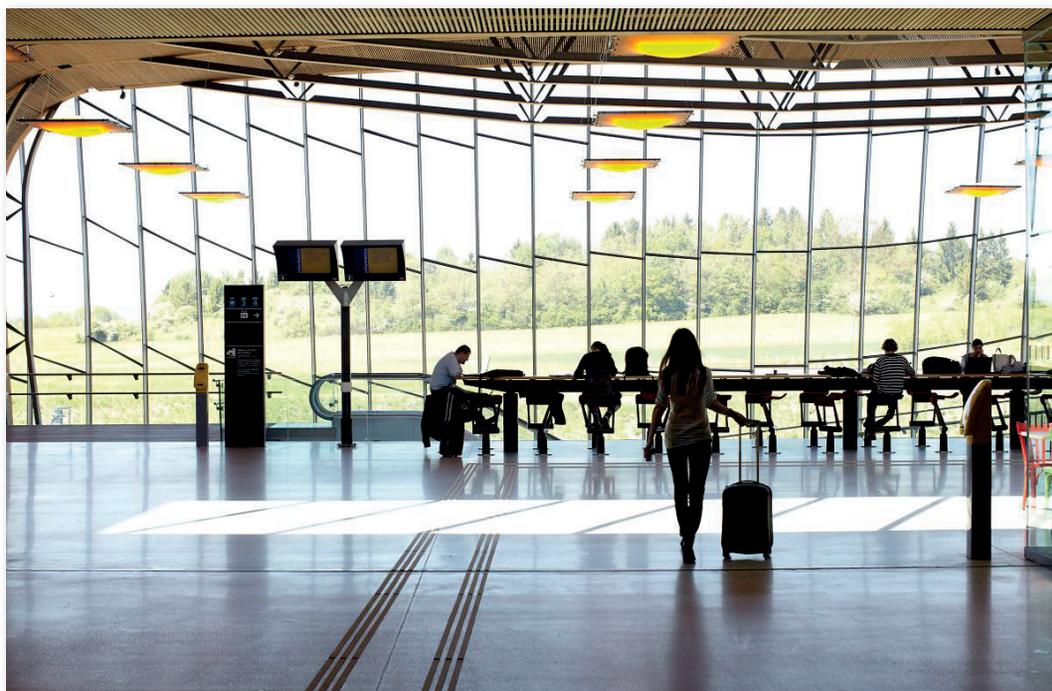
Le bâtiment est un simple hall, de 350 m de long, n'ouvrant au sud que par de grandes baies à travers lesquelles le soleil d'été peut dessiner sur le sol de grandes taches de lumière rythmant régulièrement l'espace, et muni, au nord, d'une grande verrière permettant de voir son TGV arriver à l'abri du mistral. Cette halle est chauffée et rafraîchie, annonçant là aussi une évolution du confort des gares qui seront mise en service à partir des années 2000. Des sièges sont installés tout au long de cette verrière non loin des accès aux quais, abrités eux aussi du vent, répartis régulièrement pour donner accès au quai au plus près de sa place réservée, la SNCF ayant mis au point le système de préannonce de l'emplacement des voitures... avec quelques marges d'erreurs inhérentes à la complexité du système. La forme ogivale de la gare n'est pas sans rappeler la forme de certaines salles monumentales du Palais des Papes. Quant au jardin environnant, il introduit à tous les jardins qui ornent la moindre parcelle de la ville ou des maisons alentours.



*Intérieur de la gare Avignon TGV (2001) Architectes :  
Jean-Marie Duthilleul, François Bonnefille, Etienne Tricaud.  
© SNCF – AREP Photographe : Stéphane Lucas*

Tous ces éléments d'urbanité de la gare, on les retrouvera à Valence TGV, face au massif du Vercors, ou à Aix-en-Provence TGV, dont la forme de toiture répond à celle de la montagne Sainte-Victoire qui lui fait face et que les voyageurs peuvent découvrir sous sa lumière toujours changeante en descendant

du TGV. Belfort-Montbéliard TGV ou Besançon TGV, mises en service en 2011, présenteront les mêmes caractéristiques, permettant aux voyageurs de s'y installer pour y téléphoner, y travailler, ou simplement de s'y rencontrer entre deux voyages.



*Intérieur de la gare Belfort-Montbéliard TGV (2011) Architectes : Jean-Marie Duthilleul, François Bonnefille, Etienne Tricaud.*

© SNCF – AREP Photographie : médiathèque Patrick Messina

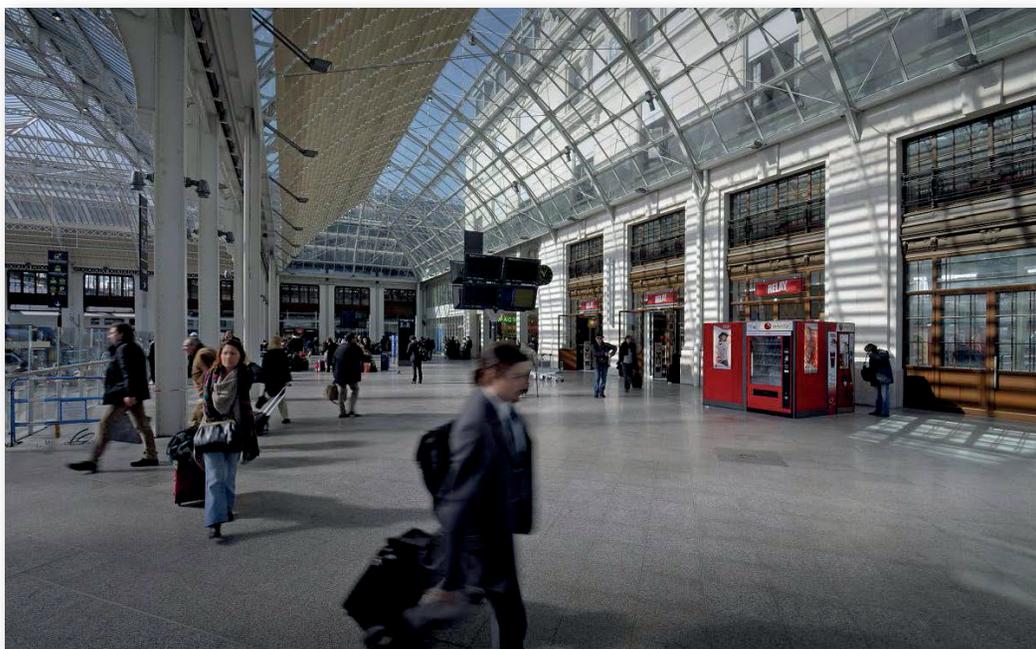
Ces caractéristiques des gares nouvelles conçues pour accueillir le TGV vont influencer à leur tour le réaménagement des gares historiques situées au centre des villes desservies par le nouveau train. Les quartiers qui les environnaient, délaissés jusqu'à l'arrivée du TGV, vont, on l'a vu, être l'objet de toutes les attentions de la part des édiles locaux, départementaux, voire régionaux. Et l'évolution des conditions d'accueil dans les gares vont faire de ces lieux des éléments de centralité urbaine.

## **La centralité**

Cette nouvelle centralité des gares historiques va être portée par trois évolutions majeures, conséquences elles aussi des retrouvailles des Français avec le train et les gares grâce au TGV : une redécouverte du patrimoine des gares, la mise en place d'espaces publics majeurs de la ville aux alentours, et la programmation de toutes sortes d'aménités sur le territoire même des gares.

D'abord ces gares, porteuses de la modernité la plus radicale du TGV, vont être aussi, de façon complémentaire, redécouvertes comme éléments majeurs du patrimoine historiques des villes. En tant que telles, elles redeviennent dans la ville des lieux à fréquenter pour tous les habitants avides de retrouver leurs racines dans un monde dit moderne qu'ils considèrent comme sans âme. La gare historique conjugue l'efficacité contemporaine du TGV et la poésie toujours recherchée du voyage, celle qui fait rêver qu'un meilleur est toujours possible, ailleurs.

Le nouvel agrandissement de la Gare de Lyon en 2012 est symptomatique de ce mouvement: 30 ans après la réalisation de la salle souterraine destinée à l'embarquement dans les premiers TGV, cet agrandissement permet de dégager, restaurer et mettre en valeur le bâtiment historique, tout en lui donnant la capacité d'accueillir tous les voyageurs du TGV à destination du Sud-Est, de la Suisse voire de l'Italie. Cet agrandissement permet aussi de remettre la gare au milieu de la ville.



*Gare de Paris-Lyon (2012) Architectes: Jean-Marie Duthilleul, François Bonnefille, Etienne Tricaud.*

© SNCF – AREP Photographe: Mathieu Lee Vigneau

Les transformations des gares de Paris-Est, Marseille-Saint-Charles ou Strasbourg sont aussi révélatrices de cette tendance.

La gare de Strasbourg avait, au fil des années, vu sa façade de grès rose défigurée par différents ajouts altérant la composition d'origine. Devant la gare, l'ancienne place jardin avait été transformée en parking, puis coupée de la ville par une voie rapide, et enfin transformée en dalle piétonne recouvrant un

parking souterrain et une station de tramway. L'arrivée du TGV en 2007 va être l'occasion de restaurer le bâtiment historique dans son état d'origine, de l'agrandir en l'abritant sous une verrière, « sous globe » comme un objet précieux, et enfin de transformer à nouveau la place en jardin faisant le lien avec la ville historique. Avec cette nouvelle place, la gare est maintenant de nouveau un élément du centre-ville.



*Pôle d'échanges multimodal de Strasbourg (2011) Architectes :  
Jean-Marie Duthilleul, François Bonnefille, Etienne Tricaud.  
©SNCF – AREP Photographe : Didier Boy de la Tour*

Pour la gare de Marseille-Saint-Charles, l'agrandissement de la terrasse surplombant la ville en direction de l'université Marseille-Provence, réalisée à l'occasion de la restructuration de la gare en 2009, va jouer le même rôle. Elle accompagnera la mise en place d'une nouvelle offre de services et de commerces en gare, prélude au renouvellement profond de l'offre d'aménités dans les grandes gares françaises.

Cette offre très diversifiée est rendue possible par le fait que la gare est de nouveau perçue comme un élément de centralité de la

ville, centralité que cette offre viendra à son tour renforcer. Ainsi, en ce début de siècle, on verra apparaître dans les gares, à côté des commerces strictement liés au voyage, des restaurants, des commerces non forcément liés au voyage, des services liés aux rencontres ou au travail partagé, avec des centres de réunion ou de *co-working*, ou à la santé avec des laboratoires, par exemple. Il n'est pas rare aujourd'hui que l'on vienne tout simplement à la gare comme on va au centre-ville, pour trouver quelque service de la vie quotidienne...



*Gare Marseille-Saint-Charles (2007) Architectes: Jean-Marie Duthilleul,  
Francois Bonnefille, Etienne Tricaud.  
©SNCF - AREP Photographe: Didier Boy de la Tour*

Le chemin parcouru en 40 années est immense, depuis l'effacement de la gare, perçue alors quasiment comme un obstacle au déplacement rapide, jusqu'à ces gares symboles du dynamisme des villes desservies, offrant aux passants le confort et les services de la ville. Mais il reste encore beaucoup à faire, d'une part pour que chaque gare conserve de façon équilibrée sa double

nature de lieu du voyage et de lieu de ville (l'échec du récent projet sur la Gare du Nord est là pour nous rappeler cette exigence) et d'autre part pour que les gestionnaires de gare gardent cette attention aux milliers de passants qu'ils accueillent chaque jour pour les entourer de la prévenance dont ils ont tant besoin dans la ville moderne.



# L'essor mondial du concept de Grande vitesse ferroviaire et les succès français sur le marché international

*Pierre-Louis Rochet (X1965)*

---

1981, c'est l'année où débute la mise en service de la ligne nouvelle à grande vitesse (LGV) entre Paris et Lyon. Après 4 ans passés au Maroc à diriger l'étude d'une ligne ferroviaire dans le Sud du pays (Marrakech-Laayoun) au sein d'un consortium international d'ingénieries dont Sofrerail était le chef de file, je rejoins le siège de cette filiale de la SNCF en charge d'exporter son savoir-faire tant technique que d'exploitation. J'en deviendrai le directeur général en 1987. Puis, après avoir été chargé de la fusion de Sofrerail avec Sofretu, filiale semblable de la RATP, je serai en 1995 nommé PDG de SYSTRA, résultat de cette fusion, et ensuite PDG de SNCF International, nouvelle filiale créée en 1998, destinée à participer à l'exploitation de lignes opérées par des sociétés privées à l'étranger, et ce jusqu'en 2001. Ensuite je continuerai à participer à des projets de grande vitesse dans le monde dans le cadre de groupes privés.

Durant toute cette période, j'ai été pleinement impliqué dans ce domaine sur la scène internationale et ai participé activement à la

promotion et parfois la vente du TGV français, dont je vais relater les épisodes les plus marquants.

## **Comment promouvoir un si beau concept ?**

Le succès immédiat du TGV et son entrée innovante dans le paysage ferroviaire ont tout de suite eu un retentissement mondial. Aussi nous sommes-nous intéressés, en liaison avec les industriels concernés, à tous les projets de Grande vitesse ferroviaire (GVF dans la suite de cet article) en gestation dans le monde, pour participer à leurs études de faisabilité ou de définition, ou à leur réalisation éventuelle, et pour promouvoir le système technologique français qui pouvait, grâce à ses capacités d'évolution, servir de base à des solutions adaptées aux conditions locales.

Comme on le sait, le Japon avait dès 1964, pour les JO de Tokyo, mis en œuvre la grande

vitesse à 210 km/h avec le Shinkansen sur la ligne nouvelle du Tokaido. Cette ligne fut réalisée en voie standard dans un pays où le réseau existant à voie métrique<sup>1</sup> ne pouvait pas permettre d'augmenter la vitesse au-delà de 110 km/h, alors qu'à la même époque la France faisait rouler le « Capitole » à 200 km/h sur une ligne classique de son réseau.

L'Italie avait également commencé à réaliser par étapes la *Direttissima* Rome-Florence, mais en complément/amélioration de ligne existante, pour un trafic mixte voyageurs et fret, sans choisir clairement le principe de la GVF sur une voie dédiée au trafic voyageurs. Les FS<sup>2</sup> ont mis en service en 1988 sur Milan-Rome un train capable de rouler à 250 km/h sur la *Direttissima* et de rouler plus vite que les autres trains sur les autres sections de ligne grâce à un système de pendulation, les caisses s'inclinant dans les courbes: le Pendolino ETR 450, fabriqué par Fiat Ferroviaria (j'ai roulé en cabine de conduite de ce Pendolino entre Bologne et Florence, parcours montagneux très sinueux, et c'était impressionnant!). Cette société sera reprise en 2001 par Alstom<sup>3</sup> qui fera évoluer cette famille de trains.

Le concept français – voie nouvelle à écartement standard (1,435 m) – circulation de rames de voyageurs uniquement – pénétration dans les villes et prolongements de service sur le réseau existant – vitesse initiale en ligne de 260 km/h, bientôt portée à 300 km/h – sera progressivement adopté pour tous les projets mondiaux.

Il était clair que les conditions permettant la réussite de tels projets ne se rencontreraient pas sur un très grand nombre de corridors

dans le monde, et que le système TGV n'était pas forcément la réponse adaptée à tous les besoins de transport. On considérait que les cibles accessibles au TGV pouvaient être caractérisées par les critères suivants :

- Distance optimale de la ligne dans une fourchette de 300 à 800 km, au maximum 1 000 km.
- Corridor desservi comportant une population nombreuse, avec des agglomérations importantes et des activités économiques amenant des échanges significatifs.
- Niveau de vie de la population tel que le pouvoir d'achat des voyageurs permette une tarification suffisante, valorisant et rémunérant la réduction du temps de transport apportée (la valeur du temps étant variable selon les pays).
- Niveau technologique du pays suffisamment élevé, permettant, grâce à la maîtrise des techniques de construction et de fabrication, d'y réaliser un transfert de technologie (de préférence partiel, mais parfois exigé totalement), ainsi que l'entretien des installations fixes et du matériel roulant.
- Centres urbains bien identifiés, où la pénétrente ferroviaire au cœur des villes présente un intérêt certain par rapport par rapport à des aéroports éloignés.
- Politique de volume faisant de la GVF un produit ouvert au plus grand nombre,
- Situation concurrentielle: trafics routier et aérien suffisamment importants pour envisager des reports significatifs.

Sur ces bases, nous avons retenu des pays cibles à prospecter, pour y susciter des projets ou y encourager et y accompagner ceux déjà envisagés. Les décennies 1980 et 1990 ont été riches en missions de prospection de

---

1. L'écartement d'une voie ferrée est la distance entre les deux faces internes des parties supérieures des rails (le « champignon »). Historiquement, l'écartement standard est de 1,435 m dans la plupart des pays, mais beaucoup ont été équipés de voies dites métriques (écartement de 1 m ou 1,067 m dans les pays anglo-saxons) pour raison de moindre coût dans les régions montagneuses, les rayons de courbure pouvant être plus faibles, permettant ainsi de diminuer l'importance des tunnels et des viaducs.

2. Ndlr: La *Ferrovie dello Stato Italiane S.p.A.* – FS, (litt. « Chemins de fer italiens de l'État »), est une entreprise ferroviaire publique exploitant le réseau national des chemins de fer italiens.

3. Ndlr: Créée en 1928, cette société a pris le nom d'Alsthom en 1932, puis est devenue successivement Alsthom Atlantique en 1976, GEC-Alsthom en 1989 et enfin Alstom depuis 1998. Pour des raisons de simplicité, on a retenu dans tout cet article la dénomination actuelle « Alstom ».

Sofrerail et en visites de délégations étrangères sur la LGV Paris-Lyon, puis sur la LGV Atlantique, et à bord des TGV, en liaison avec les industriels, principalement Alstom, et avec tous les services SNCF concernés. En 1988 et début 1989, avant la mise en service de la LGV Atlantique, nous avons pu recevoir de nombreux invités pour des marches à 350 km/h, vitesse objectif de plusieurs projets longue distance afin d'offrir des temps de trajet satisfaisants : par exemple pour les Australiens du VFT Sydney-Canberra-Melbourne (917 km), pour un temps maximum de 3 heures de bout en bout, ou pour les Californiens avec le projet San Diego-Los Angeles-San Francisco de 1 300 km de longueur.

Avant d'aborder les projets et les pays où nous avons réussi à exporter l'ingénierie et/ou le matériel roulant, il est intéressant d'évoquer les conditions à satisfaire pour vendre un système TGV à l'international dans un environnement concurrentiel (ceci n'est pas spécifique toutefois aux projets ferroviaires !).

Il y a des critères factuels :

- Qualité technique du système et réponse adaptée aux spécifications.
- Expérience solide et confirmée en exploitation commerciale.
- Prix compétitif pour le train et financement du projet assuré, mixant public et privé.
- Garantie de tenir les engagements requis,
- Niveau du transfert de technologie et accord de partenariat local industriel.
- Support d'un opérateur expérimenté et d'une ingénierie compétente.

Il y a aussi des critères plus subjectifs et moins rationnels :

- Relations politiques avec le pays concerné.
- Force et efficacité du lobbying au sens large.

Ces derniers points ont parfois beaucoup plus d'importance que ce que nos esprits cartésiens pourraient penser. Par exemple, je crois personnellement que ceci a beaucoup contri-

bué à l'échec du groupe français sur le projet de desserte GVF des Lieux saints en Arabie Saoudite en 2011, face au groupe espagnol qui avait un sponsor mieux placé que le nôtre, et en plus soutenu efficacement par le roi d'Espagne. Ce groupement espagnol avait cependant remis un prix sous-estimé, ce qui s'est traduit assez vite par des blocages et des conflits lors de la réalisation. D'un autre côté, le poids de l'histoire et les relations politiques ont pesé négativement pour les chances japonaises en Corée du Sud, où certains mauvais souvenirs de la Deuxième Guerre mondiale n'avaient pas suffisamment disparu.

Par contre, on peut dire qu'en Corée du Sud, qui s'est vite révélée pour tous les acteurs du monde entier comme le premier grand projet significatif hors Europe et la cible majeure de tous les industriels ferroviaires du monde, le lobbying au sens large du groupe France a été bien mené et efficace. En effet, dès le départ, une concertation permanente a été établie entre le ministère des Transports grâce à sa section chargée de l'international, les industriels concernés par tout le système (matériel roulant, composants de l'infrastructure, signalisation), la FIF (Fédération des Industriels du ferroviaire), l'opérateur SNCF et nous, sa filiale export. Les nombreuses missions envoyées par les Coréens qui faisaient le tour des grands pays de la GV (Japon, Allemagne et France) étaient reçues en parfaite coordination entre nous, et les informations que l'on était prêts à donner et les messages à faire passer étaient soigneusement concertés. Les Coréens venaient en groupes de 12 à 15 techniciens, posaient de nombreuses questions, prenaient beaucoup de photos dans les ateliers ! Souvent nous étions amenés à leur dire « nous ne pouvons pas répondre aujourd'hui à cette question, nous le ferons dans le cadre d'un contrat », et invariablement leur réponse était « ah oui, mais les Allemands (ou les Japonais) nous ont répondu », ce qui ne nous perturbait pas car nous nous doutions tous que les concurrents devaient faire comme nous. Lors de réunions régulières au ministère des Transports avec

les industriels français, nous nous mettions mutuellement au courant des informations récentes, et c'est là qu'étaient proposées les missions des ministres français et les messages que nos responsables devaient passer. Nous y avons décidé par exemple d'envoyer au début de 1989, à frais partagés entre Alstom, SNCF et Sofrerail, et les ministères concernés, dont le ministère des Affaires étrangères et celui des Finances, un ingénieur senior de Sofrerail comme attaché à l'ambassade de France, en charge de collecter localement plus d'informations, de rencontrer régulièrement les responsables coréens du projet, de leur faire passer des messages en retour, de nous suggérer des actions ciblées, d'encourager et préparer des missions en France, bref de faire du lobbying. Les industriels et Sofrerail avaient également leurs représentants coréens locaux qui jouaient aussi un rôle actif dans ce domaine.

La plus éclatante démonstration de l'efficacité de ce lobbying fut faite lors du fameux séminaire Grande vitesse organisé par la Corée en octobre 1989, qui dura 5 jours et réunit tout le Gotha mondial de la GV ferroviaire, avant le lancement de l'appel d'offres international. Ce fut vraiment le point de départ de la compétition pour la grande vitesse en dehors de l'Europe ! Nous l'avions fortement préparé, et le président de la SNCF Jacques Fournier présidait la délégation française. Les trois pays, France, Allemagne et Japon, disposaient chacun d'une journée pour présenter leur système, et l'Italie et l'Espagne chacune une demi-journée. J'avais préalablement décidé de faire préparer, aux frais de Sofrerail, un film percutant de présentation/promotion du système TGV. Celui-ci avait été réalisé par le service cinématographique de la SNCF, avec mon équipe qui comprenait en particulier trois collaborateurs de grande valeur, Christian Bret, Michel Leboeuf et Luc Aliadière. Nous avons projeté ce film au début de notre journée France, en langue coréenne,

grâce à notre représentant coréen qui avait fait le nécessaire, sur 3 grands écrans dans la vaste salle du séminaire, ce qui eut un impact important sur le public présent ! Le lendemain, les Allemands, un peu penauds, présentèrent des films en langue germanique. Il faut dire qu'à cette époque, l'industrie allemande n'était pas vraiment organisée en « chasse en meute », comme on le croit souvent. L'ICE était un train composite réalisé par plusieurs industriels, sans pilote affirmé. La DB<sup>4</sup> n'avait pas clairement affiché une stratégie GVF : ses premières intentions étaient de créer des lignes mixtes, voyageurs à 200 voire 250 km/h, et marchandises à 120 km/h. Aucun ICE équivalent au TGV n'était encore en service commercial, mais ils avaient quand même fait rouler en mai 1988 un prototype ICE à 406,8 km/h, nouveau record mondial dépassant celui du TGV de 1981 à 381 km/h, ce qu'ils présentaient naturellement comme un point fort !

Aussi, pendant la journée française du séminaire, François Lacôte (X1966), directeur du Matériel roulant, et Philippe Roumeguère (X1960), directeur de l'Équipement SNCF (et président de Sofrerail), présentèrent fort habilement une vidéo technique qui fit oublier aux ingénieurs coréens l'avantage allemand du record de vitesse. Cette vidéo portait sur l'interface entre la caténaire, ligne électrique fixe qui fournit le courant, et le pantographe, appareil du train qui capte le courant. Cette interface constitue à grande vitesse un point sensible et complexe pour le bon fonctionnement du système. Sur cette vidéo, réalisée lors d'essais d'une rame prototype du TGV Atlantique, apparaissait sobrement en bas à gauche la vitesse du train, qui afficha à un moment brièvement le chiffre de 408,6 km/h, vitesse effectivement atteinte mais sans avoir encore fait l'objet de communication officielle, ce que les Coréens ne manquèrent pas de remarquer et leurs techniciens ont alors beaucoup posé des questions. Nos concurren-

---

4. Ndlr: La *Deutsche Bahn Aktiengesellschaft*, DB, parfois DB AG (« Société par actions du chemin de fer allemand »), est une entreprise publique allemande qui assure la gestion et l'exploitation du réseau ferré allemand.

rents allemands ont été jusqu'à oser dire que cette vidéo était truquée car le captage de courant montrait beaucoup moins d'arcs électriques que pour leur ICE !

Deux mois après, en décembre, nous accompagnerons l'ambassadeur de Corée en France à 471,9 km/h lors d'un test sur la ligne Atlantique, puis, comme le décrit dans son article François Lacôte<sup>5</sup>, le 5 décembre un TGV y roulera à 482,4 km/h (et même à 515,3 km/h en 1990).

Pour revenir au film de Sofrerail, il se trouva qu'en novembre 1989, un mois plus tard, Taïwan organisa un séminaire identique, mais de 3 jours seulement. Cette fois ci, les Allemands avaient progressé et présentèrent leurs films en anglais, mais ensuite, le nôtre fut projeté en langue chinoise, ce qui les a encore dépités !

Tous ces efforts ont permis d'obtenir des contrats importants sur l'histoire desquels nous venons maintenant.

## Le choix espagnol pour le TGV

C'est en 1988, pour la ligne Madrid-Séville, que le TGV a été retenu pour la première fois à l'export. L'Espagne souffrait d'un lourd handicap pour s'interconnecter avec le reste de l'Europe, étant dotée d'un réseau ferroviaire à voie large: 1,668 m (choix, dit-on, fait en souvenir de Napoléon pour rendre plus difficile une invasion par voie ferrée!). Cette situation pénalisait fortement les échanges aussi bien de voyageurs que de marchandises, avec la nécessité d'un transbordement aux gares frontières entraînant des surcoûts significatifs pour le fret et une perte de voyageurs potentiels, même si certains trains de voyageurs espagnols étaient dotés d'essieux innovants à écartement variable.

La RENFE (société d'exploitation des chemins de fer espagnols) et le gouvernement espagnol avaient longtemps envisagé de faire passer progressivement l'écartement des principales lignes au standard européen, mais cela aurait représenté des investissements colossaux et des gênes énormes en exploitation. Le succès du TGV en France les incita à choisir une autre voie: créer un nouveau réseau à grande vitesse à écartement standard. La logique eût été de commencer par une ligne reliant Madrid à la France, mais cela risquait de rester sans lendemain. Les responsables eurent alors l'idée de génie de profiter de la perspective de l'Exposition universelle de Séville pour commencer par cette ligne isolée Madrid-Séville, se doutant qu'ensuite il faudrait continuer vers la France et constituer une dorsale de réseau solide et attractive. Les Espagnols s'intéressèrent beaucoup au système français, et Sofrerail réalisa l'étude complète de la signalisation avec le système français TVM 300 de SNCF-CSEE-Transport pour le projet Madrid-Séville.

Mais l'industrie allemande, très bien introduite en Espagne avec un puissant lobbying, ne pouvait pas tout perdre, aussi la RENFE partagea le système en plusieurs contrats:

- pour Alstom, dont le train était jugé supérieur à l'ICE, 24 rames TGV identiques au TGV Atlantique, avec toutefois un pantographe pour caténaire allemande et des capteurs de signalisation de technologie allemande LZB, ainsi qu'un contrat de maintenance pour ces rames,
- pour l'industrie allemande, les installations fixes de la LGV, électrification et signalisation. En outre, Siemens obtint une commande de 75 locomotives pour le réseau existant.

Cette ligne fut mise en service en 1992, avec succès. Elle fut largement financée par l'Union européenne (à l'époque CEE), que l'Espagne avait rejointe en 1986. Par la suite, les sociétés espagnoles Talgo et CAF, ainsi que Siemens

---

5. Ndlr: voir dans le présent bulletin l'article « La saga des records de vitesse ».

pour Madrid-Barcelone, compléteront le parc des AVE (*Alta Velocidad Española*) pour les autres lignes construites progressivement. L'Espagne a ainsi développé un formidable réseau de lignes GV dépassant maintenant la longueur du réseau français, avec en particulier la mise en service en 2012 du tronçon manquant sur la liaison Madrid-France entre Barcelone et Figueras. Sofrerail avait d'ailleurs fait à la fin des années 1980 une étude complète d'avant-projet sommaire d'une LGV Barcelone-frontière française pour le compte des chemins de fer de Catalogne (FGC) avec le soutien de la Généralité de Catalogne, mais qui restera sans suite.

