

Technique universelle et filières nationales, le cas de l'électrification des chemins de fer européens

(Reprint de J.-F. Picard *Sciences et Techniques en Perspective*, Vol 1, n°1, 1997)

Il y a une cinquantaine d'années, l'électrification de la ligne de chemin de fer Valenciennes-Thionville coïncidait avec le record de vitesse mondial des locomotives électriques de la SNCF à plus de trois cent kilomètres à l'heure. A l'époque, peu d'observateurs notèrent que le record fut obtenu avec un système d'électrification ancien, le courant continu 1,5 kV, alors que Valenciennes-Thionville inaugurerait la première ligne d'importance équipée en courant alternatif haute tension à fréquence industrielle. Selon une formule de l'époque, ce nouveau mode d'électrification devait permettre de faire circuler les trains les plus lourds d'Europe - en attendant que ce soient les plus rapides - sous la caténaire la plus légère du monde. Désormais, le chemin de fer pourrait puiser son énergie directement auprès du producteur national d'électricité, l'EDF, ce nouveau système se voyant qualifié d'universel par ses concepteurs comme l'aboutissement d'une évolution amorcée au début du siècle précédent, susceptible de remplacer tous les dispositifs d'électrification en usage jusque là.

Pourquoi électrifier le chemin de fer ?

Dès la fin du XIXème siècle, il était apparu que l'électricité offrait au rail un rendement sans commune mesure avec celui du charbon-vapeur, voire celui du pétrole puisqu'on retrouve pratiquement 65% de l'énergie produite, consommée à la roue d'une machine électrique, contre 8% dans le cas d'une locomotive à vapeur. Pourtant, alors que la loco à vapeur ou diesel emporte avec elle sa réserve d'énergie, le charbon du tender ou le gasole dans son réservoir, la traction électrique implique d'acheminer l'énergie jusqu'à la locomotive, c'est-à-dire de réaliser de grosses installations fixes - réseau d'alimentation, sous-stations, lignes caténaires ou troisième rail, etc. - ce qui grève l'économie du système. Il apparut donc très tôt que la rentabilité d'une électrification ferroviaire ne serait assurée qu'au delà d'un certain trafic. Vers le milieu du vingtième siècle, Louis Armand, un ancien patron de la SNCF, rappelait ainsi que si la traction électrique n'était valable que sur 10% du réseau ferré mondial, elle l'était en revanche pour 80% du trafic ferroviaire. C'est d'ailleurs l'une des raisons pour lesquelles les Etats-Unis, pourtant pionniers en matière d'électrification l'ont finalement abandonné assez tôt sur leur immense réseau, alors que les principaux axes ferroviaires européens dans un contexte évidemment plus dense finiraient par l'adopter.

Cependant, alors que les différents réseaux cherchaient à réaliser une inter opérabilité technique de façon à assurer la circulation des hommes et des marchandises à l'échelle des continents, en matière d'écartement des voies par exemple (à l'exception notable des Russes et des Espagnols), de systèmes d'attelages ou de freinages, chaque pays d'Europe choisit finalement un système particulier pour électrifier son réseau national

de chemin de fer. On sait qu'aujourd'hui il existe toujours quatre standards d'électrification sur le vieux Continent. A savoir l'alternatif à la fréquence de 16 2/3 germano-helvético-scandinave, le continu 1,5 kV franco-hollandais, le continu 3 kV italiano-belge (ce dernier ayant d'ailleurs remplacé le courant triphasé d'origine en Italie), et le 50 Hz implanté en France depuis le milieu du vingtième siècle, puis en Europe centrale, en Grande-Bretagne, dans la péninsule ibérique et aujourd'hui en Hollande¹. En effet, à côté des arguments économiques, il existe aussi d'autres critères de choix pour électrifier les chemins de fer, de nature technique bien entendu, mais aussi et c'est plus suprenant, d'origine politique. Ainsi, il apparaît que les querelles franco-allemandes du vingtième siècle, dont deux guerres mondiales, peuvent expliquer pourquoi la France choisit d'abord le courant alternatif pour électrifier ses chemins de fer, l'abandonne ensuite pour le courant continu et revient enfin vingt-cinq ans plus tard à l'alternatif, une disposition qualifiée cette fois d'universelle. Ce sont les circonstances de ces changements que l'on voudrait évoquer ici.