## Le TGV préféré par la Corée du Sud

La Corée du Sud était déjà au début des années 1980 un pays d'environ 40 millions d'habitants à forte densité de population, mais répartie inégalement en raison du relief. Le pays comporte des grandes villes sur la zone côtière (65 % de la population), principalement Séoul sa capitale, située au nord, qui avait besoin d'une liaison rapide avec le premier port, Pusan, deuxième ville du pays, située au sud-est et reliée par une ligne ferroviaire classique de 445 km. Si on ajoute le fait que la Corée du Sud connaissait un développement économique et technologique considérable, il était clair que cela représentait le premier objectif dans le monde pour créer un système ferroviaire à grande vitesse. Tous les industriels, japonais, allemands et français, en faisaient donc leur cible principale. Dès 1988, les délégations coréennes se sont succédées en France comme dans les deux autres pays, comme déjà dit précédemment, avec une grande soif de renseignements. Au cours de l'été 1989, l'état-major des KNR (*Korean National Railroad*) fit une tournée en Europe avec son « administrateur », personnage redouté, tout puissant patron et décideur

pour le projet. Il fut invité à bord d'un TGV Atlantique circulant avant la mise en service du tronçon Paris-Le Mans, avec une vitesse atteinte de 310 km/h « seulement », car la rame ne fonctionna en fait qu'avec 3 groupes moteurs sur 4, ce qui fut quand même une bonne démonstration des capacités du train !

Le TGV Atlantique a connu des difficultés de mise au point avant sa mise en service officielle en septembre 1989, à cause d'une informatique de bord très innovante. A ce sujet, une anecdote : j'y ai accompagné un jour le Premier ministre australien, Bob Hawke, en vue du projet VFT Sydney-Canberra-Melbourne, pour lui montrer qu'on pouvait rouler à 350 km/h sans difficulté... ce que nous avons fait, donc objectif atteint ! Mais ensuite, nous sommes tombés en panne en rase campagne ! Au bout de 20 minutes qui nous sont parues très longues, nous sommes rentrés à Paris avec seulement la moitié de la motorisation, mais à 220 km/h, ce qui m'a permis de lui dire que même ainsi nous roulions plus vite que tout train australien. Nous avons sauvé la face...

Du 16 au 20 octobre 1989 eut donc lieu le séminaire international GVF à Séoul, dont j'ai déjà parlé. En 1989 et 1990, plusieurs missions et études de l'industrie et de Sofrerail/SNCF furent menées sur financements français d'aide à l'exportation, en particulier une étude de Sofrerail montrant que le TGV, malgré sa capacité plus réduite que celle des trains japonais au gabarit plus large, pouvait faire face au fort trafic envisagé.

En 1990, les KNR prirent même en détachement via Sofrerail un ingénieur de la SNCF, brillant spécialiste de l'exploitation ferroviaire, Jacques Rabouel (X1972), qui leur apporta

une aide précieuse.<sup>6</sup> A noter aussi l'impact de missions comme celle de Serge Montagné (X1964), expert voie internationalement reconnu, dont les remarques faisaient trembler les responsables locaux.

En mai 1991, le client mit en place un bureau spécial, le KHSRC, avec un responsable pour le projet, M. Kim Jong Koo. Ils décidèrent de s'appuyer sur l'ingénierie américaine Bechtel comme *General consultant* pour les assister de manière indépendante, en vue de l'appel d'offres d'ensemble attendu pour la fourniture et la mise en œuvre du système complet ou *core system*, c'est-à-dire matériel roulant et installations fixes (voie, installations électriques d'alimentation, signalisation). L'appel d'offres fut lancé le 26 Août.

En décembre 1991, l'offre d'Alstom, avec le concours de Sofrerail et SNCF, fut remise aux KNR, en concurrence avec une offre japonaise et une offre allemande, pilotée par Siemens, proposant l'ICE avec l'aide de DE-Consult, filiale ingénierie export de la Deutsche Bahn, notre éternel concurrent. Sofrerail remit de son côté à Alstom une offre en janvier 1992 pour sa participation aux « Services associés », partie du contrat nécessitant une équipe importante sur place pour concevoir et réaliser le *core system*, et intégrer toutes les composantes industrielles de maintenance et d'exploitation.

S'ensuivit une période de questions et réponses, avec en particulier un questionnaire complémentaire très détaillé, envoyé en mai 1992. De décembre 1992 à juillet 1993, les Coréens et Bechtel envoyèrent encore à plusieurs reprises des questions techniques, mais surtout des demandes successives de réduction des prix. Alstom et Sofrerail/SNCF se concertèrent efficacement pour répondre, pas toujours positivement, même si la pression était forte. Les Coréens savaient souffler

le chaud et le froid, et nous faire croire que les Allemands étaient moins chers !

Enfin, le 20 août 1993, ils annoncèrent l'attribution du contrat à Alstom. Dans la foulée, une visite du président Mitterrand eut lieu en Septembre 1993 ; j'accompagnais la délégation qui comprenait Jacques Fournier, président de la SNCF, et Philippe Roumeguère, déjà nommé, et nous rencontrâmes dans ce cadre les dirigeants de KNR et de KHRC. Une visite officielle à ce niveau ne pouvait que contribuer à consolider notre position.

Malgré une dernière tentative des Allemands osant baisser à nouveau leur prix, le contrat de fourniture du *core system* fut signé le 14 juin 1994 pour 46 rames dont 12 construites en France. Les autres devaient être fabriquées sur place à travers un transfert de technologie très exigeant, incluant la maintenance du *core system* et la fabrication ultérieure de matériel roulant, toutefois sans droit d'exportation. L'installation de la signalisation, basée sur la TVM française, fut confiée à CSEE-Transport, dirigée par Georges Dubot (X1966).

En juillet 1994, Sofrerail signa son contrat avec Alstom pour les « Services associés ». Nous obtînmes aussi plusieurs contrats en 1995, en direct avec KNR et KHRC, pour les études de voie ferrée et d'infrastructure, en particulier pour les grands ouvrages d'art (très longs viaducs). Ces contrats importants seront prolongés en 1997 grâce à notre patron des études ouvrages d'art, Daniel Duthoit. Nous eûmes aussi avec un autre bureau d'études dépendant des KNR, le KRTC, des contrats pour la conception du dépôt d'entretien et pour l'organisation des travaux de voie.

Sofrerail s'étant unie à Sofretu au sein de SYSTRA, nous avons aussi été impliqués en 1996, cette fois dans la maîtrise d'ouvrage du projet en partenariat avec Bechtel.

---

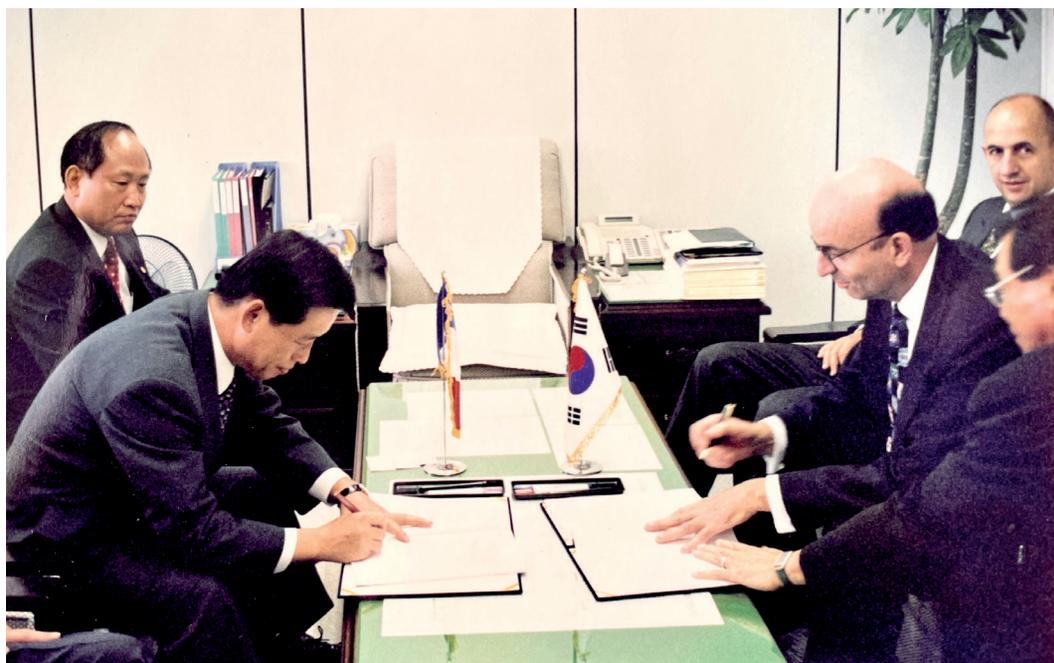
6. Il interrompit malheureusement sa mission suite à un infarctus pour lequel il fut remarquablement bien soigné, grâce à la grande qualité du système de santé coréens. Il réalisa par la suite d'autres missions à l'étranger.

En décembre 1999, la première rame a circulé à 213 km/h sur une voie d'essai. Les rames KTX, TGV adaptés au besoin coréen, furent mises en service sur le premier tronçon Séoul-Daegu le 1<sup>er</sup> avril 2004.

Entretemps, compte tenu des retards pris sur le deuxième tronçon Daegu-Pusan en raison de la présence de temples dispersés mais nombreux sur le corridor envisagé, j'avais signé en septembre 1999 un nouveau contrat pour le compte de SNCF International, avec un autre bureau du groupe KNR, le KRRI (*Korean Railroad Research Institute*). Conclu lors d'une visite avec le président Gallois pour les 100 ans des KNR, il s'agissait d'un contrat d'assistance à maîtrise d'ouvrage pour l'élec-

trification de la ligne existante Daegu-Pusan. Cela était nécessaire pour permettre aux KTX d'atteindre Pusan, en attendant l'ouverture complète de la ligne qui ne se fit qu'en novembre 2010. Les KTX-1, directement dérivés du TGV, et les KTX-2, seconde génération conçue entièrement localement, ont mis alors 2h18 contre 4h10 auparavant pour cette liaison de 409 km.

En conclusion, ce projet phare de la grande vitesse ferroviaire hors Europe, premier du genre, fut remporté par une équipe française « système » bien constituée et cohérente. Il n'y aura plus d'exemple équivalent de succès français.



*Pierre-Louis Rochet signant en présence de Louis Gallois le contrat d'assistance à maîtrise d'ouvrage.  
Septembre 1999. © Collection particulière*

## Les autres succès européens

Il convient de citer également les succès européens de notre matériel roulant national, lorsque le TGV a été retenu en concurrence avec d'autres trains européens.

Nos voisins belges avaient compris l'intérêt de se relier au réseau français GV qui se constituait, et ont entamé dès le début des années 1990 des études, avec une assistance initiale de Sofrerail à Transurb-Consult, son équivalent belge, filiale de l'exploitant SNCB<sup>7</sup>. Ceci les a conduits à réaliser un premier tronçon reliant la frontière française à Bruxelles, ouvert en 1997, après l'ouverture de la ligne LGV Nord Paris-Lille en 1993.

Et dès 1987, à la suite de la décision de réaliser le lien fixe Transmanche, la France, l'Angleterre et la Belgique ont clairement marqué leur intérêt commun pour un réseau de liens à grande vitesse, avec une réalisation progressive des tronçons, et la construction de trains aptes à circuler d'abord entre la France, l'Angleterre et la Belgique<sup>8</sup>, ce qui a conduit aux TMST Transmanche, connus commercialement sous le nom d'Eurostar (dont la mise au point fut compliquée par le gabarit anglais, les contraintes de sécurité du Tunnel, l'utilisation au départ d'alimentation par troisième rail en Angleterre, etc.). Dans le cadre du montage d'Eurostar, la SNCB fit l'acquisition de 4 rames, et Eurostar UK celle de 18 rames, dont 7 pour le trafic continuant vers le Nord de Londres.

Avec les réseaux ferroviaires de Belgique, des Pays-Bas et d'Allemagne, furent également

définies des spécifications communes, mais difficiles aussi à établir (alimentation électrique et signalisation différentes sur les parties des lignes existantes à emprunter) pour réaliser les trains « PBA » (Paris-Bruxelles-Amsterdam) et « PBKA » (Paris-Bruxelles-Köln-Amsterdam), plus connus sous l'appellation commerciale Thalys. Le train retenu fut basé sur le TGV français, après compétition avec une solution basée sur l'ICE allemand. Sur les 27 rames, 11 au total furent acquises par les 3 réseaux SNCB, DB (Allemagne) et NS (Pays-Bas)<sup>9</sup>. A noter que ces manques d'interopérabilité entre ces pays européens ont conduit à des surcoûts non négligeables et à des acrobaties techniques pour installer ces équipements sous les rames Thalys. Heureusement la SNCF, a réussi à convaincre TML, constructeur du Tunnel sous la Manche, et Eurotunnel, concessionnaire et futur exploitant, de renoncer à développer pour le Tunnel un nouveau système de signalisation « maison » innovant, ce qui aurait compliqué encore davantage les équipements des trains Transmanche. L'étude de l'adaptation de la signalisation TVM 430 française (développée pour la LGV Nord) pour ce lien fixe Transmanche a en conséquence été réalisée par Sofrerail. La description technique de ces trains complexes est développée par ailleurs par François Lacôte<sup>10</sup>.

Également en Europe, Alstom a vendu en Italie à NTV<sup>11</sup>, concurrent privé des opérateurs ferroviaires publics, 25 exemplaires de son train très innovant, l'AGV, livrés en 2011. Ce sont des rames articulées comme le TGV, à 11 voitures<sup>12</sup>. A noter qu'au début des années 1990, Sofrerail avait conclu un impor-

---

7. Ndlr: La Société nationale des chemins de fer belges (SNCB) est une entreprise de droit public, créée en 1926, responsable du transport ferroviaire de voyageurs en Belgique.

8. Ndlr: Sur ce sujet, voir également l'article de Jean-Pierre PRONOST dans le présent bulletin.

9. Ndlr: *Nederlandse Spoorwegen* (NS), en français « Chemins de fer néerlandais », est la principale entreprise ferroviaire des Pays-Bas dans le secteur du transport des voyageurs.

10. Ndlr: voir son article dans le présent bulletin.

11. Ndlr: *Nuovo Trasporto Viaggiatori* (NTV) est une entreprise ferroviaire privée italienne créée en décembre 2006.

12. Ndlr: Pour plus de détails sur ce sujet, voir l'article de François Lacôte dans le présent bulletin.

tant contrat avec Italferr, maître d'ouvrage de la GVF en Italie, pour un important transfert de savoir-faire en vue de la construction de leur réseau à grande vitesse (Rome-Naples et Florence-Bologne-Milan).

On peut mentionner aussi l'achat par les CFF (Suisse)<sup>13</sup> de 2 rames TGV adaptées pour la desserte franco-suisse dans le cadre de LYRIA.

Et enfin, plus récemment, proche de l'Europe, le Maroc, avec une aide financière significative de la France, a réalisé une liaison GVF entre Tanger et Kenitra, ville un peu au Nord de Rabat, en achetant en décembre 2010 14 rames TGV Duplex à Alstom, avec un important engagement du groupe SNCF (Systra et SNCF International) pour la réalisation et la mise en exploitation. Ce TGV, *Al Boraq*, est en service depuis 2019 pour la desserte Tanger-Rabat-Casablanca, et donne toute satisfaction.

## Les réussites non confirmées

Nous avons remporté d'autres succès en concurrence internationale en dehors de l'Europe, mais sans que cela se concrétise par une vente du TGV.

### *La grande vitesse à Taïwan*

Ce pays présente des similitudes avec la Corée du Sud : population concentrée sur la côte Ouest, sur une bande de 50 km de large, avec 3 grandes villes, Taipei au nord, la capitale (3,5 millions d'habitants en 1991), Taichung (1,5 million) et Kaohsiung au sud (2 millions). Le développement économique de l'île justifiait donc une liaison à grande vitesse sur une distance de 350 km environ. Dès les années 1970, l'idée de relier Taipei à Kaohsiung par une liaison rapide ferroviaire selon l'exemple japonais était lancée. A la fin des années 1980, une étude de préféabilité

en partie réalisée par des ingénieries allemandes en confirma l'intérêt.

Le gouvernement taïwanais avait mis en place un bureau, le POHSR (*Provisional Office of High Speed Railway*), sous la direction du général Tong, homme fort du système, qui, après le séminaire de novembre 1989 déjà mentionné, lança en 1990 un appel d'offres pour un « *conceptual design* » (études de type APS). Sofrerail se présenta en groupe avec ses filiales nord-américaines RTS (USA) et Canarail (Canada), et une ingénierie locale, afin d'afficher une image internationale. L'objectif était de répondre aux doutes de certains dirigeants du POHSR, qui craignaient une approche trop « franco-française », encouragés en cela par nos concurrents. Cela nous permit de proposer dans l'équipe de direction du projet deux experts nord-américains reconnus, l'un en management de projet et l'autre en expérience de projets de grande vitesse ferroviaire.

Notre groupement, face aux concurrents allemands donnés favoris, et japonais, très actifs et présents, remporta le contrat, un peu à la surprise générale. Pourtant, nous avions connu la défection de notre sponsor local 4 mois avant l'appel d'offres. Cela nous avait conduit à dépêcher sur place en urgence un de nos ingénieurs de Sofrerail pour affirmer notre présence, rechercher les informations et exercer un lobbying auprès du client. Sans cela, nous aurions été « aveugles » et insuffisamment connus. Les études se déroulèrent en 1991 et 1992, celles de Sofrerail étant supervisées pour le compte de POHSR (habile tactique !) par deux équipes, l'une allemande de DE-Consult, l'autre japonaise de JARTS, qui ont souvent posé d'excellentes questions remettant en cause les « certitudes françaises ». Ensuite, le gouvernement prit un temps de réflexion pour étudier suffisamment les montages institutionnels et financiers possibles. Finalement, un appel d'offres fut lancé fin 1992 pour une réalisation « clés

---

13. Ndlr: Créés en 1902, les Chemins de fer fédéraux suisses (CFF) sont la principale compagnie ferroviaire de Suisse.

en main » en formule BOT (*Build, Operate, Transfer*) pour l'ensemble des infrastructures et du *core system*.

Face aux Japonais, clairement les mieux placés, les industriels allemands et français décidèrent de s'associer dans le cadre d'une offre du consortium THSRC, constitué par 5 entreprises taiwanaises majeures, en proposant un train « franco-allemand », l'Eurotrain, formé par les locomotives Siemens de l'ICE encadrant des voitures Duplex d'Alstom. Ce consortium fut vainqueur et signa un accord avec le gouvernement en juillet 1998.

Malheureusement, à la suite de pressions politiques japonaises ou peut être du refus des industriels européens de s'engager financièrement dans le capital du consortium, le THSRC rompit l'accord et lança un appel d'offres pour la fourniture du seul *core system*. Alors, la SNCF et la DB, avec leurs filiales Sofrerail et DE-Consult, s'engagèrent aux côtés des industriels, allant même jusqu'à proposer un partenariat. J'ai accompagné en septembre 1999 le président Gallois qui remit à M<sup>me</sup> Nita Ing, directrice du projet au THSRC, une lettre par laquelle la SNCF s'engageait à devenir partenaire avec investissement financier dans le capital du consortium, en cas de choix du train européen. Mais ce fut finalement le système japonais qui fut sélectionné, avec un prix très attractif. Le train choisi fut donc le Shinkansen 700, pour une vitesse de 300 km/h.

L'ingénierie française (Sofrerail, puis Systra) et l'exploitant français (SNCF International) furent quand même retenus afin d'assister le THSRC pour la mise au point du système et la préparation de l'exploitation: nous avons même assuré la formation des conducteurs par nos conducteurs de TGV. Enfin, les industriels européens ont tout de même obtenu, après un long contentieux et un arbitrage international, une compensation financière du THSRC pour rupture d'accord.

### ***Le triangle du Texas et le couloir Miami-Orlando***

Il y eut aux USA d'autres exemples de succès du TGV en situation de concurrence, dont aucun ne fut malheureusement concrétisé. L'action industrielle était menée par un groupement piloté par Bombardier avec Alstom.

Au Texas, en 1988-89, une étude confiée par la *Texas Turnpike Authority* à l'ingénierie américaine Morrison-Knudsen rendit une conclusion favorable au projet du triangle Dallas-Houston-San Antonio. Un appel d'offres fut lancé en septembre pour une réalisation en DBFOM (*Design, Build, Finance, Operate, Maintain*). À l'issue d'une compétition très dure entre deux projets, l'un basé sur l'ICE allemand et l'autre, piloté par Morrison Knudsen, sur le TGV français, ce dernier l'emporta en mai 1991.

Je me souviens des séances de *public hearings* à Austin, où les opposants venaient énoncer leurs griefs à la barre comme devant un tribunal. J'ai même dû consoler une vieille dame qui pleurait, car elle pensait que « le TGV allait détruire son église », alors qu'on en était encore à l'étude du tracé dans un corridor de 5 à 10 km de large. On entendit: « Le TGV va amener la drogue dans nos écoles ». Certains arguments venaient de fermiers, avec des phrases du genre « avec le TGV, nos vaches n'auront plus de lait ». Aussi Bombardier organisa-t-il plusieurs voyages de fermiers texans en France, que nous avons amenés chez des fermiers « amis » le long de la LGV Atlantique, où on écoutait passer les trains sans que les vaches ne manifestent quoi que ce soit. Et comme il faut toujours aux USA démarrer avec une *joke*, je commençais en leur expliquant qu'avec le premier TGV, nous avons eu des problèmes avec les vaches dans le Charolais, ce qui leur faisait dresser une oreille attentive. Et je continuais en expliquant qu'en France, les vaches ont toujours adoré regarder passer les trains, et donc qu'au début elles avaient eu des torticolis!

SNCF et Sofrerail, avec sa filiale américaine RTS, se déclarèrent prêts à s'engager financièrement dans le capital du concessionnaire, de même qu'Alstom et Bombardier.

Le 31 janvier 1992, le consortium Texas TGV, mené par Morrison Knudsen avec Bombardier, Alstom, un financier texan et l'appui de Sofrerail/SNCF, signa un acte de concession. Le coût était de 5,6 milliards de dollars pour une mise en service en 2000. Les études commencèrent. Sofrerail signa même un *Memo-randum of Understanding* qui l'impliquait fortement dans la préparation du système et sa future exploitation.

Mais dans un contexte d'opposition forte de la compagnie Southwest Airlines, avec la décision finale de l'État du Texas de ne pas apporter d'argent public, ce qui empêchait alors tout soutien financier fédéral, contrairement à ce qui était espéré au départ, il apparut assez vite que le montage financier ne tiendrait pas, et le projet s'arrêta en 1994.

Un autre grand projet aux USA fut proche également de voir le jour: la Floride pensait déjà à un projet de GV au début des années 1980, entre Miami, Tampa et Orlando, sur 510 km, ce qui constitue un corridor approprié. Cet État avait été largement prospecté à l'époque par Alstom et Sofrerail/SNCF, mais sans suite sérieuse. Le projet fut relancé en 1996, avec la signature d'une concession par un consortium composé de Fluor Daniel (importante ingénierie américaine), Bombardier et Alstom. Systra réalisa en 1997 une étude de trafic qui consolida les prévisions. Le projet était crédible avec un engagement financier de l'État de Floride de 70 millions de dollars par an pendant 35 ans, ce qui permettait d'obtenir en complément des aides financières fédérales s'élevant à 300 millions de dollars sur la période 2000-2006. Ce projet avait de plus été approuvé par référendum. Les études se déroulèrent normale-

ment, et SNCF International prépara en 1998 un accord pour monter la société d'exploitation avec la participation d'Egis Projects<sup>14</sup>. Mais l'élection d'un nouveau gouverneur, Jeb Bush, fin 1998, changea la donne: en janvier 1999, celui-ci remit en cause le financement de l'État, préférant affecter les fonds à des projets de construction immobilière moins risqués, et il mit fin au projet.

Malgré les tentatives de l'administration de Barack Obama, qui affecta des fonds fédéraux en 2010 pour des projets nombreux mais dispersés, aucun grand projet de système à grande vitesse n'a vu le jour aux USA, bien que le TGV français ait été sélectionné par deux fois suite à un appel d'offres. Il faut souligner l'action de Denis Douté (X1976), ingénieur SNCF que j'avais mis en place en 1989 dans notre filiale américaine pour promouvoir le TGV et suivre tous les projets: il est malheureusement décédé en Californie il y a quelques années, après s'être énormément passionné et impliqué dans ce domaine.

Je pense personnellement que la réussite de tels projets est très difficile dans les pays à structure fédérale, comme les USA, le Canada, le Brésil et l'Australie. En effet, il faut une volonté politique commune sur longue période (au moins 10/12 ans) entre le gouvernement fédéral et l'État concerné pour investir de l'argent public dans de tels projets, ou tout au moins pour accorder des facilités fiscales. Dans ce type de pays, le jeu des élections ne permet pas cette continuité consensuelle (c'est encore pire si plusieurs États sont concernés). Avec l'approche d'Obama, qui apportait 10 milliards de dollars en fonds fédéraux, les États devaient contribuer à hauteur de 20 % de ces fonds. Cet engagement très fort du niveau fédéral, s'est surtout traduit par des améliorations ponctuelles de lignes (*incremental approach*), et uniquement par le début de construction d'un tron-

---

14. Ndlr : filiale du groupe Egis, entreprise d'ingénierie française présente dans les secteurs de l'aménagement, des infrastructures de transport, d'eau et du secteur de l'environnement, ainsi que dans l'exploitation routière et aéroportuaire.

çon de LGV de 210 km en Californie. Situé dans la partie centrale du corridor, facile topographiquement, mais allant de Anaheim à Merced, c'est à dire « de nulle part à nulle part », l'effet de démonstration était limité ! Nous avons pourtant reçu plusieurs délégations californiennes, dont l'une avec le gouverneur Pete Wilson, que j'avais emmené en cabine de TGV Atlantique.<sup>15</sup> Récemment, la *California High Speed Authority* a chiffré à 100 milliards de dollars le coût total d'un projet de bout en bout de San Francisco à Los Angeles, ce qui le compromet sérieusement ! Une circulation de trains à grande vitesse, non encore commandés, est cependant envisagée pour la fin des années 2020, sur ces 210 km et sur les lignes existantes encadrantes.

A noter toutefois qu'Alstom et Bombardier ont fourni en 1996 un train pendulaire, l'Acela, avec pendulation Bombardier, sur le « corridor Nord-Est », entre Washington, New York et Boston (735 km). Ce n'est pas une ligne nouvelle à grande vitesse, mais une ligne améliorée sur certaines sections (la vitesse de 240 km/h est pratiquée sur 54 km). Historiquement, il faut noter que cette ligne avait été parcourue par des turbotrains français RTG exploités par Amtrak de 1972 à 1982. En tout cas, le succès de ce service, avec un train aux allures de faux TGV et une vitesse moyenne peu brillante (113 km/h), a bien montré que la réponse de la clientèle était positive. Pour faire face au développement attendu du trafic sur ce corridor, Alstom a vendu en août 2016 à Amtrak 28 exemplaires d'un très beau train de nouvelle génération, l'Avelia *Liberty*, avec motrices du type « TGV du futur », articulé, avec 9 à 12 voitures pouvant penduler, qui entrera en service en 2022.

## Autres projets sans succès de réalisation

Je ne ferai que citer les projets auxquels nous avons cru et où nous avons été actifs, comme le corridor canadien Québec-Montréal-Ottawa-Toronto-Windsor ou celui de Calgary-Edmonton, le VFT en Australie déjà nommé et le projet *Speedrail* limité à Sydney-Canberra en 1996, le projet russe Moscou-Saint-Petersbourg où Sofreraïl a été le seul actionnaire étranger de la société par actions RAO-VSM mise en place en 1990 pour le réaliser, la liaison Delhi-Agra-Kanpur en Inde, le grand projet brésilien Rio-Sao Paulo-Campinhas. J'étais dans une société privée, impliquée dans l'offre française pour le grand projet de la desserte des Lieux saints en Arabie saoudite, en 2011, mais cette offre n'a pas gagné pour les raisons évoquées plus haut.

## La Chine

Je n'ai pas encore mentionné la Chine, le plus grand pays de la grande vitesse aujourd'hui. J'y ai été actif dans les années 1980 et même encore en 2006, pour un groupe d'ingénierie européen sur la LGV Wuhan-Guangzhou, car Alstom n'y a pas vendu de TGV. A un certain moment, les Chinois souhaitaient acquérir l'AGV, mais ils étaient trop exigeants au niveau du transfert de technologie, refusant à Alstom d'avoir 51 % dans la *joint-venture* industrielle à monter, ce qui ne fut pas accepté côté français. Par contre, Siemens avec le Velaro, les Japonais avec le Shinkansen, Bombardier avec le Zefiro<sup>16</sup>, ont accepté les conditions des Chinois. Ils ont vendu quelques trains, puis quelques équipements (par exemple, pour Siemens, 60 rames vendues dont 12 fabriquées en Allemagne, 48 en kits montés sur place, puis 20 % d'équipe-

15. Lors d'un dîner avec une autre délégation californienne, j'ai eu aussi l'occasion de leur apprendre le nom d'origine de Los Angeles, qu'ils ignoraient tous (*El Pueblo de Nuestra Señora de Los Angeles del Río de la Porciuncula*, que j'avais trouvé dans le regretté Quid).

16. Qui n'existait alors que sur le papier, mais fut développé à cette occasion.

ments pour une commande ultérieure, puis rien pour les trains suivants, entièrement sinisés). Aujourd'hui, tous les trains sont conçus et fabriqués intégralement en Chine. Alstom y a quand même vendu un train dérivé du *Pendolino*, sur la base des rames vendues en Finlande, non pendulaires, à gabarit plus large et adaptées pour le grand froid. Calibrées pour rouler à 200 km/h, elles ont été poussées par les chinois à 250 km/h, et sont utilisées sur les lignes du Nord de la Chine.

La Chine est un cas très démonstratif de l'effet nuisible qu'eut pour l'industrie européenne la concurrence absurde que se livrèrent sur ce marché difficile, mais potentiellement énorme, les industriels français et allemands (Alstom, Siemens, mais aussi Bombardier Transport dont la division ferroviaire est surtout allemande).

La Chine a aujourd'hui un réseau qui atteindra bientôt 40 000 km de lignes nouvelles, dont 8 000 km de tronçons parcourus à plus de 250 km/h. Environ 3 000 rames capables de vitesses supérieures à 250 km/h y circulent, dont les dernières générations, entièrement de conception chinoise, inspirées du matériel japonais, portant les beaux noms de « Harmonie » et « Renaissance ». Il subsiste toutefois une fabrication de trains inspirés

des *Frecciarossa* italiens par une *joint-venture* entre Bombardier et CRCC, constructeur chinois devenu de très loin le numéro un mondial de l'industrie ferroviaire.

En comparaison, l'Espagne compte 3 300 km de LGV avec environ 200 rames, le Japon environ 3 000 km avec 400 rames, et la France 2 700 km où circulent 410 rames TGV.

Aujourd'hui, en plus de l'Allemagne et du Japon, plusieurs pays comme la Corée du Sud, la Chine, l'Espagne et l'Italie, ont des industries qui ont conçu et fabriquent des trains à grande vitesse, capables de rouler à 300/330 km/h en vitesse commerciale. On peut donc considérer que l'âge d'or pour la vente de notre TGV français sur le marché international était la période des décennies 1980/1990. J'ai personnellement vécu passionnément cette aventure, avec une équipe compétente et enthousiaste qui gardait bien en tête deux principes de base : comprendre (le client et le contexte local) et adapter (ses méthodes et le système), et ce, avec les services SNCF concernés, également très motivés, dans un contexte exaltant de promotion d'un système d'excellence de l'industrie française.

# L'horizon états-unien du TGV : l'échec tient-il à la sociologie des acteurs et à l'essence de l'objet ?

*Arnaud Passalacqua (X1998)*

---

Le TGV<sup>1</sup> a fait l'objet de bien des travaux depuis sa mise en service commerciale en 1981. Son histoire est déjà documentée sur de nombreux aspects, en particulier sur le projet qui a conduit au lancement de la première ligne à grande vitesse ferroviaire française<sup>2</sup>. Il est pourtant un aspect de ce système qui n'a encore que très peu suscité l'intérêt de la recherche : sa politique d'exportation<sup>3</sup>. Ce volet n'est pourtant pas anodin dans ce qu'a représenté et ce que représente encore aujourd'hui le TGV. Qu'elle se soit incarnée par le prolongement du réseau français au-delà des frontières nationales, comme pour le Thalys, ou par l'implantation de systèmes exportés à l'étranger, comme pour le KTX coréen, une dynamique interna-

tionale a effectivement accompagné l'essor du TGV, parallèlement à son développement en France.

Malheureusement cette dynamique n'a pas toujours été couronnée de succès, que ce soit du fait de la concurrence d'autres compétiteurs ou de l'inadaptation du système déployé en France à certains contextes étrangers. Dans cette histoire, un cas particulier retient l'attention : celui des États-Unis. En consultant les archives du début des années 1980 et en suivant les actions alors entreprises par les promoteurs de différentes solutions de grande vitesse ferroviaire, ce pays émerge comme le lieu principal de toutes les espérances.

---

1. Turbotrain à grande vitesse puis Train à grande vitesse.

2. Voir Fourniau (J.-. M.), *La Genèse des grandes vitesses à la SNCF : de l'innovation à la décision du TGV sud-est*, Paris, INRETS, 1988, Beltran (A.) et Picard (J.-F.), « D'où viens-tu TGV ? Témoignages sur les origines des trains à grande vitesse français », *Revue générale des chemins de fer*, 1994, p. 1-90, « Les très grandes vitesses ferroviaires en France », *Revue d'histoire des chemins de fer*, n° 12-13, 1995, Meunier (J.), *On the Fast Track. French Railway Modernisation and the Origin of the TGV, 1944-1983*, Westport, Praeger, 2002 et François Caron, *Histoire des chemins de fer en France 1937-1997*, Paris, Fayard, 2017, p. 343-351.

3. Ce travail s'appuie sur une recherche plus poussée sur cette question : Passalacqua (A.), *Ce que porte le transport (xix<sup>e</sup>-xx<sup>e</sup> siècles). Une illusion au pays du rêve : le TGV et la Floride (années 1980)*, habilitation à diriger des recherches en histoire, Université Paris Est, 2019. Les sources mobilisées ici sont issues des Archives nationales (AN) et des Archives de la SNCF (ASNCF).

Trois raisons, au moins, expliquent cette position. D'une part, les États-Unis sont à l'époque la grande référence dans un monde encore marqué par la guerre froide, et les grandes vitesses ferroviaires étaient alors une spécificité du camp occidental. D'autre part, le choc pétrolier de 1979 conduit ce pays à une véritable introspection sur ses fragilités énergétiques, en particulier dans le domaine du transport automobile et aérien. S'y développe donc un intérêt pour des solutions ferroviaires, qui pourraient s'adapter aux contextes variés de ce vaste pays aux territoires hétérogènes. Enfin, l'industrie ferroviaire états-unienne a nettement régressé depuis l'époque faste qu'elle a connue entre la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et le milieu du XX<sup>e</sup> siècle, si bien que les compétiteurs internationaux peuvent envisager de s'implanter aux États-Unis sans souffrir d'une concurrence locale capable de rivaliser avec eux sur ce marché de pointe.

Depuis 30 à 40 ans, pourtant, si les projets se sont multipliés, très peu ont vu le jour et aucun n'a correspondu véritablement à ce que les acteurs européens et japonais des années 1980 envisageaient : exporter une solution ferroviaire, certes adaptée, mais plus ou moins complète. La grande vitesse – au sens de l'UIC<sup>4</sup> – n'existe toujours pas aux États-Unis. Des formes de vitesse accélérée ont vu le jour, sur le NEC<sup>5</sup> et en Floride, mais elles font pâle figure à côté des trains qui circulent dans plusieurs pays, en Europe et au Japon, mais aussi maintenant en Chine, dernière arrivée sur ce marché mais déjà pays le plus largement équipé. Les projets californiens se heurtent encore à bien des difficultés, tandis que les éventuelles formes de l'Hyperloop sont régulièrement annoncées comme devant démoder les solutions ferroviaires, dans une sorte de fuite en avant des projets, sinon des réalisations.



Projets de LGV envisagées aux États-Unis en 1981<sup>6</sup>

4. Union internationale des chemins de fer.

5. *Northeast Corridor* entre Boston et Washington.

6. Carte établie par l'auteur à partir du document : *Case Studies in Private/Public Cooperation to Revitalize America: I. Passenger Rail. Report of the Joint Economic Committee, November, 3, 1981, Washington, US Congress Printing Office, 1981.*

La question se pose donc de comprendre pourquoi le territoire des États-Unis, si prometteur, s'est avéré aussi décevant. Plusieurs facteurs peuvent être évoqués pour comprendre cet échec : spécificité du territoire états-unien, fonctionnement politique, atomisation entre États fédérés, mécanismes fédéraux, protectionnisme, absence de subventions publiques et de fiscalité avantageuse pour ces projets, paysage modal ayant marginalisé le train, focalisation privilégiée sur le fret ferroviaire, forme urbaine très diffuse, réglementations de sécurité contraignantes... Ces différents éléments méritent une attention particulière qui dépasserait le cadre de cet article.

Pour éclairer cette histoire, nous avons choisi ici de focaliser l'analyse sur des limites non pas intrinsèques au contexte états-unien mais plutôt liées au processus d'exportation lui-même. D'une part, nous suivons les hommes et les quelques femmes ayant œuvré dans ce domaine en cherchant à comprendre dans quelle mesure des décalages sociologiques, entraînant derrière eux des décalages structurels, peuvent expliquer l'impasse de l'exportation du TGV aux États-Unis. Revenant ensuite sur l'objet lui-même, nous verrons comment le processus d'américanisation de cette solution ferroviaire s'est avéré impossible à mener, du fait de rigidités intrinsèques au TGV pas toujours explicitées. Ce faisant, nous ne pouvons proposer une explication complète des phénomènes à l'œuvre, mais espérons porter sur eux un regard original et peut-être moins attendu que les facteurs cités précédemment.

## **Le TGV, comme lieu de rencontre avec l'inconnu et des inconnus**

Le milieu de l'exportation du TGV, un processus qui démarre avant même son inauguration en septembre 1981, est formé d'exportateurs français et de décideurs états-uniens, à l'échelon fédéral et surtout à l'échelle locale de plusieurs États potentiellement intéressés (Floride, Californie, Ohio, Texas...). Nous explorons ici ce milieu social, aux caractéristiques fort différentes des deux côtés de l'Atlantique. Pour plonger dans ce monde, nous suivons d'abord la politique de visites en France de représentants états-uniens qui a battu son plein en 1983-1984<sup>7</sup>. Ces voyages ont permis des rencontres entre États-Uniens et Français dont l'objectif était aussi de trouver une base de discussion commune qui puisse être favorable au TGV. Sur ce point, les profils sociologiques des participants n'ont pas facilité la tâche, ce que nous analyserons ensuite, avant de montrer que derrière ces profils se trouvaient des structures, elles aussi peu compatibles.

### *Une semaine autour du TGV en mai-juin 1983*

Au printemps 1983, une délégation d'élus états-uniens est conviée à une visite en France autour du TGV. Accompagnés du patron d'Amtrak, ils sont membres du groupe parlementaire franco-états-unien constitué sur la question au début de l'année. Le programme se veut luxueux<sup>8</sup> :

- › vendredi 27 mai : arrivée en Concorde,
- › samedi 28 mai : visite de Versailles,
- › dimanche 29 mai : journée libre suivie de présentations sur le TGV et d'un dîner en haut de la Tour Montparnasse offert par la SNCF<sup>9</sup>,
- › lundi 30 mai : trajet en TGV Paris – Le Creusot, déjeuner offert par Creusot-Loire, puis visite du château Schneider et des ateliers de fabrication des bogies du TGV, puis retour à Paris en TGV avant une visite du musée Carnavalet suivie d'un dîner offert par la SNCF,

7. Nous en avons dénombré 36 entre novembre 1981 et septembre 1985.

8. « Voyage TGV du 30 mai 1983. Liste des participants », *ca.* mai 1983 (AN, 19950585/27).

9. Société nationale des chemins de fer français.

- mardi 31 mai: trajet en TGV Paris – Lyon conduit par Jacques Ruiz, conducteur du TGV lors du record du monde de 1981, avec passage en cabine de conduite, puis visite de la gare de Perrache et du métro lyonnais, avant une réception à l'hôtel de ville de Lyon, suivie d'un dîner chez Paul Bocuse,
- mercredi 1<sup>er</sup> juin: survol de la LGV<sup>10</sup> entre Lyon et Le Creusot, puis atterrissage à Belfort, visite des ateliers d'Alsthom, suivie d'une réception à l'hôtel de ville de Belfort, puis départ en TurboTRAIN vers Beaune, suivi d'un dîner à la Cuverie des ducs de Bourgogne, en compagnie du secrétaire d'État Roland Carraz,
- jeudi 2 juin: visite en autocar de l'environnement de la LGV, puis retour à Paris en TGV, réunion de travail, avant un cocktail à Matignon en présence de Pierre Mauroy, avant un dîner officiel à l'hôtel George V, présidé par deux ministres, Edith Cresson et Charles Fiterman,
- vendredi 3 juin: retour en Concorde.

Ces élus consacrent donc une semaine complète à la découverte du système du TGV au cours d'un programme qui est assez décalé et dont le calage s'est accordé sur le monde aérien: les parlementaires voulaient aussi assister au salon du Bourget, qui voit la présentation de la navette spatiale *Enterprise* posée sur le dos d'un Boeing 747, ce qui met tout particulièrement en lumière les États-Unis, en cette année du bicentenaire du Traité de Paris, qui a entériné l'indépendance de l'ancienne colonie britannique.

Marqué par des enjeux symboliques et mémoriels, le programme est aussi le signe d'une surenchère au vu de la nécessité dans laquelle se trouvent les équipes françaises de promotion du TGV de répondre à une visite

effectuée par plusieurs de ces parlementaires au Japon en juillet 1982, autour du Shinkansen. La France le fait en suivant une ligne souvent associée au Japon: allier tradition et modernité.

### *Vivre et ressentir le TGV comme produit du terroir*

Quelques jours avant ce déplacement, l'ambassadeur de France à Washington, Bernard Vernier-Palliez, fait remonter une note rappelant que, pour les États-Uniens, la France, est avant toute chose le « **pays de la qualité de la vie**<sup>11</sup> », un domaine d'ailleurs ministériel sous le mandat de Valéry Giscard d'Estaing<sup>12</sup>. Cette remarque invitait à trouver une cohérence avec une vision moderne – pompidolienne – d'une France assumant plus nettement son virage industriel. Le passage chez Paul Bocuse fut le signe principal de cette synthèse entre tradition et modernité: promoteur d'une rénovation de la cuisine fondée sur les bases traditionnelles des mères lyonnaises, il a aussi été missionné pour revoir la carte des 1<sup>res</sup> classes d'Air France dans les années 1970, avant de se lancer dans l'ouverture d'établissement à l'étranger, notamment aux États-Unis.

Ce qui entoure les visites techniques directement liées au TGV vient donc conférer à l'objet à exporter une connotation spécifique, choisie par les organisateurs. Ce faisant, ils accentuaient son ancrage dans un cadre référentiel fortement marqué par les caractéristiques françaises, au détriment de ce qu'il aurait de plus international. À Beaune comme à Collonges-au-Mont-d'Or, ils s'adressent aux sensations des visiteurs, bien nourris et bien traités, même si bien sûr cette incarnation ne passe pas que par la bonne chère. Le séjour est en effet l'occasion pour les visiteurs de

10. Ligne à grande vitesse.

11. « Image de la France dans la presse américaine. Bilan de deux années à la veille du sommet de Williamsburg », ambassade de France à Washington, 12 mai 1983 (AN, 19870101/4).

12. Ndlr: Le premier gouvernement sous sa présidence, présenté en mai 1974, comprend un ministère de la Qualité de la vie regroupant tourisme, jeunesse, sports et environnement.

ressentir concrètement ce que représente la grande vitesse ferroviaire. C'est là le point crucial, d'autant que certains États-Uniens sont peu habitués à prendre le train, voire « [n'ont] jamais pris le train avant de monter sur le TGV<sup>13</sup> » ou ont découvert le train au Japon lors d'une visite du Shinkansen.

En se focalisant sur le ressenti du parcours à grande vitesse, la visite contribue à résumer la vision du système au matériel roulant. C'est pourquoi d'autres actions de marketing tentent en complément d'inscrire ces rames dans leur contexte: visite de l'infrastructure, discussion des enjeux de bruit, mobilisation des références du terroir français... Mais ce grand jeu n'est déployé que pour les visites de longue durée, réalisées par des délégations importantes. D'autres visites, individuelles ou en groupe plus restreint, ne peuvent offrir cette vision systémique de l'objet.

Au final, on peut s'interroger sur ces visites et sur ce que les visiteurs viennent y observer ou y vivre. Ils perçoivent le TGV dans un contexte bien différent de celui des États-Unis sur de nombreux de plans, et peuvent vivre, en tant que voyageurs, une expérience de la grande vitesse ferroviaire qui demeure pourtant en partie biaisée par une reproduction seulement approximative de ce que pourrait être un voyage en train à grande vitesse aux États-Unis, où les normes ferroviaires différentes imposeraient une évolution du matériel.

### ***Quand énarques et polytechniciens rencontrent avocats et entrepreneurs***

Au-delà des images, des documents et des chiffres, l'exportation du TGV est donc avant tout l'affaire d'individus qui, de part et d'autre de l'Atlantique, négocient autour d'un possible projet. Deux communautés, elles-mêmes divisées au moins entre les techniciens et les élus, voire entre les responsables locaux et fédéraux aux États-Unis, se ren-

contrent autour d'un objet, concret pour les Français, encore virtuel pour les États-Uniens.

Un regard plus précis porté sur le profil de ceux qui constituent ces communautés permet d'éclairer sous un angle différent la façon dont les objets et enjeux sont conçus et discutés. Les élus, d'abord, forment un tissu qui se renouvelle assez rapidement sur un dossier dans lequel ils tiennent un rôle relativement faible. Toutefois, l'analyse de leurs profils professionnels révèle déjà des fractures entre les deux rives de l'Atlantique, comme l'illustre la composition du comité parlementaire franco-états-unien sur la grande vitesse, formé en 1983.

Côté français, la prédominance va aux classes moyennes, avec une différence marquée entre les députés, très souvent enseignants, et les sénateurs, plutôt cadres moyens d'entreprises ou du public. Au contraire, côté états-unien, les deux professions dominantes sont celles d'entrepreneur et d'avocat d'affaires. Les deux professions sont courantes dans la sociologie politique du pays, aussi bien pour des raisons de financement des campagnes, d'affirmation de l'image du *self made man* que de compétences juridiques spécifiques requises pour l'élaboration des textes législatifs. Signe du décalage entre les deux groupes d'élus, le seul avocat côté français, Raymond Forni, a commencé sa carrière comme ouvrier chez Peugeot avant de reprendre des études de droit et de devenir un avocat, qui s'est fondé une petite notoriété grâce à ses plaidoiries consacrées à des cas de société, ce qui est loin du droit des affaires.

L'absence d'une culture commune – autre que celle de la pratique de la politique – laisse supposer que le dialogue au niveau des élus se centre sur la dynamique de projet politique que revêt la grande vitesse ferroviaire. Mais ce point est justement l'un des plus sensibles

---

13. « Réunion de la *Florida High Speed Rail Commission* », consulat général de France à Miami, 14 juin 1985 (ASNCF, 123LM503).

dans le processus de traduction du TGV aux États-Unis, dans la mesure où les cadres politiques diffèrent profondément entre les deux pays : ce qu'est un projet et ce qu'est le rôle des élus n'y prennent pas le même sens. Ce n'est donc pas sur le point le plus favorable que les élus peuvent fonder leur dialogue.

En revanche, à l'exception de la figure de Charles Fiterman, icône des ministres communistes qui rentrent au gouvernement en 1981, qui suscite l'ire du très reaganien ambassadeur des États-Unis à Paris, Evan Griffith Galbraith, les positions politiques ne semblent pas marquer outre mesure un débat qui se déplace finalement vite vers les milieux techniques. Mais ces sphères sont justement marquées par des différences culturelles peut-être encore plus fortes que les sphères politiques.

Deux profils principaux ressortent au sein des techniciens français. Premièrement, les polytechniciens qui dominent quantitativement le monde des ingénieurs mobilisés autour de l'exportation du TGV aux États-Unis. Ce ne sont pas les logiques de promotion ni même fondamentalement de corps qui jouent ici, puisque les principaux d'entre eux sont de promotions et de corps différents, mais juste une proximité de formation : Marcel Tessier (1939), Paul Gentil (1942), Jean Dupuy (1948), Jean-Pierre Desgeorges (1951), Jean-Philippe Bernard (1952), Michel Walrave (1954), Pierre Perrod (1957), Nicolas Durieux (1962), Samir Naessany (1967), Sébastien Thiriez (1977)... Les autres ingénieurs présentent des parcours plus atomisés, entre l'École centrale, Supaéro, les Arts et Métiers...

Deuxièmement, les énarques forment aussi un groupe assez fourni : Guy Braibant, Alfred Siefer-Gaillardin, Noël Chahid Nourai, Michèle Prats, Paul Mingasson, Elisabeth Bukspan... Il est possible d'y rattacher les acteurs plus âgés passés par l'École libre des sciences politiques

avant la création de l'ENA<sup>14</sup>. Non loin de ces profils, les présidents de la SNCF, qui connaissent la machine d'État, ont joué un rôle clé autour du TGV : André Ségalat, maître des requêtes au Conseil d'État, puis Jacques Pélissier et André Chadeau, tous deux préfets. Plusieurs ministres français impliqués sur ces dossiers sont également sortis de l'ENA (Michel Jobert, Laurent Fabius...).

Côté états-unien, le poids des formations les plus prestigieuses se lit d'une façon similaire au cas français dans les profils des acteurs impliqués à l'échelon fédéral : faculté de droit de l'Université de Virginie pour Alan S. Boyd, Harvard et MIT<sup>15</sup> pour Andrew L. Lewis, Duke, Oxford et Harvard pour Elizabeth Dole, pour citer les principaux secrétaires aux Transports impliqués. À l'échelle locale, quelques profils similaires peuvent être identifiés, comme celui du gouverneur de Floride Daniel R. Graham, passé par la faculté de droit d'Harvard et membre du club d'étudiants Phi Beta Kappa, le plus prestigieux du pays.

En revanche, beaucoup des acteurs locaux ne sont pas issus de ces milieux. Si certains ont suivi des formations en droit, science politique ou finances, beaucoup d'autres ont plutôt des profils de *self made man* ou d'héritiers d'entreprises que l'on ne retrouve pas côté français, comme le milliardaire Henry R. Perrot, promoteur du projet texan. En Floride, la personnalité de John Parke Wright ressort particulièrement. Il est l'un des représentants de la cinquième génération aux commandes de *Lykes Brothers*, une florissante entreprise agro-industrielle familiale aux multiples activités, de la production de jus d'orange à l'élevage de bétail. Située à Tampa elle s'est historiquement tournée vers Cuba, avant que les relations entre les États-Unis et l'État castroïste s'enveniment. À titre personnel ou pour sortir de cette impasse, John Parke Wright préféra un tropisme asiatique qui l'a conduit à apprendre le chinois et à séjourner en Chine

---

14. École nationale d'administration.

15. *Massachusetts Institute of Technology*.

et au Japon où il a découvert le Shinkansen, qui l'a beaucoup impressionné. De retour en Floride en 1981 en tant que vice-président de *Lykes Brothers* à seulement 31 ans, il s'implique dans la promotion de la grande vitesse ferroviaire dans son État, convaincu qu'elle peut apporter une réponse à l'essor démographique et à l'afflux touristique qu'il connaît. Tout en développant les exportations vers le Japon de son entreprise de viande et de jus d'orange. Membre des deux commissions successives de Floride, David Blumberg incarne un autre exemple de multiplicité des investissements et des réseaux: promoteur immobilier, il est président de la *Planned Development Corporation* à Miami, membre du conseil de la *Southeast Bank*, le deuxième établissement du territoire de Floride, et de celui de la *Florida Power and Light Corporation*, sa principale société d'électricité.

Ce type de profil reflète une superposition d'intérêts et d'engagements. L'acteur investit un sujet parce qu'il pense pouvoir contribuer à le faire avancer du fait de ses autres activités. En retour, cet engagement pourrait s'avérer bénéfique pour ces activités professionnelles, soit directement, soit indirectement. On retrouve-là la notion de *community*, au cœur du fonctionnement de la société états-unienne. Elle fait émerger des acteurs aux profils moins normés et aux légitimités plus complexes que ceux des milieux fédéraux. On peut également supposer que les profils qui s'imposent font preuve de qualités en matière de communication, ce qui n'est pas véritablement le cas de ceux que les écoles d'ingénieurs françaises sélectionnent.

### *Du décalage des acteurs au décalage des structures*

Côté français, cette double domination des polytechniciens et, de façon moindre, des énarques reflète la technostucture qui a promu le TGV au sein de l'appareil d'État. Elle

a fondé son hégémonie sur une foi commune attachée à la conception du territoire et des enjeux à une échelle nationale, à l'idée d'une nécessaire vision de long terme afin de sortir la SNCF de son besoin de subventions. L'intégration de la technostucture des Ponts et Chaussées dans les organes étatiques a joué un rôle décisif dans l'acceptation rapide de l'ambitieux projet de TGV. En ce sens, il peut être perçu comme le produit d'une culture de l'ingénierie, typiquement française, dont les racines plongent dans les XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècle. Ainsi, le TGV n'est-il pas issu d'un dirigisme traditionnel, mais d'un dirigisme technico-économique, qui lui est spécifique et dont les traces se retrouvent dans le profil socio-professionnel des acteurs impliqués dans son exportation aux États-Unis.

Le poids de l'ingénierie et des énarques traduit aussi les évolutions de temps long de la diplomatie économique: les membres des SEE<sup>16</sup> sont souvent énarques, et le pilotage de ces dossiers relève du ministère de l'Économie qui l'a emporté en la matière sur celui des Affaires étrangères en 1919. Mais peu de conseillers commerciaux se trouvent impliqués sur le dossier du TGV, probablement du fait de son caractère trop technique. Les personnels d'ambassade mobilisés sont les conseillers techniques chargés des transports, qui dépendent de ce ministère et qui ont des profils d'ingénieurs issus des grands corps d'État ou du privé.

En face, les interlocuteurs locaux des acteurs français ne disposent que de compétences très faibles en matière ferroviaire: leur mission consiste bien plus à formuler les besoins d'un territoire et à envisager les aspects financiers des projets. Même au sein des structures qui pourraient sembler les plus proches de l'ingénierie, les acteurs états-uniens s'avèrent présenter un profil éloigné de celui des Français, comme l'illustre le cas de la FRA<sup>17</sup>. Alors que ses premiers administrateurs étaient

---

16. Services d'expansion économique.

17. *Federal Railroad Administration*.

ingénieurs et s'étaient forgé une expérience de l'exploitation ferroviaire, la nomination de John M. Sullivan (1977-1981), un ingénieur commercial absolument ignorant du monde ferroviaire mais proche du président James E. Carter<sup>18</sup>, marque un premier recul des compétences techniques au sein de cette administration. Avec l'arrivée de Robert W. Blanchette (1981-1983) puis de son successeur, John H. Riley (1983-1989), la FRA est confiée à des avocats, ce qui confirme cette tendance. Avant qu'un ancien concessionnaire automobile du Mississippi, Gilbert E. Carmichael (1989-1993), prenne paradoxalement la tête d'une agence consacrée aux activités ferroviaires.

Rares sont les ingénieurs états-uniens à un niveau décisionnel. Ressort ici la place très particulière que la France réserve à ses ingénieurs au sein de son élite sociale et politique, qui diffère de ce que connaissent bien d'autres pays où devenir ingénieur ne constitue pas une voie d'accès directe aux sphères les plus élevées de la société. Côté états-unien, le principal ingénieur impliqué initialement dans le dossier est Paul H. Reistrup, à la tête d'Amtrak de 1974 à 1978, qui entretient justement de ce fait des relations de proximité avec Jean Dupuy, polytechnicien à la direction générale de la SNCF. Les années 1980 voient des profils plus éloignés de l'ingénierie mener le jeu ferroviaire aux États-Unis. Les juristes et avocats dominent dès lors largement. Par exemple, les membres de la commission parlementaire franco-états-unienne en visite en France au printemps 1983, tous juristes de formation, sont accompagnés du patron d'Amtrak, William G. Claytor, lui aussi juriste, bien qu'ayant une expérience étoffée de l'exploitation ferroviaire. À l'échelle locale, la même logique prévaut. Ainsi, les deux commissions qui s'occupent successivement du projet en Floride au cours des années 1980 ne comptent qu'un seul ingénieur pour une

dizaine de membres, presque tous avocats, entrepreneurs ou promoteurs immobiliers.

Ce sont donc deux communautés différentes qui sont appelées à dialoguer. Le cadre national ne définit pas uniquement une langue et un territoire mais impose également une typologie professionnelle et de formation intellectuelle. Le décalage observable entre la France et les États-Unis sur ce point est un élément d'explication important pour éclairer les incompréhensions qui peuvent surgir autour de l'objet TGV. Les acteurs de chaque pays, ayant développé un *habitus*<sup>19</sup> formé de principes d'action acquis au cours de leurs expériences sociales antérieures, perçoivent l'objet selon des cadres bien différents et agissent dans des univers qui présentent des modalités qui leur sont propres. Ce faisant ils se renforcent les uns les autres dans leurs pratiques au sein de chaque communauté, si bien que la construction d'un terrain commun aux deux bords de l'Atlantique devient toujours plus difficile.