Courant continu v/ courant alternatif

Au tournant du dix-neuvième et du vingtième siècle, la traction électrique apparaît comme le fruit remarquable de la seconde révolution industrielle. Cela, principalement dans deux pays, l'Allemagne et les Etats-Unis et autour de deux technologies concurrentes, le courant continu et le courant alternatif. Le célèbre Thomas A. Edison fonde en 1892 la firme General Electric (GEC^o) afin de développer la technologie du courant continu. L'alternatif est la technologie de la firme concurrente, Westinghouse, qui industrialise les brevets Tesla du transformateur et réalise, en 1905, la première électrification ferroviaire d'importance entre New-York et New-Haven. En Allemagne, Werner v. Siemens a fondé une firme qui porte son nom en commençant à fabriquer des tramways, dont le premier réalisé pour l'exposition internationale d'électricité à Paris (1881). Dolivo Dobrowolsky, le directeur de sa concurrente AEG, invente le moteur à induction, alternatif triphasé, grâce auquel des automotrices prototypes franchissent les 200 km/h en 1903. Un record mondial toutes catégories qu'elles conserveront jusqu'à celui réalisé par la SNCF, cinquante ans plus tard. Quant à l'industrie française, restée plus en retrait de cette deuxième révolution industrielle, les constructeurs de locomotives travaillent sur des licences nord-américaines. Schneider utilise les brevets Westinghouse du courant alternatif et réunira ses filiales électriques en 1931 (Schneider-Westinghouse et Jeumont-Schneider) au sein de la société 'Matériel de traction électrique' (MTE-Schneider), tandis que la 'Compagnie Française Thomson-Houston' (CFTH), filiale de la 'General Electric' (GEC^o) américaine, fusionnera avec la la 'Société Alsacienne de Construction Mécanique' (SACM) et les 'Constructions électriques de France' (CEF) pour former l'Alstom¹.

A l'aube du XXème siècle, ce savoir-faire des électriciens ignore les frontières. C'est en triphasé que les Italiens décident d'équiper leurs chemins de fer en utilisant les ressources de l'industrie électrotechnique suisse. Mais s'il est vrai que si ce type de courant permet de construire des moteurs simples et robustes, il complique le dispositif destinés à les alimenter. Et l'on voit ainsi intervenir ici un deuxième acteur de l'électrification ferroviaire, à savoir les soucis de l'exploitant, autrement dit la demande

¹ Y. Machefert-Tassin, F. Nouvion, M. Woimant, *Histoire de la traction électrique*, Paris, La Vie du Rail (2 vol.), 1980-1986, ou l'ouvrage collectif en deux volumes *Histoire des chemins de fer en France* (1963) et *Autour des chemins de fer français, le présent, l'avenir* (1966), Paris, les Presses modernes.

des compagnies de chemin de fer. Pour l'exploitant, l'électricité apporte des solutions à deux types de contraintes, les lignes de montagne et les lignes urbaines. En ville, le problème posé au rail est la capacité à écouler du trafic, donc la fréquence des trains et les nuisances qu'ils provoquent. Loin de l'accessoire, ce dernier point révèle tous les avantages de l'électricité lorsqu'il s'agit de faire circuler des convois en tunnel. Ainsi, sans traction électrique point de métro ou de lignes urbaines qui deviennent ainsi le champs d'action privilégié du courant continu basse tension. Sur le Paris-Orléans (P.-O.) le responsable de l'électrification du tronçon urbain Orsay-Austerlitz est Hippolyte Parodi, un polytechnicien qui a commencé sa carrière à la CFTH¹. C'est la technique Thomson-Houston qui permet à Hippolyte Parodi et à Natalis Mazen, son homologue des Chemins de fer de l'État, d'électrifier la banlieue parisienne. Dans les régions montagneuses, il y a deux raisons d'électrifier le chemin de fer : d'abord la fourniture d'hydro-électricité se trouve facilitée par la nature avec l'installation de barrages de hautes chutes, ensuite cette énergie fournit à l'exploitation ferroviaire des ressources de puissance inégalées par les autres modes de traction.