## **Retour à l'objet : l'impossible américanisation du TGV**

Simultanément aux discussions avec les acteurs aux États-Unis, les Français mettent également en route un processus de mutation de leur objet, afin de le rendre le plus compatible possible avec le contexte nouveau dans lequel il est supposé trouver sa place. Alors qu'avec les États-Uniens, peu de négociations s'avèrent possibles, c'est avec le TGV lui-même que les marges de manœuvre paraissent les plus fortes ou du moins que le plus d'ajustements peuvent sembler envisageables. Mais, là aussi, les espoirs laissent la place à des désillusions. L'ampleur du système du TGV, qui ne peut se résumer à une rame, contribue à réduire la souplesse d'un objet

---

18. Communément nommé Jimmy Carter.

19. Manière d'être, disposition d'esprit, au sens de la sociologie.

qui n'a pas été conçu initialement pour se déployer dans un contexte aussi différent. Si les discours politiques ne prennent que rarement en compte la nécessaire adaptation du système, les techniciens œuvrent davantage dans ce sens, tout en constatant que le système comporte un noyau invariant qui offre peu de marges d'adaptation.

### *Le noyau invariant du TGV*

Les experts français sont bien conscients que l'exportation du TGV ne peut se faire par simple duplication du modèle mis en œuvre entre Paris et Lyon. Dès lors, il convient de distinguer le noyau d'éléments invariants, qui ne pourront faire l'objet d'aucune adaptation : une infrastructure nouvelle, la compatibilité avec le réseau ancien et une vitesse optimale de 250 à 300 km/h. Tout le reste est réputé adaptable en fonction des conditions démographiques, économiques, topographiques... L'exemple même de cette capacité d'adaptation est réputé s'incarner par les différences entre la LGV Sud-Est et la LGV Atlantique, alors en cours de réalisation.

Mais, entre ces deux LGV, bien des éléments n'ont pas varié, sans qu'ils soient mentionnés comme constituant ce noyau. On peut penser aux conditions politiques de réalisation de tels projets, aux modalités d'évaluation de leur rentabilité économique, au paysage modal dans lequel ils s'insèrent, aux modalités d'expropriation, aux relations financières entre la SNCF et l'État compte tenu du soutien public qui s'affirmait pour la LGV Atlantique... La vision du noyau d'invariants que se forgent alors les experts de la SNCF les conduit à survaloriser les invariants spécifiques au TGV par rapport à ceux qui relèvent plus largement de la situation du chemin de fer en France, alors qu'en sortant des limites hexagonales, le TGV voit sa souplesse contrainte par les premiers comme par les seconds.

Un exemple pour illustrer la limite de la souplesse du TGV est fourni par les pentes admissibles. Malgré ses capacités revendiquées à gravir de fortes pentes, le TGV ne peut appliquer la recette du Paris - Lyon à une liaison marquée par de fortes déclivités comme on en trouve en Californie. Au ministère des Transports, une note suggère même « une solution T.G.V. comportant une crémaillère à moteur linéaire<sup>20</sup> », ce qui serait une adaptation de l'objet pour conserver le concept d'une infrastructure peu coûteuse, évitant tunnels et ouvrages d'art. En abandonnant en revanche l'idée de grande vitesse puisqu'une crémaillère imposerait une vitesse fortement réduite, au risque de voir la roue dentée dérailler !

Enfin, le noyau des invariants n'est pas figé et peut s'accroître. Ainsi, alors que le TGV s'est construit pour l'essentiel en dehors des sphères politiques en France, il est rapidement apparu que les élus s'en emparaient massivement. La doctrine de la SNCF intègre ainsi une nouvelle dimension invariable : le soutien des élus pour obtenir un TGV, source de fierté pour leur territoire et signe de leur réussite politique. Devenue un invariant, cette dimension est donc intégrée par les exportateurs, comme Robert W. Blanchette, recruté par les Français après avoir quitté son poste à la FRA, qui affirme qu'« un chemin de fer – surtout s'il a du panache – présente pour un politicien de nombreux avantages notamment en ce qui concerne l'emploi<sup>21</sup> ». Mais cette relation au politique se heurte à une différence très nette : quand le politique français participe financièrement au projet, le politique états-unien ne souhaite pas y mettre un dollar.

Les invariants identifiés finissent donc par rigidifier la solution proposée par les Français. Ce processus est en outre renforcé par des éléments le plus souvent omis mais pourtant agissant dans ce même sens. Les descriptions

---

20. « Note à l'attention de M. Perrod », ministère des Transports, 5 juillet 1982 (AN, 19950585/27).

21. Compte rendu de la réunion du 29 septembre 1983, ambassade de France à Washington, ca. octobre 1983 (AN, 19950585/27).

du produit font bien souvent abstraction de facteurs qui pourraient être gênants, dont trois principaux peuvent être identifiés.

D'abord, le TGV est un système qui a été conçu non seulement dans le cadre français mais encore plus spécialement pour la liaison spécifique entre Paris et Lyon, un axe précédemment marqué par des problèmes de saturation et de superposition de trafic entre marchandises et voyageurs. Les promoteurs français du TGV insistent rarement sur cette caractéristique centrale, puisqu'elle risque de nuire à l'universalité d'une solution réputée pouvoir s'adapter ailleurs. Les experts états-uniens identifient cependant bien cette difficulté inhérente à tout projet de transport, forcément défini par des conditions locales.

Ensuite, le paysage modal français n'est jamais décrit, au risque de masquer certains de ses traits pourtant en lien avec le développement d'une offre de train à grande vitesse : par exemple l'absence de liaisons à grande distance par autocar. De même, le déclin du train n'est vrai qu'en part modale et non en chiffres bruts de fréquentation en France, alors que le nombre de voyageurs s'est effondré aux États-Unis depuis les années 1950. Derrière la configuration du paysage modal se pose la question sociale de l'accès au territoire pour tous. En guise de pique adressée à la France, qui vient de se doter fin 1982 de la LOTI<sup>22</sup> dont il s'agit d'un des points centraux, leurs interlocuteurs états-uniens demandent aux Français si « le droit au transport [n'est] pas mieux assuré chez [eux] qu'en France, où les prix du transport aérien sont élevés, les cars sur autoroute interdits<sup>23</sup> ? » La logique de déréglementation ne serait-elle pas plus efficace pour le voyageur que celle de contrainte ? Dès lors, difficile de maintenir l'image du TGV comme mode démocratique.

Une note de la SNCF de novembre 1983 ne souligne-t-elle pas qu'« entre Miami et Orlando, l'avion coûte moins cher que le TGV 1<sup>re</sup> classe en France<sup>24</sup> » ?

Enfin, le dernier angle mort de l'argumentaire touche aux conditions de financement de la SNCF, qui est elle-même une structure en pleine mutation. Alors que des interlocuteurs états-uniens à l'échelon fédéral s'intéressent vivement à la façon dont l'entreprise organise son travail et planifie son développement et ses relations avec l'État, ces enjeux sont très peu mis en avant dans la communication qui est faite autour du TGV. Comme si l'objet pouvait être déconnecté d'une situation qui ne présente pas que des succès financiers aussi criants et qui pourtant peut intéresser les États-Uniens, soucieux de comprendre le fonctionnement global du système, en particulier les modalités de participation des investisseurs, qui se résument dans le cas de la LGV Sud-Est à la seule SNCF.

Ces angles morts de la conception française du TGV peuvent s'expliquer par une conviction dominante, qui contribue à marginaliser toute mobilisation d'arguments susceptibles de la relativiser : le TGV est reconnu comme un succès dès son inauguration partielle en 1981.

### *Une conviction : le TGV a fait ses preuves*

Dans la compétition internationale, le principal atout du TGV, dont dispose également le Shinkansen, est d'être opérationnel, ce qui les distingue des solutions proposées par les autres rivaux étrangers. Même si son expérience est encore modeste face aux 20 ans d'existence du train japonais, ses promoteurs utilisent cet argument jusqu'à l'usure : le TGV

---

22. Loi d'orientation des transports intérieurs.

23. « Compte-rendu de la mission effectuée aux États-Unis (2 au 7 novembre 1983) », Direction des transports terrestres, 15 novembre 1983 (AN, 19950585/27).

24. « Compte rendu de la réunion TGV Floride organisée à la DCI le 15 novembre 1983 », SNCF, ca. novembre 1983 (ASNCF, 275LM26).

aurait fait ses preuves. Pour compenser le manque d'expérience en service commercial du TGV par rapport au Shinkansen, ses promoteurs mettent en avant le fait qu'il est fondé sur des idées simples combinant des solutions classiques, qui ont fait l'objet d'une « expérience acquise par la SNCF au cours de nombreuses années de recherche et d'essais<sup>25</sup> ». En ressort une image ambivalente du TGV présenté, ici dans un discours de Pierre Mauroy, à la fois comme objet de « haute technologie [et comme n'étant] pas une technique totalement neuve [mais] l'assemblage des meilleures composantes dans le domaine du chemin de fer<sup>26</sup> ».

Le TGV est donc un produit original dont les Français estiment qu'il a démontré trois ordres de preuves : il est faisable, fiable et rentable. Sa faisabilité est illustrée par son record du monde de vitesse, venant confirmer les choix techniques opérés en amont. Elle est relayée par des médias qui font du TGV l'icône de la grande vitesse. Sa fiabilité est démontrée au long des mois puis des années d'exploitation, qui le voient effectuer ses trajets avec une grande régularité et sans souci majeur. Elle est en outre attestée par l'expérience de voyage que vivent les visiteurs états-uniens lorsqu'ils viennent en France. Enfin, sa rentabilité est appuyée pour les Français par le grand succès commercial qu'il rencontre et les excédents d'exploitation qu'il génère. Mais ce registre financier est bien moins compris que les autres, comme si les preuves en attestant demeureraient plus floues, du fait d'une difficulté à comprendre les modalités de calcul de la rentabilité d'un projet en France et le cadre particulier de financement des activités ferroviaires, en particulier de la SNCF, que l'État soutient très largement en ce début des années 1980.

La difficulté vient aussi du fait que la relance du chemin de fer à travers le monde a aux États-Unis l'image d'un projet porté à bout de bras par les pouvoirs publics. En 1981, un article repris par différents titres de la presse locale outre-Atlantique présente ainsi cette dynamique : « alors que les Américains observent les services ferroviaires diminuer, les Européens sont convaincus que les trains sont toujours un besoin vital et démontrent cette croyance chaque année en injectant des milliards de dollars d'impôts dans des subventions au secteur ferroviaire<sup>27</sup> ».

Pour les Français, au contraire, il y a bien rentabilité du projet, grâce à plusieurs facteurs. Deux d'entre eux distinguent le TGV du Shinkansen, réputé rentable mais plus cher à construire : le faible coût de l'infrastructure, du fait des fortes pentes admissibles, et le faible coût énergétique de l'exploitation, du fait de la légèreté des rames et du nombre réduit de bogies. Par ailleurs, les rames sont remplies (à 65 % en moyenne au printemps 1983) grâce au report modal et au trafic induit, rendus notamment possibles par la compatibilité avec le réseau classique, dernier critère de différenciation avec le Shinkansen et avec les solutions à sustentation magnétique. Mais est-il pertinent aux États-Unis où le réseau concrètement raccordable à une éventuelle ligne nouvelle est morcelé entre opérateurs de fret ?

Le problème majeur de cet argumentaire vient de la nature des preuves qui auraient été apportées. S'il est indéniable que le projet Paris – Lyon présente un bilan très réussi sur de nombreux aspects, l'argumentation développée autour de son succès fait oublier aux acteurs que les conditions dans lesquelles un projet de grande vitesse ferroviaire est évalué

---

25. « Compte rendu de la réunion du 3 mars 1983 sur les problèmes de promotion et d'exportation du système TGV aux États-Unis », Direction des relations économiques extérieures, 22 mars 1983 (AN, 19950585/27).

26. « Trame de l'intervention du Premier ministre devant les parlementaires du comité franco-américain de promotion du train à grande vitesse », ca. mai 1983 (AN, 19950585/27).

27. « *While Americans watch railroad service diminish, Europeans are convinced that trains still are a vital need and demonstrate that belief each year by pouring billions in tax money into railroad subsidies* » (Jeffrey Ulbrich, « European Railroads Still on Right Track », *Fort Walton Beach Playground Daily News*, 20 novembre 1981).

aux États-Unis diffèrent profondément de ce qu'elles sont en France. Ce ne sont donc pas les mêmes preuves qu'il convient d'apporter.

Dès 1982, la divergence de points de vue sur ce que signifie *faire ses preuves* est lisible dans les échanges entre Alan S. Boyd, alors patron d'Amtrak, et Léonce Lansalot-Basou, conseiller aux transports de l'ambassade de France. Pour le premier, l'essentiel réside dans « la réputation de fiabilité et de sécurité [qui constitue] un élément capital pour la confiance des investisseurs américains et des marchés financiers en général<sup>28</sup> », tandis que pour le second une telle vision est « contraire à tout progrès technique<sup>29</sup> », dans la mesure où elle bride l'innovation, qui suppose une certaine prise de risque. Mais si les décideurs états-uniens acceptent d'acheter un produit étranger, c'est justement pour ne pas prendre de risque, et ils ne peuvent donc admettre que des produits ayant fait toutes leurs preuves, de leur point de vue.

Le sentiment qu'ont les experts français d'avoir fait leurs preuves se renforce au fil des années, puisque l'exploitation du TGV est un succès qui se confirme. En outre, l'arrivée d'ABB<sup>30</sup> comme concurrent à la place du Shinkansen sur le territoire de Floride ne modifie en rien l'idée que le TGV est très en avance dans la compétition. En juillet 1989, une note de la DTT<sup>31</sup> rappelle que « le matériel TGV n'a plus à faire ses preuves tandis que celui d'ABB est encore expérimental<sup>32</sup> », focalisant ainsi, peut-être inconsciemment, sur le matériel roulant, qui techniquement fonctionne parfaitement, plus que sur le sys-

tème, dont l'équation globale mérite une analyse plus précise dépendant du contexte de chaque projet. Cette adaptation au contexte, au-delà des preuves existant en France, est bien plus complexe que de dresser la liste des preuves du succès du TGV en France, puisqu'elle suppose une modification de l'objet, sous la forme de son américanisation.

### *L'impossible processus d'américanisation comptable et financier*

Début 1983, il ressort d'une visite parlementaire française sur place que ce qui est mal perçu aux États-Unis n'est pas tant le TGV en lui-même que son « adaptation aux données américaines<sup>33</sup> ». La nécessité d'un processus d'américanisation est partagée par les acteurs français du dossier. De leur point de vue, il se combine avec une autre nécessité: l'éducation des États-Uniens aux questions ferroviaires. Comme l'explique Robert W. Blanchette, « depuis 30 ans les Américains ne savent plus ce que sont les chemins de fer pour passagers et ne pratiquent guère le train<sup>34</sup> ».

Il convient donc de faire naître en eux un intérêt pour un univers ferroviaire au sein duquel il faut faire du TGV américanisé la solution la plus évidente. Mais des visions différentes de ce que doit être le processus d'américanisation se superposent. Il peut s'agir avant tout de développer une vision financière des enjeux: « les informations devront être adaptées au marché américain: qu'est-ce que cela me coûte ?? Qu'est-ce que cela me

---

28. Lettre de L. Lansalot-Basou au cabinet de C. Fiterman, 7 juin 1982 (AN, 19950585/27).

29. *Idem.*

30. ASEA Brown Boveri.

31. Direction des transports terrestres.

32. « Projet de liaison ferroviaire à grande vitesse Miami - Orlando - Tampa (480 km, 325 miles) », Direction des transports terrestres, 13 juillet 1989 (AN, 19950585/27).

33. Lettre de P. Selz à C. Cheysson, 3 février 1983 (AN, 19950585/27).

34. Compte rendu de la réunion du 29 septembre 1983, ambassade de France à Washington, ca. octobre 1983 (AN, 19950585/27).

rapporte<sup>35</sup> ? », peut-on lire dans une note de 1983 pour André Billardon, député à la tête du groupe parlementaire franco-états-unien. Cette vision de l'américanisation comme étant une financiarisation de l'objet est partagée par Samir Naessany, au ministère des Transports, qui écrit de retour des États-Unis en novembre 1983 que « le seul point sur lequel il paraît nécessaire d'insister est l'aspect financier, très mal perçu. Beaucoup ont été surpris quand [il a] donné les chiffres 1984: résultat positif d'exploitation après amortissements et charges financières<sup>36</sup> ». D'où la décision prise de produire un document financier pour février 1984, afin de « [faire] apparaître les prix de revient du T.G.V., les trafics (ceux détournés des autres modes, les trafics induits, etc.), le taux de rentabilité, [ce qui] fera l'objet non d'une traduction, mais d'une adaptation en anglais, pour les milieux ferroviaires et financiers nord-américains<sup>37</sup> ». En janvier 1984, une note de l'ambassade insiste sur la nécessité absolue de se doter d'un tel document : « **il est FONDAMENTAL qu'un audit indépendant confirme favorablement les résultats financiers d'exploitation et la rentabilité interne du TGV.** En complément, une présentation des résultats suivant le plan comptable type États-Unis et une tentative d'adaptation des résultats français au marché américain seraient **déterminantes** pour les financiers<sup>38</sup> ».

Malgré ce consensus des points de vue et le caractère central de ce document, sa rédaction s'avère finalement plus délicate qu'enviagé initialement. En février 1984, une banale réunion des intérêts français se heurte à un « gros problème: pouvoir éditer un (ou plu-

sieurs) documents **américanisés** et en fonction des cibles à toucher. Qui peut s'en charger<sup>39</sup>? » La question reste entière, malgré l'urgence, constatée par ailleurs, de disposer de supports permettant de mieux faire connaître le TGV, que l'on confond encore, aux États-Unis, avec le Shinkansen. En avril 1984, l'affaire n'a pas progressé: « cette affaire est difficile car la présentation demandée [...] n'est pas réalisable. On ne peut que faire une présentation américanisée des comptes du TGV<sup>40</sup> ». Alors que les exportateurs réclament que la direction financière de la SNCF mette au point un compte d'exploitation de ce que serait une liaison TGV aux États-Unis, de façon à démontrer son intérêt économique.

La simple présentation de l'activité du TGV selon les normes comptables prévalant aux États-Unis n'est déjà pas une tâche aisée. Elles suivent un esprit différent des normes adoptées en France: elles ne se veulent pas principalement un recensement des écritures passées, mais plutôt un document destiné à informer un investisseur potentiel ou un actionnaire sur la santé de l'entreprise. Mais cette forme de standardisation pose problème à la SNCF. La traduction de ce qui est vanté comme un succès dans des termes adaptés aux États-Unis est ainsi rendue délicate du fait de l'imbrication des éléments financiers au sein de la SNCF, qui ne dispose pas de comptabilité analytique permettant d'isoler le TGV. Sa dynamique se noie dans une entreprise marquée par des déficits très lourds depuis plusieurs années. À la fin des années 1970, l'indemnité compensatrice et les subventions représentent entre 40 % et 50 % des recettes d'exploitation, un désé-

---

35. « Compte rendu de la visite d'André Billardon aux U.S.A. », Conseil général de Bourgogne, 23 février 1983 (AN, 19950585/27).

36. « Compte-rendu de la mission effectuée aux États-Unis (2 au 7 novembre 1983) », Direction des transports terrestres, 15 novembre 1983 (AN, 19950585/27).

37. *Idem.*

38. « Analyse succincte du marché ferroviaire nord-américain », ambassade de France à Washington, 9 janvier 1984 (ASNCF, 123LM502).

39. Note suite à une réunion du 16 février 1984, SNCF, 23 février 1984 (ASNCF, 123LM502).

40. « Réunion du 18 avril 1984 à la Direction de la Coopération Internationale. Promotion du TGV aux USA », SNCF, *ca.* avril 1984 (AN, 19950585/27).

équilibre qui, du point de vue états-unien, ne peut que rappeler la très délicate situation d'Amtrak, alors que les reaganiens ont pour programme de couper toutes les subventions fédérales accordées à l'exploitant national.

Au-delà des normes comptables, les bases des prévisions de trafic et les grilles tarifaires envisagées, sur lesquelles se fondent les analyses de rentabilité d'un possible projet aux États-Unis, diffèrent entre les deux pays. D'une part, le paysage modal fort différent rend difficile l'estimation des reports de trafic et encore plus du trafic induit, qui est l'un des arguments les plus décisifs de la rentabilité du TGV en France. D'autre part, la concurrence forte de la route, en particulier par les autocars, et de l'avion, pris dans une dynamique de libéralisation et de développement du bas coût, façonne un marché où les tarifs sont bas, donc les recettes au voyageur.km assez faibles, pour des coûts d'exploitation probablement similaires à ceux en France.

Si des supports de communication sont aisément conçus pour présenter l'expérience française du TGV sur l'axe Paris - Lyon ou sur l'axe futur de l'Atlantique, dès que les éléments financiers sont en jeu ou dès qu'il s'agit de décrire succinctement un projet sur le sol des États-Unis, la mécanique se bloque. En termes de communication, l'américanisation opérée par les Français fonctionne comme la simple traduction d'une situation française. Elle ne parvient que difficilement à devenir une description en termes états-uniens d'une possible situation états-unienne.

Au-delà de ces éléments financiers bloquants, l'américanisation se pose aussi à l'échelle de l'objet lui-même, et c'est là qu'elle devient paradoxale : elle peut se voir non pas comme une contrainte exercée sur le TGV mais plu-

tôt comme une façon de pousser plus loin les dynamiques qui ont porté sa conception.

*Comme un paradoxe :  
l'américanisation n'est-elle  
pas l'aboutissement de la logique  
du TGV ?*

Pour Jack Duchemin, expert missionné outre-Atlantique par le ministère des Transports, l'américanisation ne peut se limiter à être une financiarisation et suppose aussi une meilleure prise en compte du confort des voyageurs, suivant l'idée que les exigences en la matière seraient plus élevées aux États-Unis, du fait de la part de marché de l'avion dans les mobilités du pays. Pour lui, il est ainsi inenvisageable que les passagers puissent être exposés à la pluie, si bien qu'il préconise l'installation de portes palières permettant de proposer des quais totalement protégés et conditionnés. Par ailleurs, le gabarit des sièges offerts en seconde classe lui semble bien trop étroit, l'américanisation devant passer par un élargissement des rames, envisageable du fait du gabarit plus large prévalant aux États-Unis. Pour lui : « **tout système terrestre à grande vitesse aux États-Unis sera comparé à l'avion** : En particulier les terminaux (gares) devront avoir les mêmes caractéristiques que les aéroports ; il sera impensable notamment de faire attendre les voyageurs sur un quai ouvert<sup>41</sup> ».

Un point de vue que partage l'un des consultants des Français, pour qui « l'image du T.G.V. ne s'imposera que si elle est favorablement comparable à celle de l'avion ; d'où une attention extrême à la présentation des terminaux, au confort, au service et à la modernité de l'image<sup>42</sup> ». S'agit-il pour autant d'une trahison du chemin de fer ou plutôt d'une façon de pousser jusqu'au bout le concept du

41. « Réunion sur les trains à grande vitesse de l'association "High Speed Rail" », ambassade de France à Washington, 5 juin 1984 (AN, 19950585/27).

42. « Note sur quelques points remarquables des réunions tenues au siège de T.G.V. Company le 14 mai 1984 », ambassade de France à Washington, 4 juin 1984 (AN, 19950585/27).

TGV, lui-même déjà largement inspiré du service aérien ? Dans ce sens, en devenant états-unien, le TGV deviendrait enfin ce qu'il n'est qu'en ébauche dans sa version française : un avion sur rails. Ce dont l'Aérotrain avait le monopole en France, mais qui n'est plus un concurrent dans les États-Unis des années 1980, où les projets sur coussin d'air ont été abandonnés depuis le milieu des années 1970.

La nécessité d'un rapprochement avec l'avion s'inscrit aussi sur les territoires en imposant une bonne desserte des aéroports : les principaux projets comportent une desserte envisagée des grands aéroports présents sur le corridor concerné. Cette focalisation résulte de l'intérêt que les compagnies aériennes peuvent trouver dans le fait d'avoir de nouveaux canaux d'acheminement de passagers, mais aussi de la situation périphérique des aéroports qui les rendent généralement bien plus faciles à desservir que le cœur des villes états-uniennes. Ce processus n'est d'ailleurs pas à sens unique puisqu'il est simultanément d'un rapprochement entre le monde du rail et les aéroports, marqué par leur équipement en différents types de *people movers*. Un phénomène que ne ferait que renforcer une liaison entre les lignes à grande vitesse et les aéroports. Ce processus peut donc se lire également comme une forme de convergence d'infrastructures.

## Conclusion

Ainsi, si le processus d'américanisation est perçu comme un chemin à suivre pour l'ensemble des acteurs français, sa définition plus précise et sa traduction dans les détails suscitent des tensions entre eux et, paradoxalement, alimentent une distanciation entre le territoire états-unien et une solution qui lui est étrangère et qui le reste pour l'essentiel. Pourtant, plusieurs des éléments de l'américanisation ne supposent que de pousser l'objet dans sa propre logique, sans le dévoyer :

la rentabilité financière est supposée être l'une des forces du TGV, tandis que la logique aérienne est bien l'une de ses inspirations, ce qu'ont bien noté d'ailleurs des observateurs états-uniens. Mais ils représentent deux points de vue sur le système, celui de l'investisseur et celui du client, en décalage avec celui qui domine en France, celui de l'exploitant, porté par la sociologie des exportateurs français. L'américanisation achoppe probablement également du fait de cette divergence.

Nous avons ici mis en avant des considérations sur l'exportation du TGV qui ne se focalisent pas d'abord sur les qualités propres du terrain états-unien mais s'attachent plutôt aux caractéristiques propres aux TGV qui en font ou non un produit susceptible d'être exporté aux États-Unis. Soulignons ici que les Français ne sont pas les seuls à connaître un échec, puisque les autres promoteurs de solutions ferroviaires à vitesse plus ou moins élevée sont tous dans la même situation au cours des années 1980 : Britanniques, Japonais, Allemands et Canadiens. Sur le long terme, ce sont plutôt des solutions fondées sur une rénovation du matériel roulant, notamment sur le NEC, qui s'imposent, tandis que des formes de vitesse accélérée mais encore modeste commencent à émerger, notamment en Floride autour du projet *Brightline*. L'*Avelia Liberty* d'Alstom, qui remplacera l'*Acela* sur le NEC, illustre bien cette voie de l'accélération fondée sur l'infrastructure existante, en particulier par le système de pendulation.

Mais l'exportation de systèmes complets n'a pas connu de concrétisation aux États-Unis, contrairement à ce qui a pu se passer dans d'autres pays. Loin d'être l'eldorado de cette exportation, du fait de ses très nombreux corridors susceptibles d'être équipés, ce pays est resté en arrière du processus qu'ont connu plusieurs autres pays dans le monde. Mais, constatons simultanément que cet essor de la grande vitesse a comporté, partout, des dimensions nationales assez marquées. Dans

ce marché, ce sont plutôt les idées que les objets qui ont circulé. Le contexte du réchauffement climatique et les ambitions portées par la nouvelle administration Biden en termes d'infrastructures pourraient toutefois voir évoluer cette situation générale. L'ampleur de certains projets, comme celui entre Houston et Dallas, pour lequel un groupe mené par des Italiens et fondé sur le Shinkansen japonais a emporté tout récemment un contrat

de 16 milliards de dollars, semble crédibiliser la volonté de voir sortir une véritable première ligne à grande vitesse aux États-Unis et montre qu'il serait devenu possible d'exporter des systèmes complets mais adaptés aux États-Unis. N'oublions pas toutefois que nombre d'annonces de la sorte et même des attributions de contrats jalonnent cette histoire de plus de 40 ans, sans qu'aucun projet complet ait réellement vu le jour jusqu'alors.

# Les métamorphoses du modèle économique de la grande vitesse ferroviaire

*Yves Crozet*

---

En juillet 2017, lors de l'inauguration de la LGV BPL (Ligne à grande vitesse Bretagne-Pays-de-Loire), le président Macron avait indiqué que l'heure n'était plus au développement de la grande vitesse ferroviaire. Pourtant, en mai 2021, le Premier ministre Jean Castex a relancé les projets Bordeaux-Toulouse et Montpellier-Perpignan. L'État se dit prêt à mettre 4 milliards d'€ sur la table et envisage la création de sociétés de projets à financement fiscal dédié, sur le modèle de la Société du Grand Paris Express (SGP). A l'échelle européenne aussi, la grande vitesse ferroviaire est encouragée. Dans sa stratégie publiée en décembre 2020, la Commission européenne souhaite que le trafic des trains à grande vitesse (TGV) double d'ici à 2030 et triple à l'horizon 2050.

Ces ambitions françaises et européennes posent cependant des questions.

► D'abord parce qu'elles interviennent à un moment où le trafic ferroviaire a été divisé par deux du fait de la pandémie. La grande vitesse ferroviaire a été encore plus affectée, comme le montrent la baisse de 53%

du chiffre d'affaires de SNCF voyages en 2020 (4 milliards d'€ contre 8,6 en 2019) et la situation financière critique d'Eurostar.

► Ensuite du fait que, depuis quelques années, des doutes sont apparus sur la pertinence de la grande vitesse ferroviaire, tant en matière de fréquentation que de financement.

Ces inquiétudes n'annoncent pourtant pas la fin de l'histoire des TGV. Ils ont montré leur utilité pour les voyageurs et, sous certaines conditions, pour l'attractivité des territoires. Ils restent aussi un levier pertinent pour aider à la décarbonation des mobilités, notamment lorsqu'ils peuvent se substituer au transport aérien. Mais un éventuel rebond de la grande vitesse ferroviaire se heurte au fait que son modèle économique initial est aujourd'hui obsolète. Les métamorphoses qu'il a connues, encore inachevées, l'inscrivent progressivement, comme les trains de la vie quotidienne, dans une logique non marchande exigeante en fonds publics.

## Le TGV et le renouveau commercial du transport ferroviaire

La grande vitesse ferroviaire a été portée en France par des ingénieurs (voir les articles précédents) mais aussi par des ingénieurs-économistes. En se fondant sur les gains de temps et leur monétisation, ils ont montré que le train pouvait redevenir, entre grandes métropoles, un service commercial autofinancé. Ce fut le modèle du Paris-Lyon qui a servi de base au développement du réseau en France. En Espagne et en Italie, la géographie urbaine a aussi aidé au développement de la grande vitesse ferroviaire même si les contextes économiques et politiques diffèrent.

### *Géographie et économie : les composantes du « modèle Paris-Lyon »*

Décidée en 1975, la première ligne à grande vitesse, entre Paris et Lyon, a été ouverte au trafic en septembre 1981. Evoquer un « modèle Paris-Lyon » revient à rappeler les bases géographiques et économiques du succès de la grande vitesse ferroviaire.

La géographie joue un rôle crucial car le TGV doit franchir plusieurs centaines de km pour que les gains de temps soient significatifs. Or, l'armature urbaine française est particulièrement propice au développement de tels services. La taille importante de l'agglomération parisienne et son attractivité d'une part, et d'autre part le fait que les métropoles régionales sont situées loin de Paris ont permis d'étendre progressivement le réseau. Après Lyon, les LGV se sont étendues vers Le Mans et Tours (1989) avec comme horizon la Bretagne et l'Aquitaine, puis vers Lille (1993), avec Bruxelles, Londres et Amsterdam en ligne de mire, vers Marseille (2001), la Lorraine et l'Alsace (2007). En 2011 était ouvert un segment de la LGV Rhin-Rhône, la première à ne pas être centrée sur la relation à la capitale. Les 4 LGV ouvertes de 2016 à 2018 étaient des extensions de lignes existantes,

respectivement vers Strasbourg, Rennes, Bordeaux et Montpellier.

En France, le TGV a transporté en 2019 61,9 milliards de voyageurs-kilomètres (v.km), soit 4 fois plus que le transport aérien domestique. Ce succès s'explique par les gains de vitesse. Ils ont considérablement réduit les temps de parcours, attirant un trafic induit et des voyageurs à forte capacité contributive. Cette double croissance, des volumes et des recettes unitaires, est au cœur des fondements économiques du « modèle Paris-Lyon ». Dès l'origine en effet, la SNCF a appliqué au TGV un principe efficace et continuellement amélioré de « *yield management* ». D'abord en rendant obligatoire la réservation, ce qui donne une information sur le niveau de la demande. Ensuite en adaptant les tarifs à la capacité contributive des clients. Comme l'a démontré l'ingénieur-économiste Jules Dupuit il y a plus de 170 ans [Bonnafous & Crozet 2018]<sup>1</sup>, une tarification « à la casquette » permet de récupérer une partie du surplus du consommateur, celui des voyageurs à fort pouvoir d'achat. C'est possible en modifiant le prix des billets, non seulement en fonction de la classe et de la distance parcourue, mais aussi en raison de la destination, du jour et de l'heure du voyage. Le développement de la vente par Internet a accru la puissance de cet outil, conduisant à un taux de remplissage moyen des TGV relativement élevé (près de 70%), mais au prix d'une forte variation du prix des billets, une limite sur laquelle nous reviendrons.

A l'origine, le TGV, service commercial, visait une clientèle solvable. Ces utilisateurs réguliers représentent une part minoritaire de la population, comme l'a rappelé la Cour des comptes qui s'est plusieurs fois interrogée sur les soutiens publics à cette clientèle aisée. D'autant que certaines destinations sont par nature déficitaires. La SNCF rappelle souvent que les TGV « inter-secteurs », ceux qui

---

1. Dans tout cet article, les références données entre crochets correspondent à celles données *in fine*.

ne desservent pas Paris, sont à l'origine de pertes. Il y a en effet peu de trafic potentiel entre des villes de second rang comme Lille et Lyon ou Strasbourg et Lyon. Les services TGV directs entre ces villes le sont au prix de subventions croisées venant des lignes profitables, la plupart de celles qui desservent Paris.

La péréquation financière entre les services, y compris sur un même tracé entre heures pleines et heures creuses, sont ainsi devenues une composante majeure du modèle économique de la grande vitesse ferroviaire en France. La rentabilité générale des services a aussi permis la desserte de villes non desservies par des LGV (Saint-Étienne, La Rochelle, Saint-Malo, Remiremont...). Les trafics y sont modestes en comparaison de ce que l'on observe entre Paris et Lyon, mais cela contribue à étoffer l'offre TGV et sa lisibilité pour les clients du fait de l'absence de rupture de charge [Bonnafous & Crozet 1997].

L'interopérabilité des TGV, c'est-à-dire le fait qu'ils puissent utiliser aussi bien les nouvelles LGV que les lignes du réseau classique est donc un point crucial. Grâce à cela en effet, le progrès technique apporté par le TGV est totalement compatible avec les anciennes infrastructures ferroviaires<sup>2</sup>. L'investissement dans une LGV ne vient donc pas dévaloriser l'ancien patrimoine ferroviaire. Il permet au contraire de lui donner une seconde jeunesse, mais au prix d'une mécanique de transferts financiers qui a progressivement rencontré des limites.

### *Les particularités de l'Espagne et de l'Italie*

Les Italiens aiment à rappeler que le développement de la grande vitesse ferroviaire a été chez eux antérieur à 1981. Mais la montée

en régime du trafic y a été beaucoup plus tardive, et limitée, tout comme en Espagne, l'autre champion européen du TGV.

Ce que nos deux voisins latins ont en commun avec nous est la distribution des villes dans l'espace national. A la différence de l'Allemagne, où existent beaucoup de villes moyennes assez proches les unes des autres, en Espagne comme en France, la capitale est à plusieurs centaines de kilomètres des métropoles secondaires. Un réseau en étoile a donc été réalisé pour desservir, depuis Madrid, Séville, Barcelone, Valence etc. La géographie de l'Italie diffère, mais les distances entre les grandes villes (Milan, Rome, Naples...) autorisent la création d'un axe nord-sud auquel s'ajoutent progressivement des branches vers Turin ou Venise. Mais si la géographie urbaine rapproche ces deux pays du modèle français, de grandes différences apparaissent dans les trafics et par conséquent dans le modèle économique.

➤ En Espagne<sup>3</sup> le réseau classique n'avait pas été construit en utilisant l'écartement UIC (Union internationale des chemins de fer). La connexion avec le réseau européen supposait une adaptation coûteuse à laquelle l'Espagne, avec l'aide généreuse de l'Union européenne, a préféré substituer la création *ex nihilo* d'un réseau LGV. Il dépasse aujourd'hui les 3 300 km, 800 de plus qu'en France. Ce surdimensionnement provient d'une stratégie nationale de renforcement des liens avec le pouvoir central, dans un pays où les courants indépendantistes traversent plusieurs nationalités. La contrepartie de cette ambition est un coût élevé pour les usagers (les billets sont relativement chers) et surtout pour la collectivité qui doit subventionner très fortement les infrastructures. Pour un réseau 30 % plus étendu que le réseau français, le trafic TGV en Espagne représente environ un quart du trafic TGV en France, soit un peu plus de

2. Ce n'était pas le cas de l'aérotrain de l'ingénieur Bertin, un temps concurrent du TGV. Le constat est le même pour le train à sustentation magnétique de type *Maglev*, que l'Allemagne a abandonné dans les années 1990.

3. Comme la Russie, l'Espagne conservait un mauvais souvenir des conquêtes napoléoniennes. Pour se protéger, ces deux pays choisirent pour leur réseau ferré un gabarit empêchant l'entrée de trains étrangers.

15 milliards de voyageurs.km. Cela conduit à une faible intensité du trafic (en 2019, 4,5 millions de voyageurs.km par km de réseau, contre 23 en France !). Le Français voyageant en TGV en Espagne est surpris de voir circuler des rames de seulement 4 voitures, ce faible emport étant associé à une fréquence supérieure à ce qu'elle est en France.

- En Italie, les LGV relient aujourd'hui les principales villes de la péninsule. Le réseau dépasse les 1 400 km et des projets sont toujours en chantier. Sur la dorsale italienne, les trafics ont connu une progression rapide sans toutefois donner une impulsion significative au transport ferroviaire. En 2019, on comptait un peu plus de 56 milliards de voyageurs.km dans les trains italiens, dont seulement 10 % de plus qu'à la fin du xx<sup>e</sup> siècle. Le TGV (16 milliards de voyageurs.km) s'est donc substitué aux services ferroviaires classiques et à une partie du trafic aérien domestique, mais dans un contexte de déclin démographique et économique qui limite la demande potentielle. Depuis le début du siècle, la dénatalité et l'émigration font diminuer la population de l'Italie, et le revenu par habitant y était en 2019 à peu près le même qu'en 2007. Malgré ce contexte peu favorable, l'Italie a choisi la concurrence entre plusieurs opérateurs ferroviaires sur une même liaison. C'est un cas assez rare de concurrence « sur le marché » (*on track*), alors que dans le ferroviaire, la concurrence se fait généralement « pour le marché » (*off track*), via les délégations de service public. Mais la concurrence entre l'opérateur historique (FS<sup>4</sup>) et le nouvel entrant (NTV<sup>5</sup>) a failli tourner court. Pour sauver ce dernier, il a fallu en 2014 baisser fortement les péages ferroviaires, la différence étant prise en charge par les régions. Un scénario qui pourrait se produire en France.

## TGV : le temps des doutes

Le début des années 2000 a été marqué en France par une forte demande des élus locaux en matière d'infrastructures de transport. Après son affirmation dans les décisions du CIADT (Conseil interministériel d'aménagement du territoire) de décembre 2003, elle se concrétisa en 2004 par la création de l'Agence de financement des infrastructures de transport de France (AFITF) et le Schéma national des infrastructures de transport (SNIT), voté à la quasi-unanimité du Parlement en 2009. Mais très vite des doutes sont apparus [Fressoz 2011]. La SNCF elle-même souhaitait mettre un terme à cette fuite en avant, tout comme le recommandera en 2013 la commission Mobilité 21. Les annonces du président Macron en 2017 ne furent donc pas une surprise. Elles se fondaient sur les limites économiques et commerciales, mais aussi parfois environnementales, que rencontrait en France et en Europe la grande vitesse ferroviaire. Au point que les ambitions réaffirmées de l'Union européenne méritent d'être interpellées.

### *Le calcul économique, de l'intérêt aux limites de la grande vitesse ferroviaire*

Le calcul économique a joué en France un rôle clé en faveur de la grande vitesse ferroviaire. Il a en effet montré que les premières LGV ont créé de la valeur en ce sens que les gains ont été supérieurs aux coûts. Pour mesurer les uns et les autres, deux méthodes existent. La première s'intéresse à la seule rentabilité financière pour l'opérateur, mesurée par la valeur actualisée nette (VAN). La seconde conduit le même type de raisonnement du point de vue de la collectivité tout entière. Les avantages et les coûts intègrent alors les gains de temps et les effets externes, positifs ou négatifs selon les cas (voir encadré 1). Or,

4. Ndlr: *La Ferrovie dello Stato Italiane S.p.A.* - FS, (litt. « Chemins de fer italiens de l'État »), est une entreprise ferroviaire publique exploitant le réseau national des chemins de fer italiens.

5. Ndlr: *Nuovo Trasporto Viaggiatori* (NTV) est une entreprise ferroviaire privée italienne créée en décembre 2006.

au début des années 2010, la rentabilité des nouvelles LGV est devenue problématique comme l'ont montré les évaluations *ex-post* qui sont obligatoires en France depuis 1982 et la « Loi d'orientation des transports intérieurs » (LOTI). Ces évaluations, les fameux « bilans LOTI » ont été synthétisés par J.P. Taroux (2013).

Les bilans LOTI montrent que la rentabilité des projets de LGV a progressivement décliné, tant pour le TRI (Taux de rentabilité interne) économique que pour le TRI socio-économique. Le tableau 1 compare les TRI éco-

nomiques calculés *ex ante* et les résultats *ex post*, souvent inférieurs. Mais à l'exception de la LGV Nord, les différences ne sont pas très importantes et la rentabilité économique, qui intègre les frais financiers, est toujours positive, mais elle diminue pour les LGV Rhône-Alpes et Méditerranée. À sa façon, le calcul économique nous dit jusqu'où ne pas aller trop loin en matière de grande vitesse ferroviaire. La construction d'une LGV est coûteuse et son exploitation l'est également si les trafics sont trop faibles. Les limites du TGV sont donc bien documentées.

### Calcul économique et rentabilité

La valeur actualisée nette (VAN) d'un projet compare l'investissement consenti par l'opérateur ( $I_j$ ) et les frais financiers ( $F_j$ ) aux recettes ( $R_j$ ), dont sont déduits les coûts d'exploitation ( $C_j$ ). Ces valeurs prévisionnelles pour chaque année de durée de vie du projet sont actualisées à l'année de référence par l'application d'un taux d'actualisation  $a$ . En fin de période est ajoutée la valeur résiduelle actualisée de l'infrastructure ( $K_{t_n}$ ). L'actualisation se fait pour une année de référence  $t_r$ , qui précède l'année de début des travaux  $t_p$ ,  $t_n$  étant l'année de la fin de l'exploitation. C'est pourquoi l'actualisation se fait sur la base de l'année de référence  $t_r$  qui peut précéder de plusieurs années le début des travaux  $t_p$ .

La VAN se définit donc comme suit :

$$VAN = \sum_{j=t_p-t_r}^{j=t_n-t_r} \frac{-\Delta I_j + \Delta R_j - \Delta C_j - \Delta F_j}{(1+a)^j} + \frac{K_{t_n}}{(1+a)^{t_n-t_r}}$$

Dans le calcul de la VAN, les montants sont en monnaie courante. La VAN vise à comparer différents projets. Plus la VAN est importante, plus les sommes générées par l'investissement sont importantes. De la VAN financière, on déduit le taux de rentabilité interne (TRI) financier. Il est déterminé par la valeur de  $a$  (taux d'actualisation) qui annule la VAN. On peut aussi calculer un TRI économique en ne prenant pas en compte les frais financiers.

Sur cette base, il est aussi possible de calculer une VAN socio-économique, ou Bénéfice Net Actualisé (BNA), dont la définition est la suivante :

$$BNA = \sum_{j=t_p-t_r}^{j=t_n-t_r} \frac{-\Delta I_j + \Delta R_j - \Delta C_j + \Delta A_j}{(1+a)^j} + \frac{K_{t_n}}{(1+a)^{t_n-t_r}}$$

Le BNA est le pendant de la VAN, mais pour la collectivité. Son calcul est soumis à la réserve de pouvoir estimer de façon monétaire les différents avantages et coûts externes ( $A$ ) d'un investissement public. Parmi les avantages monétarisés, les gains de temps occupent un rôle majeur. Notons que ne sont pas pris en compte les frais financiers qui sont un transfert entre membres de la collectivité. Le calcul se fait en monnaie constante de l'année de référence de l'actualisation. De même que pour la VAN financière, on calcule avec la VAN socio-économique un TRI socio-économique, qui est la valeur du taux d'actualisation  $a$  qui annule le BNA.

Tableau 1 : TRI « économique », valeurs *ex ante* et *ex post*

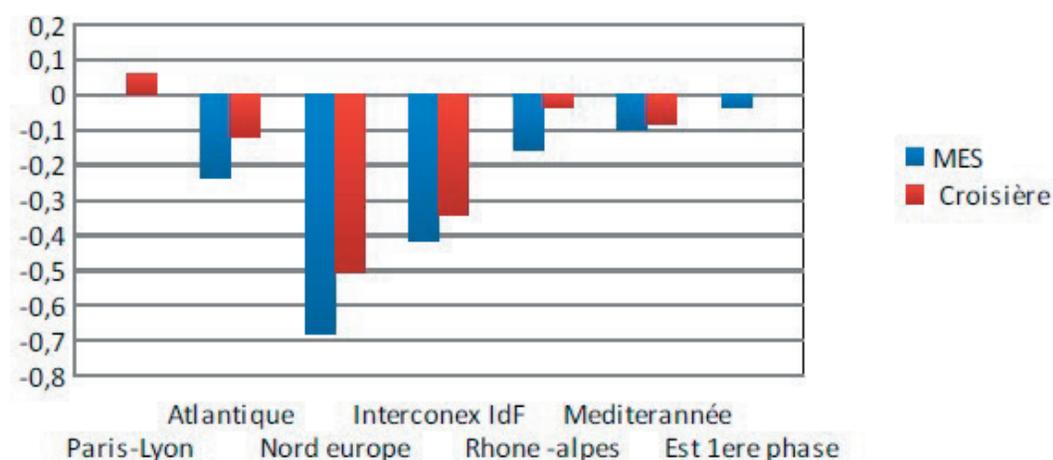
	TRI <i>ex ante</i>	TRI <i>ex post</i>
LN1 (Paris-Lyon)	16,5 %	15,2 %
LN2 (Atlantique)	12,0 %	7,0 %
LN3 (Nord Europe)	13,0 %	3,0 %
Interconnexion Ile-de-France	10,8 %	6,9 %
LN4 (Rhône-Alpes)	10,4 %	6,1 %
LN5 (Méditerranée)	8,0 %	4,1 %

Source : J.P. Taroux

Les écarts entre rentabilité *ex-ante* et *ex-post* sont souvent liés à un niveau de trafic inférieur à ce qui était attendu, ce que montre la figure 1 où apparaît en ordonnées le coefficient multiplicateur, positif ou négatif, des résultats par rapport aux prévisions. Certaines lignes ont connu des trafics significa-

tivement inférieurs à ce qui était prévu, tant à la mise en service (MES) qu'en phase de croisière de l'exploitation : jusqu'à -50% en régime de croisière pour la LGV Nord et -35% pour l'interconnexion entre le Sud-Est et le Nord, située à l'Est de Paris.

Figure 1 : Écarts entre les trafics attendus et observés

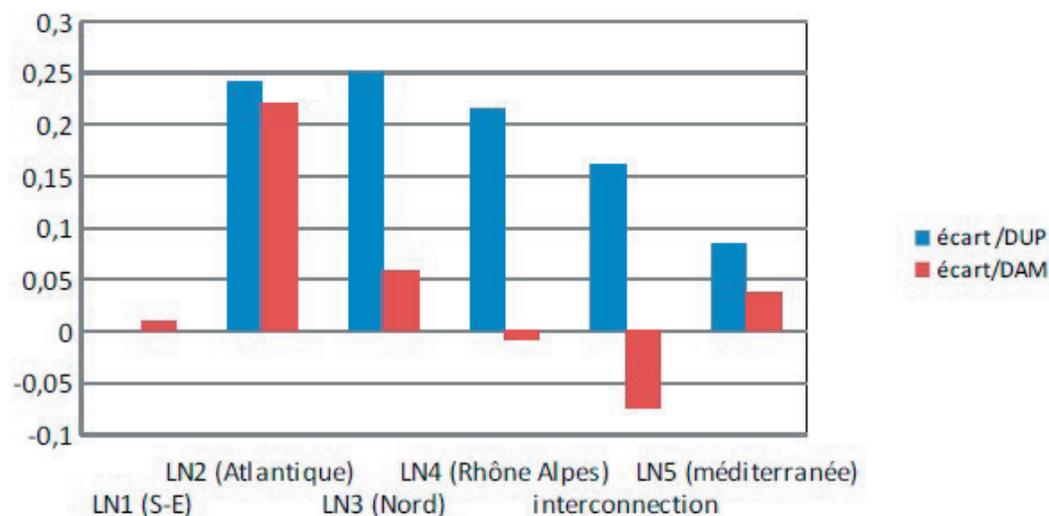


Source: J.P. Taroux

Il faut aussi tenir compte du fait que le coût des travaux a parfois connu des dépassements comme le montre la figure 2. Plusieurs lignes dépassent de 15 à 25% les estimations

de la DUP (déclaration d'utilité publique), et parfois celles du DAM (dossier d'avant-projet modificatif) qui est généralement plus proche de la réalité car plus étayé.

Figure 2: Écarts observés sur le coût des travaux



Source : J.P. Taroux

On retrouve ici un constat bien connu. Les résultats du calcul économique *ex-ante* ne doivent pas être pris pour argent comptant. Il n'est pas rare d'observer que les porteurs de projets gonflent les trafics attendus et sous-estiment les coûts de construction. Mais

l'ampleur des écarts est restée modeste pour les LGV. Le tableau 2, qui s'intéresse au TRI socio-économique, montre que les gains pour la collectivité ont été substantiels, même s'ils ont été inférieurs à ce qui était annoncé sauf sans doute pour la ligne Lyon-Paris.

Tableau 2: TRI « socio-économique », valeurs *ex ante* et *ex post*

	TRI <i>ex ante</i>	TRI <i>ex post</i>
LN1 (Paris-Lyon)	28,0 %	nd
LN2 (Atlantique)	23,6 %	12,0 %
LN3 (Nord Europe)	20,3 %	5,0 %
Interconnexion Ile-de-France	18,5 %	15,0 %
LN4 (Rhône-Alpes)	15,4 %	10,6 %
LN5 (Méditerranée)	12,2 %	8,1 %

Source : J.P. Taroux

Le système TGV a donc offert à la collectivité, grâce aux gains de temps et à la baisse des émissions polluantes, des TRI socio-économiques de bon niveau. Les évaluations *ex-post* des 25 premières années de TGV en France ont montré que le gain net de surplus pour

la collectivité s'élevait à 45,9 milliards d'euros pour la ligne 1 (Sud-Est), à 23,8 pour la ligne Atlantique (Sud-Ouest) et à 4,9 pour la ligne Nord. Soit un total de 74,6 milliards d'euros constants de 2005, provenant en très grande majorité des gains de temps des voyageurs.

Pour le TGV Nord, le faible TRI, économique autant que socio-économique, vient du fait que les trafics, notamment vers Londres, ont été très longs à progresser. Eurostar a mis 20 ans avant d'être bénéficiaire, avant que la crise sanitaire ne place cette compagnie au bord de la faillite. Dans tous les pays, la pandémie a fait chuter drastiquement les voyages à longue distance et vient ajouter de nouvelles questions sur l'avenir de la grande vitesse ferroviaire.

### ***Europe de la grande vitesse : de multiples interrogations***

La Cour des comptes européenne (CCE) a dressé en 2018 un état des lieux du développement de la grande vitesse ferroviaire en Europe<sup>6</sup>. A l'image de son titre « Réseau ferroviaire à grande vitesse européen : fragmenté et inefficace, il est loin d'être une réalité », le contenu du rapport est sévère au regard des ambitions de l'Union européenne. Pour la grande vitesse ferroviaire, le Livre blanc de 2011 listait les objectifs suivants : à l'horizon 2050, réaliser un véritable réseau européen de LGV afin que la majorité des déplacements intra-européens de moyenne distance se fasse en train et pas en avion ou en automobile ; dès 2030 le réseau de LGV devait tripler. Cet objectif est interpellé par les auditeurs de la CCE.

Le réseau européen de LGV a triplé de 2000 à 2016, passant de 2 708 à 8 200 km. Mais dans le même temps, le trafic a seulement doublé pour atteindre 124 milliards de voyageurs.km. Dans ces conditions, le réseau doit-il vraiment tripler de taille entre 2010 et 2030 et atteindre plus de 20 000 km ? La question se pose dans la mesure où l'extension se fait depuis le début du siècle au prix de rendements décroissants. Après un maximum de 21,9 millions de voyageurs.km par

km de réseau, atteint en 2001, l'intensité du trafic a baissé en Europe de 50 % en 2016<sup>7</sup>. Ainsi que l'a montré la Cour des comptes européenne<sup>8</sup>, cela résulte de la mise en exploitation de lignes dont le potentiel est inférieur au seuil de pertinence d'une LGV, soit 9 millions de voyageurs km par an. Le rapport pointe du doigt 3 lignes nouvelles (Eje Atlántico, Madrid-León et Rhin-Rhône) dont les trafics étaient très inférieurs à ce seuil [de Rus & Nash]. Depuis, les nouvelles lignes ouvertes à la circulation en Espagne ont encore réduit l'intensité du trafic.

La CCE met aussi en lumière une réalité surprenante, la sous-utilisation des gains de vitesse. Le ratio (vitesse du service le plus rapide) / (vitesse opérationnelle maximale) ne peut atteindre 100 % du fait des accélérations et décélérations. Mais il est souvent inférieur à 70 % : 209 km/h au lieu de 300 pour Madrid-Barcelone, 186 au lieu de 300 pour Turin-Salerno. La différence provient des arrêts aux gares intermédiaires, certaines accueillant des trafics réduits. La question de l'implantation des gares est donc pointée du doigt par le rapport, notamment certaines « gares des betteraves » qui, en France, attirent très peu de voyageurs.

La CCE s'intéresse aussi aux lignes transfrontalières, celles qui pourraient bénéficier de financements européens. Or, elles ne sont pas les plus prometteuses en raison de « l'effet frontière ». Les principaux motifs de déplacement ont en effet un caractère national : réunion dans la capitale ou au siège social, visite à la famille ou aux amis... Seule une partie des déplacements touristiques et les voyages d'affaires sont intéressés par les LGV transfrontalières. C'est la raison pour laquelle Eurostar a mis aussi longtemps pour atteindre la rentabilité. En 2017, cette compagnie a transporté un peu plus de 10 millions

---

6. Version en français téléchargeable :

[https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18\\_19/SR\\_HIGH\\_SPEED\\_RAIL\\_FR.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18_19/SR_HIGH_SPEED_RAIL_FR.pdf)

7. L'intensité kilométrique était en 2016 de 17,5 en Italie, de 12,7 en Allemagne et de 5 en Espagne

8. [https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18\\_19/SR\\_HIGH\\_SPEED\\_RAIL\\_FR.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18_19/SR_HIGH_SPEED_RAIL_FR.pdf)

de voyageurs entre Londres et la France. C'est moins d'un quart du total, 14,9 millions ont utilisé les ferries, 8,4 les navettes pour automobiles et 8,7 ont pris l'avion.

Avec les compagnies *low-cost*, le transport aérien a réduit l'attractivité de la grande vitesse ferroviaire. Non pas à cause d'une concurrence directe point à point, mais du fait de l'incroyable diversification des destinations offertes aux clients. Pour décider de leurs vacances, les Européens ne commencent pas par choisir une destination, ils vont d'abord sur Internet regarder ce que proposent les compagnies aériennes. **Le choix du mode précède de plus en plus souvent le choix de la destination.** Cette évolution est manifeste en France. De 2008 à 2017, le trafic TGV a progressé de 12% alors qu'entre la métropole et l'Europe, on a compté 39% de passagers en plus. Le fait que de plus en plus d'aéroports soient connectés à une LGV a fait du TGV un complément du transport aérien et non un substitut comme l'énonçait le Livre blanc de 2011 !

Un doute existe aussi sur les impacts territoriaux de la grande vitesse ferroviaire. Elle n'apporte pas automatiquement la prospérité aux villes desservies. S'il est évident que Lyon, Lille, Marseille ou Bordeaux ont bénéficié de l'arrivée du TGV, il n'en va pas de même dans d'autres territoires. La grande vitesse accompagne les dynamismes démographiques et économiques existants, mais elle ne fait pas de miracle, comme le montre le cas de l'Italie. En France, des villes comme Reims, Nancy ou Metz n'ont pas observé de changement notable de l'emploi et de l'activité depuis le lancement du TGV Est en 2007 [Crozet 2018]. Tout ceci nous rappelle que la grande vitesse ferroviaire a une zone de pertinence limitée. D'une part car elle n'est compétitive que pour des temps de parcours qui ne dépassent pas 3 ou 4 heures [Tzieropoulos 2010], et d'autre part car son coût en réduit l'attrait pour les familles. Pour cette raison, la SNCF développe une offre TGV *low-cost* appelée « OUIGO ».

Elle devrait à terme représenter 30% des trafics TGV et compenser un phénomène inattendu mais net depuis 2008 : la réduction du nombre de voyages professionnels. Ce mouvement s'est accentué avec la pandémie et le recours aux outils numériques pour les réunions à distance. Or la clientèle d'affaires, si elle ne représentait que 17% des voyageurs, comptait pour près de 40% des recettes. Une autre source de péréquation est donc en train de disparaître, obligeant à revoir le modèle économique du TGV pour son exploitation, tout comme il a déjà été revu pour le financement des infrastructures.

## **Le TGV va-t-il entrer dans une logique non marchande ?**

La particularité des économies développées est l'importance des activités non marchandes, celles qui sont fournies aux consommateurs à un prix nul ou inférieur à la moitié du coût de production (définition INSEE). Les transports collectifs urbains sont depuis longtemps dans cette situation, tout comme les trains régionaux, en France et partout en Europe. Le caractère commercial du TGV en faisait donc une exception, qui est en train de disparaître du fait des besoins croissants en fonds publics pour les nouvelles LGV, mais aussi parfois pour baisser les péages, voire pour subventionner certains services, comme nous verrons au § 3.1 ci-après.