Le monophasé à fréquence spéciale

C'est ainsi que la Suisse a su développer une puissante industrie électro-technique autour de l'ensemble turbines-alternateurs-traction. Les Ateliers Oerlikon, Brown-Boveri à Baden, SLM à Winterthur, etc. sont des firmes installées au tournant du dix neuvième et du vingtième siècle ont fait de ce petit pays l'un des leaders mondiaux de l'électro-technique et un pionnier de la traction ferroviaire en courant alternatif. L'utilisation de celui-ci en traction ferroviaire se heurte cependant à certaines sujétions techniques. On a signalé les difficultés d'emploi du courant triphasé par le chemin de fer, ainsi apparaît l'idée d'utiliser le courant monophasé qui ne nécessite qu'une seule ligne d'alimentation. Cependant, la commutation du moteur à collecteurs en courant monophasé est rendue délicate par une force électromotrice statique, d'autant plus gênante que la fréquence du courant est élevée, ce qui pousse les ingénieurs à envisager l'usage d'un courant monophasé à basse fréquence. Ainsi, la filière transformateur-graduateur-moteur à enroulement spécial est inventée, en 1904, par l'ingénieur-docteur Hans Behn-Eschenburg chez Oerlikon. Les essais réalisés sur la petite ligne Seebach-Wettingen s'avèrent suffisamment probants pour convaincre les chemins de fer helvétiques d'adopter un courant alternatif à fréquence de $16 \frac{2}{3}$ à la tension de 15 kV et la première électrification est réalisée par la compagnie du Bern-Löchstberg-Simplon en 1907, suivie du Saint-Gothard en 1918². Le monophasé quinze mille volts est fourni directement par des centrales hydroélectriques mixtes qui produisent en même temps le triphasé du réseau général. Des lignes de transport d'énergie spécifiques alimentent ainsi l'exploitant ferroviaire, selon une disposition qu'adopteront l'Allemagne et l'Autriche, mais que l'on verra fortement critiquée par les adeptes français du courant continu.

A l'origine en tout cas, le courant alternatif monophasé s'avère suffisamment attractif pour susciter l'intérêt de la Compagnie des chemins de fer du Midi, le plus montagnueux des grands réseaux français, mais aussi le plus pauvre. Son directeur Jean-Raoul Paul est un polytechnicien (X-Ponts) passionné d'électricité comme l'atteste sa participation au premier congrès de la Houille blanche au tout début de ce siècle. Après une première

¹ M. Merger in *Les professeurs du conservatoire national des arts et métiers*, Paris, INRP-CNAM, 1994.

² A. Gache, "Début de la traction électrique aux CFF et les locomotives de ligne à courant monophasé $16 \frac{2}{3}$ ", *Chemins de fer*, mai 1975.

réalisation en continu basse tension sur la petite ligne à voie métrique de Cerdagne (Villefranche de Conflans - La Tour de Carol). En 1910, J.-R. Paul décide d'électrifier le réseau du Midi avec le système germano-suisse, d'autant que les régions concernées ne bénéficient alors d'aucune installation de production hydroélectrique, donc que tout est à entreprendre. L'entreprise débouchera ainsi sur l'électrification générale des régions aquitaine et languedocienne. La construction de barrages de hautes chutes est réalisée dans les hautes vallées pyrénéenne, comme la centrale de Soulom, parallèlement à l'équipement de quelques tronçons du réseau ferré en monophasé 12 kV à 16 2/3 Hz : Perpignan-Villefranche de Conflans, Lourdes-Pierrefitte, Tarbes-Bagnères de Bigorre et l'amorce de la rocade Toulouse-Bayonne¹. Pour comparer la technique, le Midi a reçu six locomotives prototypes de différents constructeurs, des Américaines Thomson-Houston (GEC^o) et Westinghouse, du Suisse Brown-Boveri, de l'Allemand AEG et du Français Schneider. Simultanément, le réseau Paris-Lyon-Marseille (PLM) entreprend des essais d'électrification entre Cannes et Grasse, mais en optant pour le monophasé 25 Hz, caractéristique de la distribution électrique dans la région desservie, l'Énergie Electrique du Littoral Méditerranéen².

Des pouvoirs publics soucieux d'économiser le charbon

Un troisième intervenant dans l'histoire de l'électrification des chemins de fer est l'État puisqu'il lui revient de concéder l'exploitation des barrages et de normaliser les grands réseaux de communication ou d'énergie. De plus, la Première Guerre mondiale a commandé une mobilisation industrielle justifiée par la mobilisation des ressources au profit de la Défense nationale. Privé des mines du Nord, la pénurie de charbon pénalise les chemins de fer français qui y puisent encore l'essentiel de leurs ressources en matière de traction. En 1917 les grands réseaux, Nord, Est, PLM, P.-O., Midi, Ouest-Etat, sont placés sous la tutelle du ministère des Travaux publics qui entreprend de rationaliser leur exploitation². Un programme d'électrification des chemins de fer est élaboré pour un coût d'un milliard et demi de francs qui permettrait d'économiser deux millions de tonnes d'un combustible dont le prix a décuplé depuis le début de la guerre. En fait, le ministère des Travaux publics reprend un ambitieux programme d'électrification de neuf mille kilomètres de lignes ferroviaires, fondé sur des concessions d'usines hydroélectriques accordées avant-guerre à certains réseaux comme le P.-O., le Midi et le PLM. L'électrification du rail est donc couplée à celle du réseau général de distribution électrique également préconisé par le ministère des Travaux publics. En avril 1918, une note administrative précise que « *pour les installations de production-distribution d'électricité à réaliser dans les régions dévastées par l'ennemi et pour des concessions nouvelles, on (devra) adopter le courant l'alternatif triphasé à cinquante périodes* ». Une disposition reprise dans une loi de 1922 sur le transport d'énergie qui entérine les recommandations d'une Conférence internationale des grands réseaux d'électricité (CIGRE).