### *La part croissante des financements publics de l'infrastructure*

Le réseau français de LGV a été fortement étendu au cours des années 2010. Pressés par les élus locaux, dans une perspective de soutien à l'activité économique des entreprises françaises (bâtiment et génie civil, construction ferroviaire, SNCF...), quatre nouveaux projets ont été lancés presque simultanément. Le tableau 3 en résume les principales caractéristiques financières.

Tableau 3 : Les principales caractéristiques des 4 lignes en construction

	EST	BPL	CNM	SEA	Total
Coût total (millions d'€)	2 000	3 300	1 800	7 800	14 900
Longueur (km)	106	182	80	303	671
Coût/km (millions d'€)	18,9	18,1	22,5	25,7	22,2
RFF (millions d'€)	520	1 400	0	1 000	2 920
État (millions d'€)	680	950	1 200	1 500	4 330
Collectivités territoriales (millions d'€)	640	950	600	1 500	3 690
Union européenne + Luxembourg	160	0	0	0	160

Source : RFF

Ces 4 extensions ont été mises en service entre 2016 et 2018, dans les délais et les coûts prévus, ce qui mérite d'être souligné, tout comme le fait que le coût au km (22 millions d'€) est tout à fait raisonnable<sup>9</sup>. Elles ont réduit les temps de parcours vers Strasbourg (LGV Est), vers Bordeaux (Sud Europe Atlantique, SEA) ou vers la Bretagne (Bretagne Pays de Loire, BPL). Le Contournement Nîmes-Montpellier (CNM) ne fait pas gagner de temps dans sa forme actuelle. Il vise à résoudre un problème de capacité pour que soit possible ultérieurement la connexion avec l'Espagne, car le tunnel et la ligne entre Perpignan et Barcelone sont déjà en activité, avec un trafic modeste.

La lecture du tableau 3 révèle l'ampleur de la charge financière qu'ont représentée ces quatre opérations. Les 671 km de LGV supplémentaires ont nécessité près de 15 milliards d'euros. C'est une somme qui ne pouvait être couverte par les seuls péages ferroviaires, car les gains de trafic étaient limités. Il était donc nécessaire de mobiliser de l'argent public. Comme l'État ne pouvait à lui seul couvrir un montant total de subventions dépassant légèrement les 7 milliards d'euros, il a été fait appel aux collectivités territoriales pour près

de la moitié de cette somme. Le secteur privé a été également mobilisé :

- Soit sous la forme d'une concession de 50 ans pour SEA. La société LISEA (filiale de Vinci) a construit et opère depuis 2017 la LGV SEA en se rémunérant avec les péages. Elle supporte donc le risque trafic, ce qui a conduit à un bras de fer avec la SNCF lors de l'ouverture de la ligne [Crozet 2015]. Le transporteur a en effet cherché à limiter le nombre de circulations, car les péages unitaires sont élevés. Malgré cela, il était clair dès l'origine qu'ils seraient insuffisants pour couvrir le coût total de la ligne nouvelle Tours-Bordeaux. Un financement public de 3 milliards d'€ a donc été nécessaire, auquel s'est ajoutée la contribution financière de Réseau ferré de France (1 milliard d'€) qui bénéficie depuis d'un surcroît de trafic sur la ligne Paris-Tours. Sachant que d'autres dépenses ont été engagées par RFF en lien avec cette opération, il est désormais évident que de tels projets sont gourmands en fonds publics. L'autofinancement des LGV est désormais de l'histoire ancienne.
- C'est encore plus vrai pour les contrats de partenariat public-privé (PPP) de 30 ans, dans le cadre desquels l'entreprise qui construit et entretient la ligne ne sup-

9. Les coûts annoncés pour le segment Bordeaux-Toulouse approchent les 40 millions € au km.

porte pas le risque trafic. Ainsi, pour la LGV BPL, la société Eiffage percevra pendant 25 ans un loyer payé par l'AFITF<sup>10</sup> d'une part et SNCF-Réseau d'autre part. La même logique a été appliquée à CNM pour le groupe Bouygues. On notera que pour CNM, SNCF-Réseau n'a pas apporté de financement car cette opération n'avait qu'un très faible impact sur les recettes.

A l'heure où le gouvernement français évoque une relance de certains projets de LGV, il est utile de rappeler que les montages financiers de telles opérations ne sont pas simples. Ainsi, pour Bordeaux-Toulouse, l'État se dit prêt à mettre 4,2 milliards d'€ sur la table, mais cela ne représente qu'un peu plus de la moitié du coût total. Les collectivités territoriales seront-elles prêtes à s'engager pour un montant qui pourrait atteindre deux fois celui qu'a nécessité SEA ? Tout cela alors même que l'État a dû reprendre 35 milliards d'€ de dettes de SNCF réseau (25 en 2021 + 10 en 2022) et que la pandémie a obligé ce même État à recapitaliser la SNCF à hauteur de 4,3 milliards d'€ en 2020. Sachant qu'il est fort probable qu'un nouveau coup de pouce sera nécessaire en 2021 ! Jusqu'où se poursuivront les surenchères ferroviaires ?

Le terme de surenchère se justifie d'abord par les questions environnementales. Ainsi, pour le projet de LGV entre Stockholm et Malmoë, des chercheurs suédois [Nilsson J.E. & Pydokke R., 2009] ont montré que la construction d'une LGV représente d'importantes émissions de gaz à effet de serre, difficiles à compenser dans le temps quand les trafics sont faibles<sup>11</sup>. Un Bilan carbone conduit par RFF sur la branche Est du TGV Rhin-Rhône (ouverte au trafic fin 2011) a montré qu'il fallait attendre 12 années de trafic pour compenser, par la baisse des émissions de CO<sub>2</sub> permises par les TGV, les émissions liées au chantier de construction. Mais

comme les trafics sont très inférieurs aux estimations initiales, il faudra 25 années au moins pour arriver à ce résultat. A titre indicatif, il faut déplacer 100 m<sup>3</sup> de terre pour un mètre de ligne nouvelle ! A cela s'ajoutent les émissions liées à la production et au transport du béton, de l'acier etc.

Parler de surenchère aide aussi à comprendre la prudence des gouvernements qui, en 2013, puis en 2017, ont acté un ralentissement, voire un arrêt, du développement de nouveaux chantiers de LGV. Les raisons de cette prudence financière subsistent aujourd'hui car, fort logiquement, les lignes qui restent à construire sont celles où le trafic est potentiellement faible et où les coûts de construction sont élevés, notamment quand elles passent dans des territoires fortement urbanisés. En outre, comme dans le cas de la liaison entre Marseille et Nice, la tentation est grande de basculer vers un TGV régional. Au risque de multiplier les gares et donc de ralentir les temps de parcours alors même que la demande potentielle, celle de la mobilité quotidienne, ne peut payer le prix de la grande vitesse. A la question du coût de l'infrastructure, s'ajoutent donc des interrogations sur les types de service et la demande potentielle. Pour que les trafics soient au rendez-vous, faudra-t-il aller jusqu'à subventionner non seulement l'infrastructure mais aussi l'exploitation, comme c'est le cas pour les trains régionaux ?

### **La concurrence et les défis du *low-cost* ferroviaire**

La Commission européenne cherche depuis de nombreuses années à développer la concurrence intra-modale dans le ferroviaire et notamment dans la grande vitesse. Mais la concurrence sur le marché est restée faible en Europe, car les risques sont élevés pour les opérateurs. Ainsi, la Deutsche Bahn, qui avait

---

10. Agence de financement des infrastructures de transport de France, voir plus haut.

11. Voir aussi un rapport détaillé établi en Suède en 2012 : [http://www.ems.expertgrupp.se/Uploads/Documents/6-mars/EMS-2012\\_1%20till-webben.pdf](http://www.ems.expertgrupp.se/Uploads/Documents/6-mars/EMS-2012_1%20till-webben.pdf)

envisagé il y a 10 ans de concurrencer Eurostar sur la relation Bruxelles-Paris, a renoncé à ce projet. Avec l'ouverture à la concurrence sur les LGV françaises, on sait que la RENFE (l'opérateur public espagnol) et Trenitalia (l'opérateur public italien) envisagent de proposer des services en France, tout comme la SNCF vient de le faire en ouvrant en mai 2021 un service OUIGO entre Madrid et Barcelone.

Mais l'expérience OUIGO pose des questions. Le succès de ces services est indéniable. D'une part car c'est un moyen pour la SNCF de réduire sensiblement ses coûts de production et, d'autre part, car la demande est au rendez-vous. Les voyageurs paient en moyenne 5 centimes par km parcouru contre environ 10 centimes pour les services INOUI. Le résultat est que les recettes nettes d'un service OUIGO sont faibles, alors qu'il cannibalise l'offre INOUI sur les lignes les plus profitables. La SNCF elle-même indique qu'environ la moitié des clients OUIGO auraient, en l'absence d'un tel service, voyagé avec INOUI. On se retrouve donc dans une situation classique que les économistes appellent « concurrence à la Cournot ». Dans cette configuration, ce que cherchent les entreprises est d'occuper le terrain en augmentant les volumes des ventes. L'offre OUIGO a en effet été conçue pour faire pièce au développement du covoiturage (Blablacar) et des autocars à longue distance, dont le marché a été ouvert en France en 2015. Mais les cars « Macron » n'ont jamais atteint la rentabilité [Crozet & Guihéry 2018] et la pandémie les a particulièrement affectés, tout comme elle a réduit la clientèle de Blablacar qui avait eu en outre l'imprudence de racheter à la SNCF sa filiale Ouibus, devenue Blablabus, dont l'activité est aujourd'hui réduite. OUIGO s'attaque donc à un marché où ses concurrents directs perdent de l'argent, ce qui suscite des interrogations.

La contrepartie de l'occupation du terrain commercial *via* une hausse des volumes est la

baisse des prix et des recettes unitaires. Cela signifie pour la SNCF une remise en cause à terme du principe de péréquation massive entre les services TGV. Le modèle économique du Paris-Lyon a vécu, et sa métamorphose va s'accélérer si Trenitalia ou la Renfe viennent concurrencer la SNCF sur cette relation qui fournit à la SNCF la majeure partie de ses excédents. Obligée de répondre aux concurrents par une guerre tarifaire (plus de services OUIGO), l'opérateur historique sera conduit à demander des aides publiques pour les services non rentables sur d'autres segments du réseau. Nous touchons là au cœur de l'ultime métamorphose du modèle économique de la grande vitesse ferroviaire. Après avoir été contrainte de financer les infrastructures, les administrations publiques centrales ou locales vont être appelées à l'aide pour subventionner certains services commerciaux. Ce sera le prix à payer pour le maintien et le développement de la grande vitesse ferroviaire sur des marchés où la clientèle est réduite ou à faible capacité contributive.

## Conclusion

En Europe, la pandémie a fortement affecté la grande vitesse ferroviaire. Après une année 2020 où les trafics ont baissé de plus de 50%, la reprise observée en 2021 est lente car les déplacements à longue distance restent problématiques pour les voyageurs. Ce choc brutal est de plus survenu à un moment où le développement du réseau de LGV suscitait de multiples interrogations, notamment sur la taille optimale du réseau de LGV, en France mais aussi en Italie et en Espagne. Même en Grande-Bretagne, où la grande vitesse ferroviaire est peu développée, la mise en chantier de la ligne HS2<sup>12</sup> reste un sujet très controversé compte tenu du coût très élevé des travaux.

---

12. *High Speed 2* doit desservir les villes situées au nord de Londres (Birmingham, Sheffield), et ensuite l'Écosse en passant par Liverpool. Son coût pourrait atteindre, voire dépasser les 100 millions d'€ par km.

Malgré ces questions, de part et d'autre de la Manche, mais aussi en Italie et en Espagne, les décideurs publics ont choisi de poursuivre l'extension du réseau de LGV « quoi qu'il en coûte ». La grande vitesse ferroviaire reste un marqueur politique fort de la modernité et du volontarisme en matière d'aménagement du territoire. Le financement de ces infrastructures sera donc très largement public, ce qui est logique mais conduit à une autre série de questions sur les trafics et le modèle économique de l'exploitation des TGV.

Les services TGV sont déjà et seront de plus en plus confrontés à une double concurrence : intermodale d'une part (covoiturage, autocars, avion) mais aussi intra-modale du fait de l'arrivée de nouveaux opérateurs. Pour s'adapter à ce nouveau contexte, les exploitants ferroviaires se sont lancés dans le *low-cost*. Pour le client, cela se traduit

par une baisse des prix, mais ce que visent les entreprises est une concurrence par les volumes afin d'occuper le terrain pour limiter au maximum l'entrée de nouveaux entrants. Le problème est que cela ne se traduit pas par une forte hausse de la demande et du chiffre d'affaires. Pour se partager un marché peu dynamique, chaque acteur doit accepter de réduire ses marges, et souvent d'opérer à perte.

En France, le raisonnement fondateur de la loi « Pacte ferroviaire » de 2018 était que le système TGV était arrivé à la maturité et qu'il allait dégager des excédents autorisant des subventions croisées, notamment au bénéfice du réseau. Ce schéma est aujourd'hui obsolète : le modèle économique de la grande vitesse repose désormais sur les financements publics, pour les infrastructures mais aussi à terme pour l'exploitation.

## Références

**Bilan Carbone®**, 1<sup>er</sup> Bilan Carbone ® ferroviaire global, la ligne à grande vitesse Rhin-Rhône au service du développement durable, 8 pages, [www.rff.fr](http://www.rff.fr)

**Bilans Loti**, mission d'expertise sur 25 ans de TGV <http://www.rff.fr/fr/mediatheque/textes-de-referance-francais-45/loti/>

**Bonnafous A. & Crozet Y.**, (2018). *Consumer surplus and pricing of transport infrastructures: the legacy of Jules Dupuit*, in *Transport Policy*, Elsevier, 2018, special issue: Jules Dupuit, Secret Origins of Modern Transportation Science, p. 8-13.

**Bonnafous A. & Crozet Y.**, (1997). Évaluation, dévaluation ou réévaluation des lignes à grande vitesse, in *Les cahiers scientifiques du Transport*, n°32/1997, p. 45-55.

**Crozet Y.**, (2021). « 1991-2031, 40 ans de mise à l'épreuve du ferroviaire », in *revue Ville Rail et Transport*, juillet-août, p. 68-75.

—, (2018). Regional Economic Development in France: High-speed rail and « Grand Paris Express », in *Strategic Investment Packages, Case-Specific Policy Analysis*, ITF/OECD, Bratislava, 2018, p. 45-58.

- , (2018). Regional Development and High Speed Rail in France: Accessibility Gains are not enough, in *La revue d'histoire des Chemins de fer*, n°48/49, p. 418-435
- , (2014). "Extension of the high speed rail network in France: Facing the curse that affects PPPs in the rail sector", *Research in Transportation Economics*, Vol. 48, p. 401-409.
- , (2016). *Hyper-mobilité et politiques publiques: changer d'époque?*, Paris, Economica, 192 p.
- , (2015). « *La LGV Tours-Bordeaux pourra-t-elle échapper à la malédiction des PPP ferroviaires?* », in revue *Transports* n°494, Décembre 2015, p. 22-33.
- Crozet Y. & Guihéry L.**, (2018). Deregulation of long distance coach services in France, *Research in Transportation Economics*, Elsevier, August 2018, 10 pages.
- de Rus G. and Nash C.**, (2009). *In what circumstances is investment in HSR worthwhile?* in G. de Rus, ed, *Economic Analysis of High Speed Rail in Europe*, Fundacion BBVA, Madrid.
- de Rus G. and Nombela G.**, (2007). *Is investment in high speed rail socially profitable?* *Journal of Transport Economics and Policy* 41(1) 3-23.
- Fresso M.**, (2011). *F.G.V, faillite à grande vitesse*, Éditions du Cherche Midi, 216 p.
- Nash. C.**, (2009). *When to Invest in High Speed Rail Links and Network?* Discussion paper, International Transport Forum (ITF-OECD)18<sup>th</sup> Symposium, Madrid, 16-18 November, 24 p. [www.internationaltransportforum.org](http://www.internationaltransportforum.org)
- Nilsson J.E. & Pydokke R.**, (2009). High Speed Railways, a climate policy sidetrack, VTI (Swedish National Road and Transport research) Rapport 655, <http://www.vti.se/EPiBrowser/Publikationer/R655.pdf>
- Taroux J.P.**, (2013). Bilans ex post d'infrastructures, analyse des coûts et des trafics, Rapport et documents, commissariat général à la stratégie et à la prospective, 14p. [http://www.strategie.gouv.fr/blog/wp-content/uploads/2013/09/CGSP\\_Évaluation\\_socioeconomique\\_170920131.pdf](http://www.strategie.gouv.fr/blog/wp-content/uploads/2013/09/CGSP_Évaluation_socioeconomique_170920131.pdf)
- Tzieropoulos P.**, (2010). High speed, the change of paradigm in railway planning, and other stories, in *Applied Transport Economics, a management and policy perspective* (E. Van de Voorde & Th Vanellander ed.), de Boeck, p. 321-360

# Hyperloop et les rêves de vitesse

*Hervé de Tréglodé et Yves Crozet*

---

Les trains à grande vitesse (TGV), au-dessus de 250 km/h de vitesse moyenne, sont en exploitation dans bien des pays. Leur succès technique et commercial est incontestable. La vitesse maximale sur les lignes à grande vitesse (LGV) peut être de 300 km/h (comme en Allemagne), ou de 320 km/h (sur la LGV Est européenne par exemple), ou même de 350 km/h (comme en Chine). Le record mondial de vitesse est de 574,8 km/h, vitesse atteinte le 3 avril 2007 en France<sup>1</sup>. Ces trains sont donc capables de vitesses de croisière plus hautes que 350 km/h, mais la balance des avantages et inconvénients économiques ont persuadé les pays de ne pas aller au-delà à ce stade. En France, par exemple, cette question fut âprement débattue entre 2005 et 2010. La conclusion fut alors de ne pas dépasser 320 km/h : la consommation d'énergie et le bruit progressent très vite au-delà.

Outre un très haut niveau de sécurité et de faibles émissions de gaz à effet de serre, le grand avantage des trains à grande vitesse est de pouvoir circuler non seulement sur les voies qui leur sont réservées, mais aussi sur toute voie ancienne, électrifiée, dont l'écartement des files de rail est le même. Pour ces raisons, dès le début de son premier

mandat (2009-2012), le président Obama avait lancé l'idée de créer des LGV aux Etats-Unis, notamment en Californie où les trafics aériens entre Los Angeles et San Francisco atteignaient des niveaux problématiques. Des études ont été lancées, auxquelles la SNCF a étroitement participé. Elles ont montré que la mise en œuvre d'un tel projet était difficile, et que le coût de réalisation serait très élevé (50 à 60 milliards de \$).

Il n'en fallait pas plus pour que l'entrepreneur Elon Musk propose de substituer au TGV un système totalement nouveau appelé Hyperloop Alpha (voir encadré n° 1). De petites capsules de 2,2 m de diamètre circuleraient sur coussin d'air dans deux tubes aériens sous vide à plus de 1 200 km/h. Objet d'un grand retentissement dans les médias du monde entier, en raison de la célébrité de son inventeur, ce qui était présenté comme un cinquième mode de transport peut-il être réalisé, et en peu de temps, comme l'affirmait Elon Musk ? Le présent article se propose, huit ans plus tard, d'apporter quelques réponses argumentées, d'abord sur les enjeux techniques de cette innovation de rupture, puis sur ses dimensions économiques qui ne sont pas les moindres.

---

1. Ndlr: Voir dans le présent bulletin l'article « La saga des records de vitesse ».

## Une myriade de questions techniques

Les prémisses du raisonnement d'Elon Musk sont les suivantes : faire beaucoup mieux que le TGV mais aussi mieux que le *maglev*, train à propulsion ou sustentation magnétique (à basse ou haute vitesse) circulant à l'air libre. Il devient un *vactrain* quand il se meut dans un tube dont l'air est plus ou moins raréfié par pompage. *Hyperloop* correspondrait donc à un *vactrain* atteignant des vitesses extrêmement hautes (1 000 km/h ou plus).

Pour évaluer sa faisabilité, nous commencerons par faire le point sur les technologies de sustentation<sup>2</sup> et de propulsion, avant de dresser la liste des obstacles à franchir et des entreprises qui s'y attellent. Cela nous conduira à établir un pronostic.

### Encadré 1 : le raisonnement initial d'Elon Musk pour Hyperloop Alpha

En juin 2013, E. Musk publiait une courte étude, dont les extraits ci-dessous ciblent les principales questions techniques à résoudre pour que l'innovation proposée voie le jour :

« Chaque fois que vous avez une capsule ou un pod (j'utilise les mots de manière interchangeable) se déplaçant à grande vitesse dans un tube contenant de l'air, il y a une dimension minimale du tube par rapport à la surface du pod en dessous de laquelle vous étouffez le flux. Cela signifie que si les parois du tube et de la capsule sont trop rapprochés, la capsule se comportera comme une seringue, et finira par être obligée de pousser toute la colonne d'air dans le système. Pas bon !

La loi de la physique sur la vitesse maximale pour un rapport donné entre une surface de tube et une surface de capsule est connue sous le nom de limite de Kantrowitz. Ceci est très problématique, car cela vous oblige soit à aller lentement soit à avoir un tube de diamètre exceptionnellement énorme. Fait intéressant, il y a généralement deux solutions à la limite de Kantrowitz : une où vous avancez lentement, et une où vous aller vraiment très vite.

Cette dernière solution semble très attrayante au premier abord, jusqu'à ce que vous vous rendiez compte qu'aller à plusieurs milliers de milles par heure signifie que vous ne pouvez pas accepter des virages même larges sans forces g douloureuses. Pour un voyage de San Francisco à Los Angeles, vous aurez aussi à supporter une accélération et une décélération assez intenses. [...]

Tant pour le confort de voyage que pour la sécurité, il serait préférable de voyager à haute vitesse subsonique pour un voyage de 350 milles. Pour les trajets beaucoup plus longs, comme de Los Angeles à New York, il vaudrait la peine d'explorer des vitesses très élevées. C'est probablement techniquement faisable, mais [...] je pense que la bonne solution économique serait probablement de privilégier l'avion supersonique.

L'approche qui, je crois, surmonterait la limite de Kantrowitz serait de monter un ventilateur de compresseur électrique sur le nez de la nacelle, afin de transférer activement l'air sous haute

2. Les mots sustentation et lévitation seront considérés comme des synonymes, de même que le mot anglais *suspension*.

pression de l'avant vers l'arrière du mobile. Ce serait comme avoir une pompe dans la tête de la seringue, qui allégerait la pression.

Cela résoudrait aussi simultanément un autre problème, à savoir comment créer un système de suspension à faible friction lors de déplacements à plus de 700 milles par heure. Les roues ne fonctionnent pas très bien à de telle vitesse, mais un coussin d'air conviendrait bien. Il a été démontré que les coussins d'air, qui utilisent le même principe de base qu'une table de hockey sur coussin d'air, fonctionnaient à des vitesses de Mach 1,1 avec un très faible frottement. Dans ce cas, cependant, c'est la capsule qui produirait le coussin d'air, plutôt que le tube, car il est important de rendre le tube aussi peu coûteux et simple que possible.

Cela soulève alors la question de savoir si une batterie pourrait stocker suffisamment d'énergie pour alimenter un ventilateur pendant toute la durée du voyage, et si la place serait suffisante. Sur la base de nos calculs, ce n'est pas un problème tant que l'énergie utilisée pour accélérer le pod n'est pas tirée de la batterie.

C'est là qu'interviendrait le moteur électrique linéaire externe, qui serait simplement un moteur à induction (comme celui de la Tesla Model S) qu'on aurait déroulé. Il accélérerait la capsule jusqu'à une vitesse subsonique élevée, et il fournirait une nouvelle impulsion environ tous les 70 milles. Le moteur électrique linéaire ne serait nécessaire que pour environ 1 % de la longueur du tube ; ce ne serait donc pas particulièrement coûteux. »

### *Sustentation et propulsion : des principes allégués mais pas encore vérifiés*

Intéressons-nous au *maglev* et aux différentes façons théoriques d'envisager la sustentation et la propulsion. Nous regarderons ensuite où en sont les différents pays qui se sont lancés dans la réalisation des *maglevs*.

#### ► La sustentation des *maglevs* peut être faite d'au moins quatre manières.

Avant d'aller plus loin, il est utile de rappeler les différentes technologies de sustentation magnétique. Pour les transports guidés, il existe quatre grands types de systèmes de sustentation.

► La sustentation électrodynamique (*Electro-Dynamic Suspension*) est fondée sur des forces électromagnétiques de répulsion entre la voie et le train. En exploitation normale, elles permettent d'atteindre des vitesses supérieures à 600 km/h. Un record mondial a déjà été obtenu à

603 km/h le 21 avril 2015 au Japon. Cette technologie présente toutefois l'inconvénient de nécessiter, contrairement à la technologie suivante, une infrastructure très chère. De plus, des roues doivent être fixées aux mobiles pour toute circulation à basse vitesse, car la lévitation ne s'obtient que si le mobile est en mouvement assez rapide. Des roues doivent se déployer lorsque les *maglevs* à grande vitesse ralentissent et s'arrêtent. C'est la technologie de grande vitesse retenue pour le futur *maglev* du Japon. S'agissant des hyperloops, elle a aussi été retenue dans leurs études par la société américaine Virgin Hyperloop One, la société américaine HyperloopTT et la société canadienne Transpod.<sup>3</sup>

► La sustentation électromagnétique (*Electro-Magnetic Suspension*) est fondée sur

3. On trouvera une brève présentation de ces sociétés au § « Les principales entreprises pionnières » p. 155 et suivantes.

des forces électromagnétiques d'attraction entre la voie et le train<sup>4</sup>, et non de répulsion comme dans la technologie précédente. C'est la solution retenue pour le *maglev* de Shanghai et par l'ancien projet Swissmetro. C'est aussi celle qui a été choisie pour les lignes chinoises, coréennes et japonaises de métro : à Beijing et Changsha en Chine, à Incheon en Corée du Sud, pour la ligne Limino à Nagoya au Japon. Pour les hyperloops, c'est cette technologie qui a eu la préférence de la société espagnole Zeleros, la société néerlandaise Hardt Hyperloop et la société polonaise Nevomo.

- La sustentation avec roues électrodynamiques (*Electro-Dynamic Wheels*) est une technologie qui n'a été choisie dans aucun projet de *maglev*, en raison d'avantages toujours moindres et d'inconvénients toujours supérieurs aux deux solutions précédentes.
- La sustentation sur coussin d'air (*Air-Cushioned Suspension*) est la technologie qui a été proposée par Elon Musk pour Hyperloop Alpha. Mais parce qu'elle fait courir de grands risques à haute vitesse en raison de la distance extrêmement petite entre la voie et le mobile, cette solution technique n'a été retenue dans aucun projet d'hyperloop.

➤ **La propulsion des *maglevs* peut être faite d'au moins cinq manières.**

Constitués d'une partie fixe (dans la voie) distante d'une partie mobile (dans le moyen de transport), les moteurs électriques de propulsion qui sont utilisés pour les *maglevs* peuvent être regroupés dans cinq grands types, sachant qu'ils sont tous composés d'une partie active (le *stator* qui renferme les bobinages, etc.) et d'une partie passive (le *slider* qui renferme les aimants) :

- Les moteurs à induction linéaire à stator court (*Short Primary Linear Induction Motor*) sont ceux qui équipent les *maglevs* des lignes de métro en Asie. S'agissant des hyperloops, ce sont ceux-là qui ont été choisis par la société canadienne Transpod.
- Les moteurs linéaires à réluctance variable et à stator court (*Short Primary Linear Reluctance Motor*) ne sont utilisés par aucun *maglev* et ne sont envisagés pour aucun projet en cours.
- Les moteurs à induction linéaire à stator long (*Long Primary Linear Induction Motor*) ne sont retenus pour aucun *maglev*.
- Les moteurs synchrones linéaires à stator long (*Long Primary Linear Synchronous Motor*) sont souvent considérés comme les meilleurs pour les *maglevs* à haute vitesse : l'ancien *maglev* allemand appelé Transrapid, le *maglev* de Shanghai, le futur *maglev* japonais Tokyo-Nagoya, les hyperloops étudiés par la société HyperloopTT et la société néerlandaise Hardt.
- Les moteurs à compression d'air (*Air Compression Motor*) n'ont été choisis pour leurs études d'hyperloop que par Elon Musk (Hyperloop Alpha) et par la société espagnole Zeleros. Le projet Hyperloop Alpha combine des moteurs à compression d'air et des moteurs linéaires à stator long (soit des moteurs synchrones linéaires, soit des moteurs à induction linéaire).

Sur ces bases techniques, faisons le point sur les *maglevs* à l'air libre avant de nous intéresser aux *vactrains*.

---

4. Des électroaimants sont placés sur la partie inférieure du train, qui est elle-même *en-dessous du rail sur lequel circule le train*. La surface inférieure du rail, qui contient le stator, attire (attraction) cette partie inférieure du train, ce qui élève le train tout entier au-dessus de son rail.

► **Les travaux du premier *maglev* japonais à très haute vitesse sont bien avancés.**

Étudié depuis 1962, le premier train à sustentation magnétique pourrait bientôt circuler à très grande vitesse sur longue distance au Japon. Le 21 avril 2015, un prototype appelé *L0 Series Maglev*, comprenant sept voitures, a atteint la vitesse de 603 km/h sur une ligne d'essai de 42,8 km dans la préfecture de Yamanashi (non loin de Tokyo). Fondée sur la sustentation de type EDS, la technologie de lévitation magnétique, appelée SCMaglev, a été développée par la compagnie ferroviaire *Central Japan Railway Company* (dite JR Central en anglais ou JR Tokai en japonais) et l'Institut de recherche technique ferroviaire.

Le 27 mai 2011, le gouvernement y a autorisé la construction et l'exploitation par JR Central d'une ligne appelée Chuo Shinkansen. Longue de 286 kilomètres entre Tokyo (gare de Shinagawa) et Nagoya, cette ligne nouvelle est de 80 km plus courte que la ligne actuelle entre les deux villes. Cela permettra de réaliser le parcours en 40 minutes, soit une moyenne de 430 km/h, près de deux fois la vitesse actuelle, 220 km/h soit 1 h 40 pour 365 km. La construction a commencé en 2014, en intégrant la ligne expérimentale de la préfecture de Yamanashi. Le Chuo Shinkansen transportera jusqu'à 1 000 voyageurs dans des rames de seize voitures (voir encadré 3).

À 86 %, la ligne sera souterraine, d'où un coût très élevé, estimé pour l'heure à 46 milliards d'€, soit 160 millions le kilomètre, au moins 7 fois plus que le coût de la LGV Tours-Bordeaux. Des protections contre le bruit seront placées tout le long des parties aériennes, car les *maglevs* sont très bruyants. Le rayon de courbure ne sera jamais inférieur à 8 km, et la pente pourra être de 40 ‰; rappelons qu'elle est au plus de 35 ‰ pour les LGV en France. Le tracé choisi étant plus direct, quatre gares intermédiaires seulement seront édifiées: Sagamihara, Kofu, Iida et Nakatsugawa. La nouvelle gare de Nagoya a été largement achevée en 2016, celle de

Shinagawa est en cours. La ligne coûtera très cher: environ 46 milliards d'euros, selon JR Central en avril 2021.

Le niveau de la rivière Oi, à la traversée (9 km) de la préfecture de Shizuoka, a donné lieu à de vives préoccupations. Elles ont conduit la préfecture à refuser en juin 2020 le commencement des travaux. Ce qui a amené JR Central à annoncer le report de l'échéance au-delà de l'année 2027, initialement fixée pour le début du service.

La ligne Tokyo-Nagoya serait prolongée ensuite jusqu'à Osaka. La seconde phase serait ouverte en 2037.

► **La Chine est déterminée à avoir au plus tôt des *maglevs* à très haute vitesse.**

La construction d'une première ligne de train magnétique en Chine a commencé le 1<sup>er</sup> mars 2001, et l'ouverture de la ligne a eu lieu le 1<sup>er</sup> janvier 2004. Mais c'est une ligne courte. Longue de 30 km seulement, parcourue à la vitesse maximale de 431 km/h, elle relie en sept minutes l'aéroport international de Shanghai (Pudong) à la station de métro Longyang Road (ligne 2). La technologie est fondée sur le système allemand porté par Siemens. Le matériel roulant (SMT Transrapid) a été construit par une co-entreprise fondée par Siemens et ThyssenKrupp. Tous les projets de prolongation de la ligne en Chine ont vite été abandonnés. Et l'Allemagne elle-même, de son côté, a fini par abandonner le développement de sa technologie.

Néanmoins, la Chine a poursuivi sans relâche ses recherches. Pour les basses vitesses, elle a développé et mis en service des matériels à usage périurbain:

- à Changsha (capitale de la province du Hunan) depuis le 6 mai 2016, entre la gare de Changsha-Sud et l'aéroport international de Changsha-Huangsha, avec une vitesse maximale de 100 km/h,

➤ à Beijing depuis le 30 décembre 2017, pour la ligne S1 du métro qui dessert sept stations sur 9,1 km à la vitesse maximale de 100 km/h.

Pour les hautes vitesses, les recherches et essais se poursuivent activement en Chine. Portant sur les trente prochaines années, le plan national de transport publié en février 2021 a prescrit le développement de la technologie des trains à sustentation magnétique à la vitesse de 600 km/h. Les premiers essais d'un matériel capable de circuler à 600 km/h, étudié depuis 2016 par la société CRRQ Qingdao Sifang, ont eu lieu à Shanghai en juin 2020. Un autre matériel roulant pouvant atteindre 620 km/h a été présenté à Chengdu (province du Sichuan) en janvier 2021 : il est développé notamment par l'Université *Southwest Jiaotong*. Dans la province du Shanxi, la construction d'une ligne d'essais a commencé en mai 2021 : elle permettra notamment d'étudier le comportement du matériel roulant à des vitesses supérieures à 1 000 km/h.

#### ➤ Une startup française aussi réfléchit à des *maglevs*.

En France, reprenant en partie les principes de l'Aérotrain de Jean Bertin (abandonné en 1977), la jeune société Spacetrain a conçu un système de navettes (pouvant emporter de 60 à 250 voyageurs), circulant à l'air libre à 540 km/h, à sustentation sur coussin d'air, propulsées par des moteurs à induction linéaire à stator court, alimentées en énergie par de l'hydrogène et des piles à combustible.

Mais l'État a refusé en 2020 que Spacetrain réutilise la vieille infrastructure de l'Aérotrain pour des essais. En 2021, plusieurs articles de presse ont affirmé que la société affrontait de graves difficultés financières.

Venons-en maintenant aux *vactrains*, en commençant par une petite leçon d'histoire.

#### ➤ Aucun projet de *vactrain* n'a pu être réalisé.

Faire circuler des véhicules dans des tubes sous vide à très grande vitesse (*vactrain* ou *vacuum tube train*), proche de la vitesse du son si elle est mesurée au niveau de la mer (environ 1 220 km/h à 15 °C), est un vieux sujet de recherche.

Combiner le vide et la lévitation magnétique (pour faire circuler un *magnetic train* ou *maglev train*) a déjà été approfondi par l'Américain Robert H. Goddard il y a une centaine d'années. Comme par le Russe Boris Weinberg à la même époque. En 1914, Émile Bachelet (Français, puis Américain) a présenté à Londres, lors d'une exposition, un démonstrateur de train à sustentation magnétique à échelle réduite (le *Flying Train*), qui fit sensation ; son inventeur assurait que son train volant pourrait atteindre la vitesse de 480 km/h.

La société américaine ET3, dirigée par Daryl Oster, détient aujourd'hui une licence (*Evacuated Tube Transport* ou ETT) pour le transport d'un véhicule automatique (de la taille d'une voiture individuelle) dans un tube sous vide de petit diamètre (1,5 m). Son dessein est de recourir à la sustentation magnétique et aux moteurs linéaires, pour des vitesses pouvant être extrêmement hautes : de 370 milles à 4 000 milles par heure (entre 600 km/h et 6 450 km/h).

En Suisse, le projet Swissmetro a fait l'objet de nombreuses études, conduites notamment par l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et par la société anonyme Swissmetro fondée en janvier 1992. Étudié durant 20 ans, le projet consistait à faire circuler des trains à sustentation magnétique dans des tunnels de 5 m de diamètre, avec un vide partiel d'air (environ 10 % de la pression atmosphérique au niveau de la mer, soit quelque 10 000 Pa). L'objectif était de faire circuler, à la vitesse de 500 km/h, des trains emportant 200 voyageurs au moins toutes les 4 ou 6 minutes. Il y a eu plusieurs projets de ligne commerciale

(Genève-Lausanne, etc.), mais aucun n'a vu le jour. En novembre 2009, le conseil d'administration de la société Swissmetro a officiellement considéré que le projet ne pouvait voir le jour. L'EPFL n'a néanmoins pas abandonné toute suite à ce projet, puisqu'aujourd'hui, avec sa startup appelée Swisspod, elle étudie et teste la propulsion et la sustentation de capsules, et elle vient d'annoncer son intention de construire à Pueblo (Colorado, États-Unis) un centre d'essais pour de futurs hyperloops.

#### ► Les études et projets d'hyperloop fleurissent un peu partout dans le monde.

De nombreux pays, à des stades divers, approfondissent la question des *vactrains* à très haute vitesse. Pour des vitesses maximales égales ou supérieures à 1 000 km/h, nous employons ici le mot hyperloop.

En Corée du Sud, l'Institut de recherche ferroviaire (*Korea Railroad Research Institute*, dit Korail ou KRRI) conduit des projets de recherche sur des transports collectifs à des vitesses supérieures à 1 000 km/h. En novembre 2020, l'Institut a annoncé avoir réussi un test avec un modèle réduit au 1/17<sup>e</sup> : vitesse de 1 019 km/h, dans un tube long de 60 m, la pression résiduelle étant de 100 Pa. L'Institut projette de mettre en place un service commercial d'hyperloops en 2024 en Corée du Sud.

La Chine s'intéresse aussi, mais à un degré moindre, à ces transports sous vide à très haute vitesse. Ainsi, des études ont-elles été entreprises par un laboratoire (le *National Key Laboratory of Traction Power*) de l'Université Jiaotong du Sud-Ouest (*Southwest Jiaotong*) à Chengdu dans le Sichuan. En 2018, la société automobile Geely a annoncé avoir passé un accord avec *China Aerospace Science and Industry Corp.* (CASIC) pour étudier un système d'hyperloops ; mais elle n'a publié aucun résultat de ses travaux depuis lors.

Depuis l'annonce d'Elon Musk en août 2013, environ 450 millions d'euros ont été collectés

pour des études et essais, le plus souvent des fonds privés. Dont 340 millions par la seule entreprise *Virgin Hyperloop One*.

#### *Les obstacles à surmonter sont impressionnants.*

L'idée d'un transport dans des tubes aériens, et non dans des tubes souterrains, est séduisante. Car les tunnels coûtent cher. Mais la construction en surface est de plus en plus difficile en Europe : elle est même presque impossible dans les agglomérations. Il paraît inéluctable qu'en partie au moins, pour cette première raison, les lignes d'hyperloop soient souterraines, comme dans le projet Swissmetro. Mais dans tous les cas, les coûts de construction et de maintenance seront élevés, alors même que de nombreuses incertitudes techniques demeurent.

#### ► Les tubes aériens sur pylônes ne sont jamais rigides.

Un tube d'acier est élastique. Les deux tubes aériens des hyperloops seront soumis aux pressions des températures externes et internes comme à celles des vents. Ils seront soumis aux forces internes provoquées par les capsules dans les courbes, les rampes et les pentes. Ils seront soumis encore à leur propre poids entre deux pylônes. Les mouvements irrépressibles des tubes seront-ils suffisamment bien maîtrisés pour garantir la sécurité des circulations si rapides à l'intérieur ? Dans le cas d'Hyperloop Alpha, la surface intérieure des tubes serait-elle telle qu'aucune imperfection de métallurgie ne vienne gêner la course des skis glissant à 1 200 km/h sur des coussins d'air dont l'épaisseur serait inférieure à 1,5 mm ? De cela, on peut douter. Il faudrait un tube bien plus robuste et stable qu'il n'est prévu, donc de conception difficile et de construction onéreuse. C'est une des raisons pour lesquelles tous les projets actuels ont finalement abandonné la sustentation sur coussin d'air (*Air-Cushioned Suspension*) comme nous l'avons déjà écrit.

Sans conteste, la maîtrise des tubes serait beaucoup plus facile s'ils étaient enterrés, comme le sont d'ailleurs la plupart des pipelines.

▣ **L'air dans les tubes ne doit jamais franchir le mur du son.**

La question des vitesses de l'air dans les tubes est cruciale. Le projet Swissmetro s'était attaché à vaincre cette difficulté : ne jamais avoir d'écoulements d'air qui franchissent le mur du son. Même si le vide est bien plus complet, la gageure sera rude pour les projets d'hyperloops.

Dans le cas du projet Hyperloop Alpha, les simulations faites en 2016 par la société Ansys, dont le siège est à Canonsburg en Pennsylvanie (États-Unis), ont prouvé que les formes et dimensions du projet ne permettaient pas en l'état des vitesses toujours subsoniques. L'espace entre la paroi intérieure des tubes et les capsules est extrêmement étroit dans la version du projet d'Elon Musk, rappelons-le.

▣ **La compression et le refroidissement de l'air aspiré constituent un grand défi.**

La solution retenue dans le projet Hyperloop Alpha pour vaincre l'effet piston, c'est-à-dire la compression derrière la capsule de l'air pris en avant, permet en théorie de résoudre le problème fondamental de tous les *vactrains* : trouver le meilleur rapport entre les trois paramètres que sont le diamètre intérieur du tube, la pression résiduelle de l'air dans le tube et le ratio de blocage du tube (*blockage ratio* en anglais).

Mais, selon une étude en 2012 de Yaoping Zhang (École du transport et de la logistique, Université Jiaotong du Sud-Ouest, Chengdu, Chine), il faut, pour atteindre la meilleure économie à très hautes vitesses, que le diamètre intérieur du tube soit compris entre 2 et 4 mètres, et que la pression de l'air y soit comprise entre 1 000 et 10 000 pascals (Pa), c'est-à-dire qu'elle soit inférieure à un dixième d'atmosphère. S'agissant du troisième para-

mètre, à savoir le ratio de blocage, il doit être compris, selon l'auteur, entre 0,25 et 0,7. Bien entendu, plus petit est le ratio, c'est-à-dire plus étroit est le mobile par rapport au tube, plus grand est le coût nécessaire au maintien du vide dans le tube. Si le projet Swissmetro entrerait assurément dans ce cadre, ce n'est pas du tout le cas du projet Hyperloop Alpha : il doit compenser le caractère extraordinaire de sa vitesse par des techniques innovantes, singulièrement la compression et le refroidissement de l'air aspiré devant chaque capsule. Tout cela est très difficile. C'est la raison pour laquelle tous les projets d'hyperloops, sauf celui de Transpod, ont abandonné l'idée d'utiliser de l'air comprimé pour propulser les capsules, comme tous ont abandonné l'idée du coussin d'air pour obtenir la lévitation.

▣ **La cadence des capsules doit être extraordinairement haute pour que le débit soit intéressant.**

Le projet Hyperloop Alpha est fondé sur un départ toutes les trente secondes à chaque terminal en heure de pointe. C'est une fréquence impressionnante au regard des transports actuels ! Prenons un exemple. Sur les lignes ferroviaires à grande vitesse, l'Europe est en train d'installer partout un nouveau système de contrôle-commande (*European Rail Traffic Management System* ou ERTMS). Pour les lignes à grande vitesse, il permettrait de rapprocher les uns des autres, en toute sécurité, les trains lancés à pleine vitesse (300 ou 320 km/h), et de porter le nombre des trains circulant sur la même voie dans le même sens à 18, au lieu de 12. Cela correspond à un départ toutes les 200 secondes. C'est dire toute la difficulté, au regard de la sécurité en particulier, qu'il y aurait à faire circuler en une heure, dans les tubes d'Hyperloop, dix fois plus de véhicules à une vitesse quatre fois plus haute !

C'est pourquoi les projets actuels ont desserré plus ou moins cette contrainte. Ainsi Transpod annonce-t-il un départ toutes les 80 secondes.



Vue d'artiste d'une capsule pour 28 passagers, portes ouvertes dans une station © SpaceX

► La sécurité et la sûreté n'ont guère encore été l'objet de publications.

Les rapports ou articles techniques publiés par les startups et les chercheurs indépendants ne portent presque jamais sur les questions de sécurité et de sûreté. Or, comme nous l'avons rappelé précédemment, ce sont les questions les plus importantes et les plus difficiles. Tout dossier de sécurité devra démontrer la capacité du système à maîtriser de nombreux dangers: arrêt soudain de la propulsion, arrêt soudain de la lévitation, incendie à l'intérieur ou à l'extérieur des tubes, dépressurisation rapide dans un tube, urgence à évacuer des voyageurs, freinage d'urgence, tremblement de terre, inondation, vents violents, malveillance et acte de terrorisme, etc.

### ***Les principales entreprises pionnières***

Les difficultés techniques qui viennent d'être brièvement présentées ont conduit les entreprises pionnières à modifier peu ou prou le projet initial d'Elon Musk (Hyperloop Alpha).

► Virgin Hyperloop One ne peut encore se prévaloir que d'essais à des vitesses inférieures à 173 km/h, sur une piste longue d'un demi-kilomètre seulement.

La société Virgin Hyperloop One est une société américaine de Los Angeles, forte de deux cents employés. En France, elle s'est un peu associée avec la SNCF. Depuis 2017, son président (non exécutif) est Richard Branson, le fondateur de Virgin Group. C'est l'entreprise d'hyperloops qui a rassemblé à ce jour le plus gros financement pour des investissements: 500 millions d'euros.

La société a construit une piste d'essai de 500 m à Las Vegas dans le Nevada (États-Unis). C'est là qu'elle a accompli le 8 novembre 2020 un essai avec deux personnes à bord d'une capsule (nommée XP-2), à la vitesse maximale de (seulement) 172,8 km/h. La société projette maintenant de construire une ligne d'essais de 11 km.

Comprenant un tube de 6 milles de longueur, un projet de « *Hyperloop Certification Center* » pour Virgin Hyperloop One est à l'étude à Charleston (Virginie-Occidentale, États-Unis).

La société a signé un accord en Inde (État du Maharashtra dont la capitale est Mumbai) le 18 février 2018 en vue de la construction d'une ligne de 140 km entre Mumbai et Pune. La société a alors expliqué à la presse que la ligne pourrait transporter 150 millions de personnes par an. La première phase du projet serait une ligne d'essais de 11,4 km entre Gahunje et Ozarde. Selon les plus récentes déclarations des personnalités politiques de la province indienne, le projet n'aurait pas avancé d'un pouce depuis trois ans et demi...

La société veut commencer une exploitation commerciale dès 2030. En septembre 2021, elle a précisé dans une vidéo son objectif: atteindre une vitesse de croisière de 1 078 km/h.

► **Hyperloop Transportation Technologies (ou HyperloopTT) ne fait encore des essais que sur une piste de 320 m.**

Également connue sous le nom de HTT, cette société de recherche américaine est constituée selon une approche de collaboration en masse (mélange de collaboration d'équipe et de *crowdsourcing*). Elle travaille à un transport à 760 milles par heure: 1 223 km/h, soit précisément la célérité du son à 15 °C au niveau de la mer. Chaque capsule emporterait de 28 à 50 voyageurs. Le trafic sur une ligne pourrait être d'au moins 160 000 voyageurs par jour. Les tubes seraient placés sur des pylônes ou sous terre, selon le relief. Le diamètre des tubes serait de 13 pieds (environ 4 m). La pression y serait inférieure à 100 Pa, environ un millième de la pression atmosphérique au niveau de la mer. Le pompage de l'air, étudié avec la société Leybold, se ferait

avec des pompes tous les 6,2 milles (10 km). Des roues placées sous les capsules leur permettraient de s'arrêter en cas de nécessité: c'est là le désavantage de la sustentation électrodynamique dite EDS. La société insiste sur la grande valeur du nouveau matériau qu'elle a mis au point pour envelopper les capsules: le *vibranium*, comprenant 82 couches de carbone à l'intérieur desquelles se trouvent de nombreux capteurs.

La société fait valoir qu'elle a conclu en 2018 un contrat pour des recherches et essais dans la ville de Tongren (province du Guizhou en Chine). Dans une première phase, une ligne d'essais de 10 km y serait construite. Pour le moment, aucune exécution n'a commencé.

Bien d'autres accords très préliminaires ont été conclus: au Brésil, en Slovaquie, en Corée du Sud, aux Émirats arabes unis (projet Dubai-Abu Dhabi), aux États-Unis (Ohio, Illinois), en Inde (projet entre Armaravati et Vijaywada), en Indonésie, en Tchéquie, en Ukraine, etc. Mais aucune réalisation n'a encore démarré.

En mars 2019, la société a fini de construire une piste d'essai de 320 m à Toulouse dans l'ancienne base aérienne de Franczal, juste à côté de son centre de recherche et développement.

En juillet 2021, HyperloopTT a annoncé un accord avec un opérateur de terminal dans le port de Hambourg (Allemagne): *Hamburger Hafen und Logistik AG* (HHLA). L'objet est d'étudier un transport de containers par hyperloop, au rythme de 2 800 conteneurs (équivalents de vingt pieds) par jour. Chaque capsule emporterait un ou deux conteneurs. Un démonstrateur devrait être présenté au congrès *ITS World* en octobre 2021.

La société projette de construire une piste d'essais de 5 km à Abu Dhabi. Budget: 138 millions d'euros.

► TransPod est la seule entreprise à avoir choisi la technologie des moteurs à induction linéaire à stator court, seulement utilisés aujourd'hui pour des lignes de métro à basse vitesse.

La société Transpod a été fondée à Toronto (Canada) en 2015 par Sébastien Gendron et Ryan Janzen. Le projet de la société TransPod est un système de transport à une vitesse pouvant monter jusqu'à 1 200 km/h, pour des lignes de longueur comprise entre 100 km et 1 000 km, avec un départ de capsules (appelées *Pods*) toutes les 80 secondes.

Le projet de Transpod emploierait des moteurs à induction linéaire à stator court (comme Hyperloop Alpha) pour propulser les *Pods*, mais pas de propulsion avec air comprimé (contrairement à Hyperloop Alpha). Cette technologie du stator court présente deux avantages : une voie moins chère (car la partie active est dans le mobile), une force de poussée de qualité. Mais elle présente un gros inconvénient : nécessité de transporter et de stocker beaucoup d'énergie à bord des mobiles. La transmission de l'énergie aux *Pods* se ferait grâce à des plasmas entre un troisième rail fixé dans chaque tube et les mobiles (innovation brevetée). Un système d'inclinaison automatique des *Pods*, breveté lui aussi, permettrait aux voyageurs de supporter plus facilement les accélérations et les forces latérales dans les courbes.

Des recherches sont faites par la société dans bien d'autres domaines techniques.

Chaque *Pod* transporterait des voyageurs (entre 27 et 50, selon les études les plus récentes), ou bien des marchandises de charge utile comprise entre 10 et 15 tonnes.

La société négocie avec l'Alberta (Canada) pour construire une piste d'essais (longue de 10 à 20 km). Ce pourrait être le premier tronçon d'une future ligne Edmonton-Calgary : longueur de quelque 300 km, vitesse de croisière vers 700 ou 800 km/h, coût de

22,4 milliards de dollars canadiens (environ 15 milliards d'euros).

Depuis 2018, la société prépare une piste d'essais de 3 km (à l'échelle 1 sur 2) sur la commune de Droux en Haute-Vienne (France). Mais, trois ans plus tard, aucun aménagement n'a encore commencé ; la société a néanmoins fait savoir en septembre 2021 que le défrichement du terrain allait bientôt commencer.

► Les autres entreprises pionnières (Hardt Hyperloop aux Pays-Bas, Zeleros en Espagne, Nevomo en Pologne, etc.) n'ont jamais fait d'essais d'importance.

Hardt Hyperloop, société néerlandaise, est en train de construire une piste d'essais pour 30 millions d'euros. Ses recherches portent d'abord sur le transport de fret : route des fleurs Amsterdam-Rotterdam, étoile européenne autour de l'aéroport d'Amsterdam-Schiphol, etc. Hardt Hyperloop a particulièrement étudié la difficile question du changement de voies. La société espère participer, avec les autres entreprises d'hyperloops, à l'édification, pour le transport de fret, d'un grand réseau européen de 100 000 km, pour un coût de 3 000 milliards d'euros (30 millions d'euros par km, soit le même ordre de grandeur que le coût par km de la LGV projetée entre Bordeaux et Toulouse).

L'entreprise Zeleros, de Valence (Espagne), veut déployer dès 2030 des projets d'hyperloops : lignes entre 400 km et 1 500 km, vitesse de 1 000 km/h. La pression dans les tubes serait moins basse que dans les autres projets : 5 000 Pa environ (au lieu de 100 Pa pour Hyperloop Alpha). La propulsion se ferait avec des moteurs à induction pour l'accélération, puis à vitesse de croisière avec des moteurs à compression d'air (avec turbine). Comme Hardt Hyperloop, Zeleros se concentre d'abord sur le transport du fret. La startup espagnole vient seulement de lever un premier fonds de 7 millions d'euros. C'est encore bien peu.

L'entreprise polonaise Nevomo cherche dans un premier temps à développer son concept innovant de *magrail*: un projet de trains très rapides (jusqu'à 415 km/h), qui s'intégrerait avec d'anciennes infrastructures ferroviaires en réutilisant des voies et du matériel roulant. Elle a le projet de faire bientôt des essais à 550 km/h sur des voies ferrées déjà construites en Pologne. Elle a passé accord à cette fin avec le groupe de chimie CIECH (3000 employés), qui lui donnera accès à ses installations ferroviaires. Les travaux d'aménagement commencent à l'été de 2021. Nevomo a aussi passé un accord de principe avec le gestionnaire italien des infrastructures ferroviaires (RFI). Dans un deuxième temps, selon un autre concept appelé Hyperrail, les trains circuleraient dans des tubes à basse pression placés au-dessus des voies ferrées, à des vitesses atteignant 1000 km/h. Dans un troisième temps, Nevomo engagerait vraiment un projet d'hyperloops avec des lignes spécialisées.

### *Première évaluation*

À ce jour, il n'y a aucune ligne de transport d'hyperloops en construction ou en exploitation dans le monde. Seules de courtes pistes aériennes d'essai ont été construites. La société la plus en avance, Virgin Hyperloop One, envisage des premiers « *projets pilotes* », dans le seul but de prouver la sécurité du système de transport, entre 2024 et 2026 (déclaration de juin 2021), pas avant.

▣ Sur l'échelle de 1 à 9 mesurant la maturité technologique, les projets d'hyperloop ne sont guère parvenus qu'aux niveaux 2 ou 3.

Dans une décision de 2014, la Commission européenne a défini neuf niveaux de préparation technologique (*Technology Readiness Levels*, TRL), pour mesurer la maturité d'une technologie quelle qu'elle soit. Les cinq premiers niveaux sont appelés: (1) Principes de

base observés, (2) Concept technologique formulé, (3) Preuve de concept expérimental, (4) Technologie validée en laboratoire, (5) Technologie validée dans un environnement pertinent. Le niveau où se placent les technologies d'hyperloop n'est sûrement aujourd'hui que le niveau TRL 2 ou le niveau TRL 3.

Au contraire, les *maglevs* à l'air libre pouvant circuler à haute vitesse (environ 600 km/h) recourent à des technologies qu'on peut désormais considérer comme presque matures au Japon comme en Chine. On est ici au niveau TRL 7: Démonstration de prototype dans un environnement opérationnel.

▣ **Quand bien même elles seraient prometteuses, les différentes technologies d'hyperloop doivent encore faire leurs preuves, surtout au regard de la sécurité des transports.**

La synthèse des données publiées par les entreprises, les universités et les consultants montrent que la faisabilité des projets d'hyperloop est loin d'être prouvée, quelle que soit la technologie choisie. Le chemin est encore très long. Les échéances plus ou moins brèves qui sont avancées par toutes les startups, pour répondre à l'attente de leurs bailleurs de fonds et de leurs prospects, ne sont fondées à notre connaissance sur aucun planning rigoureux. Le défaut de conclusions solides et de preuves avérées concernant la sécurité est sûrement le point le plus préoccupant. L'écart est encore trop large entre l'optimisme de la volonté qui anime l'esprit des pionniers, et le pessimisme de la raison qui retient les observateurs!

Comme l'a écrit, en conclusion de son rapport de juillet 2018, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques (France): « À ce stade, cette technologie prometteuse doit encore faire ses preuves. ». C'est toujours vrai en 2021.

## La vitesse technique n'est rien sans la vitesse économique

Plongeant dans l'imaginaire de Jules Verne, les médias font leur miel du projet Hyperloop ou des récents voyages dans l'espace de quelques milliardaires. L'accroissement des vitesses de déplacement ayant été au cœur de la transformation des modes de vie issue des révolutions industrielles, le mouvement n'est-il pas appelé à se poursuivre ?

Pour répondre à cette question, l'approche technique ne suffit pas. Chercher à battre des records de vitesse est peu pertinent, il est préférable de se demander pourquoi l'aviation supersonique a été un échec commercial (voir encadré 2) et pourquoi la vitesse routière moyenne est très inférieure à celle que peuvent atteindre les automobiles. Pour cela, il est nécessaire de se pencher sur les enjeux économiques de la vitesse. Nous le ferons en présentant la notion de vitesse généralisée et ses deux composantes : la vitesse physique et la vitesse économique. Or, c'est cette dernière qui, au cours des dernières décennies, est devenue capitale. Aujourd'hui, se polariser sur les gains de vitesse physique est très réducteur.

### *Du coût généralisé à la vitesse généralisée*

Les économistes des transports ont depuis longtemps développé la notion de coût généralisé d'un déplacement [Abraham, 1961]. Ce dernier s'établit en monnaie, en additionnant le coût monétaire du déplacement et l'équivalent monétaire du temps perdu durant le déplacement puisque, selon l'adage, le temps c'est de l'argent.

Mais si le temps se convertit en argent, l'opération symétrique est possible. Le coût peut être mesuré en « temps généralisé » qui totalise le temps de transport et le temps de travail nécessaire pour payer le coût monétaire du déplacement correspondant. Le temps de transport est le rapport de la distance sur la

vitesse soit, pour 1 km,  $1/V$ ,  $V$  étant la vitesse en km/h ; le temps de travail se mesure par le prix d'un km ( $k$ ) rapporté au salaire horaire ( $w$ ), soit  $k/w$ . Ainsi, pour un déplacement à 60 km/h payé 10 centimes le km par une personne payée 6 euros de l'heure, le temps généralisé est de deux minutes par km, une minute pour le trajet et une minute de temps de travail nécessaire pour payer le prix du billet.

Sur la base de ce temps généralisé, une autre conversion est possible, dans une troisième unité de compte, la vitesse généralisée ( $V_g$ ) qui varie comme l'inverse du temps passé. Elle se définit ainsi :

$$V_g = \frac{1}{\left(\frac{1}{V}\right) + \left(\frac{k}{w}\right)} \quad (1)$$

Il s'agit d'une moyenne harmonique où entre en jeu la vitesse physique de déplacement ( $V$ ) mais aussi la vitesse économique ( $w/k$ ), soit le nombre de km que l'on peut acheter avec une heure de travail ( $w$ ) compte tenu du coût kilométrique ( $k$ ). Dans l'équation 1, apparaissent donc au dénominateur l'inverse de la vitesse physique ( $1/V$ ) additionné à l'inverse de la vitesse économique, soit  $k/w$ .

La vitesse généralisée a été développée par Ivan Illich, et Jean-Pierre Dupuy<sup>5</sup> dans une perspective critique de la modernité, celle qui fonde les discours écologiques en faveur du vélo et contre les transports rapides, y compris collectifs comme l'avion ou le TGV. Ainsi, I. Illich déclarait : « *A présent, les gens travaillent une bonne partie de la journée pour payer les déplacements nécessaires pour se rendre à leur travail. Le temps dévolu au transport croît dans une société en fonction de la vitesse de pointe des transports publics* ». Notons qu'il n'évoque pas les impacts environnementaux, pourtant bien réels. Il se concentre sur les coûts pour les individus eux-

5. Voir Frédéric Héran (2009)

mêmes *via* le gaspillage de temps. Mais pouvons-nous prendre cette dénonciation pour argent comptant ?

Pour I. Illich (1973), la vitesse généralisée conduisait à remettre en question le règne de l'automobile, à laquelle ils attribuaient une vitesse généralisée moyenne de 6 km/h. Une fois pris en compte l'ensemble de ses coûts (achat, entretien, utilisation...), la voiture était à peine supérieure à la marche, et bien inférieure au vélo.

Le problème est que cette estimation n'est plus conforme à la réalité. Les évolutions techniques et économiques ont progressivement réduit le coût d'achat et d'entretien de la voiture. A la fin des années 1960, le prix d'une petite voiture neuve représentait plus de 2000 heures de travail au salaire minimum, plus d'une année de travail, contre environ 7 mois en 2020. Comme dans le même temps la vitesse routière a légèrement augmenté, la vitesse généralisée de l'auto-

mobile pour un déplacement interurbain est devenue très supérieure à celle de la bicyclette, qui ne conserve de la pertinence que pour les petites distances.

Le principal intérêt de la vitesse généralisée est donc, non pas de dénoncer le règne de l'automobile, mais d'expliquer sa large démocratisation. Dans la plupart des pays européens, elle représente environ 80 % des distances parcourues. Le recours à ce mode de transport n'est pas le signe d'une soumission des automobilistes à un système régressif et chronophage, il révèle au contraire l'adhésion à une pratique qui offre un accès à des activités et localisations diversifiées pour le travail, les relations sociales, les loisirs, les achats etc. Ce constat permet de remettre sur ses pieds la notion de vitesse généralisée, d'en faire non pas le support d'une dénonciation, mais une méthode aidant à comprendre le rôle clé de la vitesse économique, soit le pouvoir d'acheter un déplacement.

## **Encadré 2 : Le Concorde n'a pas franchi le mur de la vitesse économique**

Le dernier vol du Concorde a eu lieu le 24 octobre 2003. Était-ce la fin de l'ère supersonique pour l'aviation commerciale ? Certains ingénieurs et entrepreneurs pensent que non, et les projets de relance des supersoniques reviennent régulièrement dans les médias.

Mais est-ce une information ou un leurre destiné à entretenir un rêve ? Outre la question du bruit lié au franchissement du mur du son, le renouveau du transport supersonique se heurte principalement à un problème économique. En 2003, un aller-retour en Concorde de Paris à New York coûtait 15 fois plus cher qu'un vol classique, près d'un euro le km contre six centimes pour un vol subsonique en classe touriste. Il est possible de transformer ces prix unitaires en vitesse en considérant le temps de travail nécessaire pour payer le billet d'avion. Ainsi, une personne payée au salaire minimum en 2003 (environ 6 € nets par heure) disposait d'une vitesse économique de 6 km/h avec le Concorde mais de 100 km/h pour un vol classique. Dans le premier cas 2000 heures de travail étaient nécessaires contre 120 dans le second.

Le problème est que même les hauts revenus ne peuvent s'offrir les vitesses supersoniques. Toujours en 2003, pour une personne disposant d'un revenu dix fois supérieur au SMIC (60 €/heure), la vitesse économique du Concorde n'était que de 60 km/h contre 1000 km/h pour un vol classique. Les ingénieurs qui promeuvent les avions et les trains hypersoniques doivent comprendre que les gains de vitesse sont une condition nécessaire mais non suffisante pour réaliser leur rêve. Rechercher la vitesse quoi qu'il en coûte revient donc à se limiter à une clientèle de niche, comme le montrent les récents voyages suborbitaux de célèbres milliardaires.

### ***Le rôle clé de la vitesse économique***

En combinant les trois variables clés de la vitesse généralisée ( $V$ ,  $w$  et  $k$ ), deux enseignements majeurs apparaissent :

- Le premier est qu'à vitesse physique constante, la vitesse généralisée augmente si la vitesse économique progresse. Il suffit donc d'une hausse du revenu, et/ou d'une baisse du coût monétaire du transport, pour que la vitesse généralisée croisse. Cela nous éclaire sur la corrélation forte qui existe entre niveau de revenu et distances parcourues.
- Le second est que les gains de vitesse se heurtent à des rendements décroissants. Pour gagner deux heures entre Paris et Lyon avec le TGV, il a fallu doubler la vitesse des trains. Mais si nous étions demain capables de doubler encore la vitesse sur cet axe, nous ne gagnerions qu'une heure, et seulement une demi-heure avec une nouvelle multiplication par deux de la vitesse physique (voir encadré 3). Corollaire de cette baisse des rendements, les coûts sont de

plus en plus exorbitants et la vitesse économique devient la variable clé car le principe de la moyenne harmonique veut que plus la vitesse physique augmente, moins son impact est grand (Crozet 2016).

Nous pouvons le démontrer par l'absurde. Si la vitesse du Concorde avait été infinie en 2003, alors la vitesse généralisée aurait été proche de la vitesse économique, respectivement, de 6 km/h pour le salaire minimum<sup>6</sup> et de 60 km/h pour une personne gagnant dix fois plus.

Ainsi, aux seuils actuels de vitesse atteints par les automobiles, les trains ou les avions, la variable principale de la vitesse généralisée est la vitesse économique, soit le rapport entre le revenu et le coût au kilomètre. Il ne suffit pas d'accroître la vitesse physique pour qu'un mode de transport se démocratise. Il est aussi nécessaire que sa vitesse économique soit abordable.

### **Encadré 3 : Cho Shinkansen vs TGV à la lumière de la vitesse généralisée**

Comme expliqué plus haut, le futur *maglev* japonais va permettre un gain de temps appréciable entre Tokyo et Nagoya, grâce à un parcours réduit de 80 km et à une vitesse près de deux fois supérieure à celle du train Shinkansen sur la ligne actuelle (220 km/h pour le meilleur temps de parcours). Que se serait-il passé si JR Central, pour éviter les risques liés à la technologie peu éprouvée du *maglev*, avait choisi d'exploiter la ligne nouvelle avec un TGV de dernière génération ? Avec une vitesse moyenne de 330 km/h, le voyage entre Tokyo et Nagoya prendrait 52 mn au lieu de 40 minutes avec le *maglev* et 1 h 40 pour le Shinkansen actuel. 12 petites minutes d'écart seulement pour un différentiel de vitesse de 100 km/h, un bel exemple de rendement décroissant des gains de vitesse ! En outre, quel serait le coût de ces 12 minutes gagnées pour les voyageurs ?

La vitesse généralisée permet de répondre à cette question avec quelques hypothèses simples. Le prix de base d'un billet Tokyo-Nagoya est aujourd'hui d'environ 100 € (0,27 €/km). On peut penser que JR vendrait plus cher les billets permettant de gagner une heure, par exemple 125 € (0,44 €/km) pour le *maglev* contre 110 (0,38 €/km) pour un TGV sur la nouvelle ligne. Cette différence s'explique par un gain de temps un peu moindre, mais aussi par un coût plus élevé

6. Soit  $V_g = 1 / ((1/\infty) + (1/6)) = 6$

( $1/\infty$ ) tendant vers 0, seule ne compte plus à la limite que la vitesse économique :  $V_g = 1 / ((0) + (1/6)) = 6$

du *maglev* dont la consommation d'énergie pourrait être de 30 % supérieure à celle du TGV, principalement du fait de la vitesse. Le coût serait donc aussi plus élevé, voire beaucoup plus élevé, pour JR central.

En utilisant la formule de la figure 2, le lecteur pourra calculer que malgré une vitesse physique moindre, la vitesse généralisée du TGV est supérieure à celle du *maglev* pour un salaire horaire ( $w$ ) ou valeur du temps, de 20, 40 et même 70 € par heure. Les vitesses généralisées s'égalisent à 80 €<sup>7</sup> par heure et restent proches ensuite. JR central a donc choisi le risque. Au lieu d'une amélioration incrémentale des Shinkansens classiques sur une ligne nouvelle plus courte, JR Central, forte de la rente financière qu'elle tire de la ligne actuelle, a choisi une innovation de rupture, dont les coûts sont mal connus, pour la construction mais aussi pour l'exploitation (que se passe-t-il quand une rame est en panne sur la voie ? Elle n'a pas de roues, ne peut être tractée !). Les 100 km/h supplémentaires de vitesse ne risquent-ils pas d'être payés très cher ? Rappelons que si l'Allemagne a abandonné la technologie *maglev*, au grand dam de Siemens, c'est justement parce qu'en termes de gains de temps et de coûts, le jeu n'en valait pas la chandelle.

### *Hyperloop : quelle vitesse économique ?*

Dans quelle mesure Hyperloop pourrait-il offrir une vitesse généralisée supérieure à celle du TGV<sup>8</sup> ? Prenons une hypothèse favorable : sa vitesse physique serait bien trois fois supérieure à celle du TGV. Mais son coût kilométrique serait de 50 % supérieur à celui du TGV, 15 centimes par km au lieu de 10 pour le service INOUI. Alors, la vitesse généralisée d'Hyperloop resterait inférieure à celle du TGV pour toute personne gagnant moins de 2,5 fois le salaire minimum (25 € par heure). A ce niveau de revenu, les vitesses généralisées du TGV et d'Hyperloop sont les mêmes

$$142 \text{ kmh} = \frac{1}{\left(\frac{1}{330}\right) + \left(\frac{0,1}{25}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{1000}\right) + \left(\frac{0,15}{25}\right)} \quad (2)$$

Pour la grande majorité, une multiplication par 3 de la vitesse n'apporte rien si le prix progresse de 50 %, illustration des rende-

ments décroissants des gains de vitesse. Une autre façon de montrer le rôle clé de la vitesse économique est de rappeler qu'avec les services OUIGO, qui coûtent 5 centimes par km, la vitesse économique du TGV est de 192 km/h pour une personne gagnant 2,5 fois le Smic.

Mais le problème principal est que l'hypothèse d'un coût de 15 centimes le km est irréaliste, car le prix pour le passager dépend aussi de la capacité d'emport et du débit, donc de la distance, ou temps de sécurité, entre chaque véhicule. Si la navette Hyperloop ne compte qu'une trentaine de passagers comme annoncé, pour atteindre le même débit que le TGV, soit au moins 15 000 voyageurs/heure<sup>9</sup>, il faudrait 500 navettes par heure, soit plus de 7 par minute, une toute les 8 secondes. Que deviennent alors les normes de sécurité ? Même en imaginant qu'il n'y aurait qu'une minute d'écart entre chaque navette se mouvant à 1 000 km/h, il

7. Exemple de calcul pour  $w = 80$ ,  $V_g \text{ TGV} = 1/((1/330)+(0,33/80)) = 128 \text{ km/h}$  et  $V_g \text{ maglev} = 1/((1/430)+(0,44/80)) = 127 \text{ km/h}$

8. Notons qu'Hyperloop ne propose pas une vitesse physique supérieure à l'aviation subsonique, alors que cette dernière offre une vitesse économique très élevée.

9. Avec deux rames, un TGV peut embarquer 1 000 passagers et les nouvelles techniques de régulation autorisent le passage d'au moins 15 trains par heure, en tenant compte des temps de respiration.

faudrait, pour atteindre un débit de 15 000 voyageurs/h, que chaque navette Hyperloop ait une capacité de 250 personnes. Le poids devient alors un problème car il accroît fortement le coût de construction et la consommation d'énergie. Les incertitudes techniques nous ramènent ainsi aux questions économiques. Quel sera le prix du trajet pour l'utilisateur et quel sera le coût en subvention pour la collectivité ?

Or, les aides publiques seront indispensables pour une autre raison, tellement évidente qu'elle est oubliée alors qu'elle est déterminante. La très très grande vitesse n'a d'intérêt que pour les grandes distances. Ainsi, pour faire 100 km (Orléans-Paris), il faut une heure à 100 km/h, 30' à 200 km/h, 20' à 300 km/h et 10' à 600 km/h. Mais pour faire 1 000 km, il faut 10 heures à 100 km/h, 3h20' à 300 km/h et 1h40' à 600 km/h. Un projet de type Hyperloop n'a d'intérêt que pour de grandes distances. Mais cela suppose de construire et de maintenir une infrastructure très coûteuse sur des centaines de km, alors même que sur de telles distances, la demande potentielle est limitée. Une question simple surgit alors. Depuis des décennies, des avions transportent à longue distance, à des vitesses élevées et avec de faibles consommations d'énergie, des petits groupes de passagers. Il faudra faire la preuve de l'intérêt socio-économique qu'il y a à ramener sur terre, et à grands frais (reproduire dans un tube de plusieurs centaines de km la faible résistance de l'air qui existe à haute altitude), un service déjà fourni par le transport aérien !

## Conclusion

Le progrès technique a joué un rôle majeur dans l'extraordinaire développement économique des pays industrialisés. Dans la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle, l'accès à la vitesse s'est démocratisé avec l'automobile, mais aussi l'avion et la grande vitesse ferroviaire. Cette dernière a été un progrès décisif qui s'est largement diffusé au Japon, en Europe et en Chine. Cependant, au début du xxi<sup>e</sup> siècle, les systèmes de transport ont été principalement améliorés par la révolution numérique et les systèmes d'information. Pour les automobiles comme pour les trains ou les avions, la vitesse de déplacement n'a pas changé. L'accent a été mis sur la qualité et la régularité de services destinés au plus grand nombre.

Avec le projet Hyperloop, la feuille de route du progrès technique remet la recherche de vitesse au sommet de l'agenda des laboratoires. Comme nous l'avons montré, il y a pourtant loin de la coupe aux lèvres. Pour des raisons techniques autant qu'économiques, cette innovation de rupture doit faire ses preuves. Les prototypes sont encore dans l'enfance et la commercialisation de ce type de service reste très incertaine.

Il n'en va pas de même avec le projet japonais de *maglev* (Linear Cho Shinkansen) en cours de construction entre Tokyo et Nagoya. La sustentation magnétique est une innovation déjà ancienne et les rames d'essai ont déjà battu le record de vitesse du TGV. Mais la différence de vitesse commerciale entre les deux systèmes reste modeste. La capacité des *maglevs* à supplanter ou non les TGV se jouera donc dans les domaines économique et écologique (bruit, consommation d'énergie...).

## Références

- Abraham C., (1961). La répartition du trafic entre itinéraires concurrents: réflexions sur le comportement des usagers, application au calcul des péages, *Revue générale des routes et des Aérodrômes*, n° 357, Octobre, 39 p.
- Crozet Y., (2015). « Maglev (603 km/h), Hyperloop (1100 km/h)... Vers un « retour sur terre » de la très grande vitesse ? » in revue Transport n° 491, Mai-Juin, p. 5-15.
- , (2016). *Hyper-mobilité et politiques publiques, changer d'époque ?* Economica, 190 pages.
- Debord M., (2015). <http://uk.businessinsider.com/elon-musk-always-depended-government-money-up-front-about-it-2015-6?r=US&IR=T>
- Héran F., (2009). *A propos de la vitesse généralisée des transports, un concept d'Ivan Illich revisité*, *Revue d'économie régionale et urbaine*, A. Colin, 2009-3, Juillet, p. 449-470.
- Illich I., (1973). *Energie et équité*, Le Seuil, 60 p.
- Crozet Y., (2019). Travel speed, Dictionary, <http://en.forumviesmobiles.org/marks/travel-speed-12977>

# Biographie des auteurs

## **René d'Ambrières**

X 1970, ingénieur de l'Armement et DEA en droit, il a occupé des postes opérationnels à la DGA. Il a dirigé l'usine de fabrication de bogies du site des ANF de Crespin, puis a été directeur commercial adjoint de DCN international. De 2000 à 2009, il a été président de la société HORIZON sas chargée de réaliser le programme des frégates Horizon en coopération franco-italienne. A partir de 2009, il a été directeur du maintien en condition opérationnelle de l'ensemble des navires de la flotte française entretenus par DCNS. Enfin, de 2012 à 2016, il a été directeur du centre des armes sous-marines de Saint Tropez.

Outre cette carrière technique, il a fait régulièrement des publications historiques et a collaboré au Dictionnaire de biographie française. Il est membre du conseil d'administration de la SABIX.

## **Pierre Couveinhes**

X 1970, ingénieur général des mines honoraire, il est depuis août 2016 membre associé du Conseil général de l'économie (CGE) au ministère de l'Économie et des Finances. Il a exercé des responsabilités variées en entreprise et dans l'administration, dans des secteurs tels que l'énergie, la sidérurgie, l'audiovisuel et l'édition. Il est président de la SABIX depuis juin 2014, membre du comité éditorial de *La Jaune et la Rouge* depuis juin 2013 et président du comité de rédaction de la série *Responsabilité et Environnement des Annales des Mines* depuis 2016.

## **Yves Crozet**

est économiste, membre du Laboratoire Aménagement Economie Transports (LAET-CNRS) qu'il a dirigé de 1997 à 2007. Professeur à l'Université Lyon 2 de 1992 à 2010, puis à Sciences-Po Lyon, il est professeur émérite depuis 2015. Il est également *Research Fellow* du CERRE (*Centre on Regulation in Europe*) à Bruxelles, membre du conseil d'administration et vice-président du Conseil National Routier (CNR) Il est aussi administrateur du CITEPA (Centre technique de référence en matière de pollution atmosphérique et de changement climatique) et membre du conseil scientifique de TDIE (Transport Développement Intermodalité Environnement).

En 2016, il a publié aux Éditions Economica un ouvrage intitulé *Hyper-mobilité et politiques publiques: changer d'époque?* Depuis 2014, Yves Crozet est maire de la commune de Saint-Germain-la-Montagne (42).

## **Jean Dupuy (1927-2021)**

Entré à l'École polytechnique en 1948, il en sort dans le Corps des mines. Après 4 années passées au Service des mines, il consacre à partir de 1956 sa carrière à la SNCF. Pendant dix ans, il occupe plusieurs postes opérationnels au sein de l'entreprise, qui lui permettent d'acquérir une excellente connaissance des matériels. En 1967, il est nommé directeur adjoint du Matériel et

de la Traction de la SNCF. C'est à partir de ce moment qu'il consacre une grande part de son énergie à la promotion du projet TGV, qui fait l'objet d'un premier rapport au gouvernement en 1969. En 1971, il devient directeur Matériel et Traction et il lance toutes les expérimentations permettant de définir et de valider le concept du TGV. Il est à bord de la rame qui, en 1981, bat le record de monde de vitesse qui était inchangé depuis 1955. En 1974, il est promu directeur général adjoint de la SNCF et onze plus tard, en 1985, il en devient le directeur général. Choissant de prendre ses distances par rapport à plusieurs objectifs de gouvernance alors assignés à la SNCF, il quitte l'entreprise en 1987.

Jean Dupuy est unanimement considéré comme le père du TGV.

### **Jean-Marie Duthilleul**

X1972, il est ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et architecte DPLG. En 1977, il intègre l'équipe du secrétariat général des villes nouvelles, qui anime des réflexions urbaines notamment sur la centralité, la mixité, la densité et, déjà, la maîtrise de l'énergie dans la cité. En 1982, il est chargé de mission pour l'Exposition universelle puis, en 1983, il rejoint la mission de coordination des grands projets de l'État à Paris. En 1986, les dirigeants de la SNCF l'appellent pour structurer un atelier d'architecture. Avec Étienne Tricaud, il se lance alors dans la conception des grandes gares contemporaines. En 1997, lauréat du concours international pour la gare TGV de Séoul, il crée avec Étienne Tricaud, au sein du groupe SNCF, l'agence AREP, équipe pluridisciplinaire qui s'investit dans la création de nombreuses gares et de l'aménagement urbain qui en découle tant en France qu'à l'étranger. En 2012 il quitte la direction de l'agence AREP, reprise par Etienne Tricaud, pour créer sa propre agence d'architecture, l'agence Duthilleul.

### **François Lacôte**

est ancien élève de l'École polytechnique (X1966) et ingénieur des-Ponts et Chaussées. Après trois années (1971-1974) consacrées à piloter les projets d'urbanisme et d'aménagement dans le département du Doubs, il a consacré sa carrière au secteur ferroviaire, à la SNCF puis chez Alstom.

Il entre à la SNCF en 1974 et occupe successivement (1974-1980) trois postes de directeur d'établissement de maintenance de matériel roulant (automoteurs à Metz, locomotives diesel à Nevers, locomotives électriques près de Lyon). En 1980, il rejoint le département des matériels neufs (études, développement, mise en service) pour diriger le secteur des locomotives et automotrices (1980-1982), puis le secteur des TGV (fin 1982 à fin 1990). Il assure la mise au point de la première génération de TGV, dirige les développements et la mise en service des TGV de 2<sup>e</sup> génération et de 3<sup>e</sup> génération. Il a dirigé les campagnes d'essai qui ont conduit aux records de vitesse du TGV de 1989-1990.

Fin 1990, il est nommé directeur du Matériel roulant (30 000 agents), où il assure à la fois le pilotage des projets de matériel neuf (y compris TGV), et la gestion et restructuration du secteur de la maintenance des matériels. De fin 1997 à fin 2000, il occupe les postes de directeur International puis directeur Recherche et Technologie.

En septembre 2000 il rejoint Alstom comme directeur technique. A ce titre, il pilote les projets de recherche et développement (notamment celui de la 4<sup>e</sup> génération de TGV, l'AGV d'Alstom), l'introduction de nouvelles technologies, et il développe l'expertise du groupe. Il co-dirige la

campagne d'essais d'avril 2007 qui a conduit au nouveau record de vitesse (575 km/h), qui n'a toujours pas été battu.

Retraité depuis juin 2014, il assure des fonctions d'enseignement (mastère ferroviaire) et d'expertise (programme européen *Shift2Rail*).

### **Arnaud Passalacqua**

est ancien élève de l'École polytechnique (X1998) et ingénieur civil des Ponts et Chaussées. Après un doctorat d'histoire obtenu en 2009, il est devenu maître de conférences en histoire contemporaine à l'Université Paris-Diderot (2010-2020), avant d'occuper un poste de professeur en aménagement de l'espace et urbanisme à l'Université Paris-Est-Créteil depuis 2020. Ses travaux portent sur l'histoire des mobilités dans plusieurs contextes occidentaux sur le temps long de l'époque industrielle. Il s'est ainsi intéressé aussi bien aux mobilités urbaines qu'aux mobilités interurbaines, notamment ferroviaires. Son approche se fonde sur plusieurs concepts permettant une analyse transversale de ces questions : espace public, innovation, énergie, circulation transnationale, imaginaires sociaux... Il est membre actif de plusieurs structures de ces champs de recherche, notamment Rails et histoire, P2M et T2M

### **Jean-Pierre Pronost**

X1963 et ingénieur Civil des Ponts et Chaussées, il a commencé sa carrière à la SNCF dans le domaine de l'infrastructure. Dès 1970, il a intégré le bureau d'études créé pour prendre en charge les premières études du projet de ligne à grande vitesse entre Paris et Lyon, et a rejoint entre 1976 et 1981 la direction responsable de la construction du projet. Après un intermède comme chef du département de la maintenance des voies sur le réseau, il devient directeur du projet de LGV Nord et de l'Interconnexion en Île-de-France de 1988 à 1994.

Directeur de l'Aménagement de la SNCF, il rejoint ensuite à sa création en 1997, comme directeur général délégué Réseau, le nouvel établissement public Réseau ferré de France en charge, au sens des règles communautaires, des missions de gérant d'infrastructure du réseau ferré national. En 2001, il prend la présidence de Certifer, agence de certification ferroviaire récemment créée pour couvrir l'ensemble du domaine des transports guidés ferrés nationaux. Depuis 2009, il exerce une activité indépendante d'ingénieur conseil.

Officier de la Légion d'honneur, il est président d'honneur de Ponts Alumni et de l'AFTES (Association française des tunnels et de l'espace souterrain).

### **Pierre-Louis Rochet**

Né en 1946, ancien élève de l'École polytechnique (X1965) et ingénieur civil des Ponts et Chaussées, il a occupé plusieurs postes opérationnels à la SNCF de 1970 à 1977. Il rejoint ensuite SOFRERAIL (filiale ingénierie export de la SNCF), où il fut jusqu'en 1981 directeur du projet d'étude de la ligne Marrakech-Laayoun, au Maroc. Directeur technique, puis directeur général de SOFRERAIL, il créa Canarail en 1990, fut chargé de la fusion de SOFRERAIL avec SOFRETU, filiale de la RATP. Il devint en 1995 PDG de la société SYSTRA résultant de cette fusion. Il fut ensuite PDG de SNCF International, de sa création en 1998 jusqu'en 2001.

Depuis, il fut successivement président du conseil de surveillance de *Siemens Transportation Systems France*, président d'EGIS (avec la création en 2004 de Egisrail), directeur ferroviaire du groupe ARCADIS, conseiller Market Intelligence & Stratégie du groupe Vossloh, personnalité qualifiée pour la Fédération des industries ferroviaires dans le cadre de la médiation de la filière ferroviaire.

## **Hervé de Tréglodé**

Ingénieur général des mines honoraire, ancien élève de l'École polytechnique (X1970) et de Mines ParisTech, il a été conseiller technique du ministre de l'Agriculture. Il devint ensuite directeur régional de la SNCF en Normandie et directeur des Affaires européennes de la même entreprise, puis directeur général adjoint de Réseau ferré de France (RFF, aujourd'hui SNCF Réseau). Il a été membre permanent du Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD, ministère de la Transition écologique). Chevalier dans l'ordre de la Légion d'honneur et Officier dans l'Ordre national du Mérite

## **Etienne Tricaud**

X1980, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, architecte DPLG et urbaniste, il commence son activité en 1985 comme ingénieur structure dans les bureaux d'études *Ove Arup & Partners* (Londres) et RFR (Paris), sous la direction de Peter Rice.

En 1986, il rencontre Jean-Marie Duthilleul avec lequel il partage une même vision de l'élaboration des projets. Au sein de l'Agence des gares de la SNCF, ils réinventent la gare contemporaine à travers la conception d'un réseau de gares qui irriguent le territoire et jouent à nouveau un rôle clef dans la dynamique urbaine. En trois décennies se construisent les gares du TGV Atlantique, puis Nord, Méditerranée, Est et enfin Rhin-Rhône. En 1997, ils fondent AREP, dont Etienne Tricaud devient directeur général, puis président du directoire en 2012 jusqu'en 2018.

Ensemble, ils ont conçu de nombreux projets en France et à travers le monde, notamment : les gares d'Avignon, Strasbourg, Turin, Shanghai-Sud et Casa-Port, le musée historique de Pékin, des tours à Doha et à Hô-Chi-Minh-Ville, un centre sportif à Hangzhou, des projets de bureaux, de commerces et d'hôtels en France et à l'étranger, mais aussi des études urbaines au Viêt Nam, en Arabie Saoudite et en Russie (cité de l'innovation de Skolkovo).

Aujourd'hui, au sein de sa nouvelle structure créée en 2019, Étienne Tricaud étudie des projets et développe des missions d'architecture et d'urbanisme. Parmi les derniers projets à son actif, qui verront le jour dans les prochaines années ou viennent d'être livrés, on peut citer la gare de l'exposition universelle de Dubaï 2020, la gare de Pékin Qinghe desservant le site des JO de 2022, la Tour des sports d'Hangzhou, une éco-cité à Wuhan en Chine, la ville nouvelle de Fom-el-Oued au Maroc et une étude globale d'aménagement à Bahrein.