Le 14 novembre 1918, soit trois jours après l'armistice qui marque la fin de la grande guerre, le ministère des Travaux publics installe un comité d'études pour l'électrification

¹ C. Bouneau, "L'électrification ferroviaire" in *Histoire de l'électricité en France, op. cit.* et A. Conseil, O. Fourniol, "Ingénieur polyvalent, dirigeant novateur, pionnier, promoteur, aristocrate, Jean-Raoul Paul", *Chemins de fer*, n°429, juin 1994.

² M. M. Peschaud, "Les chemins de fer pendant la guerre 1914-1918", *Revue générale des chemins de fer*, juin-sept. 1919.

des réseaux de chemins de fer d'intérêt général. Cet organisme est placé sous la présidence de Gabriel Cordier, le patron de l'Électricité du Littoral Méditerranéen', la société qui a permis les essais du PLM avant-guerre. Il comprend l'ancien ministre des Travaux publics, Louis Loucheur, son rapporteur est un universitaire, le professeur Mauduit de la Faculté de Nancy. L'État-major y a dépêché ses représentants qui expriment d'emblée les réticences militaires vis-à-vis d'éventuelles électrifications des lignes de l'Est et du Nord. Car le comité réunit les représentants des grands réseaux, Hippolyte Parodi pour le P.-O., Natalis Mazen pour l'État, Ferrand pour le PLM, ainsi que des ingénieurs des PTT. Début 1919, une mission technique se rend en Suisse et en Italie pour étudier l'électrification en alternatif, système défendu par le pr. Mauduit. Puis en juillet aux États-Unis pour évaluer le continu, cette fois à l'instigation de Parodi. Les premières conclusions du comité traduisent un enthousiasme modéré puisqu'il est fait état d'expériences fragmentaires - un millier de locomotives électriques en service dans le monde contre trois cent mille à vapeur - et surtout d'une diversité de dispositions techniques qui conforte certains de ses membres dans la conviction de la supériorité de la vapeur pour la grande traction. Lors d'une conférence donnée devant la Société française des électriciens, Natalis Mazen déclare que *«...l'électricité n'a pas encore fait ses preuves en grande traction ferroviaire. Aux Etats-Unis, elle a surtout été source de difficultés techniques et économiques; par exemple elle ne permet pas de faire mieux que les locomotives à vapeur. Ainsi pour les trains de marchandise, quel que soit le mode de traction on reste tributaire de la limite de résistance des attelages. Au reste, l'électrification des chemins de fer n'est intéressante que pour les lignes de banlieue où on peut faire circuler des automotrices à adhérence totale, d'où d'ailleurs (notre) préférence pour le courant continu basse tension plus pratique sur ce type de matériel»*¹.

La décision de 1920 et le système Parodi

Parallèlement à cette enquête administrative, un débat s'amorce entre les constructeurs et les exploitants. Les premiers organisent une mission d'industriels français en Suisse, avec à sa tête Georges Darrius ingénieur à la 'Compagnie électro-mécanique' (Brown-Boveri), afin de réexaminer les réalisations en alternatif. Les exploitants y répondent en dépêchant l'Office central de construction et d'étude du matériel ferroviaire' (OCEM), une émanation des grands réseaux, pour visiter le 'North-Eastern' britannique où existe une ligne électrifiée en 1,5 kV continu par la firme 'Dick Kerr' (English Electric). En définitive, une décision ministérielle du 29 août 1920 décide d'unifier le système d'électrification des chemins de fer français autour du courant continu à la tension de 1,5 kV, exceptionnellement portée à 3 kV². L'alternatif monophasé est rejeté au prétexte des perturbations qu'il engendrerait dans le réseau téléphonique longeant les voies ferrées. C'est la condamnation des premières réalisations du Midi dont on note d'ailleurs la singulière absence au comité d'étude des Travaux publics³.

La brutalité de la sentence doit vraisemblablement aux pratiques dirigistes de la guerre; seule une administration centrale encore en position de force pouvait imposer son arbitrage aux différents réseaux. Mais il reste à évoquer le poids de l'exploitant dans

¹ N. Mazen, 'La grande traction par l'électricité, état actuel de la question', *RGCF*, juillet 1919

² Ministère des Travaux publics, circulaire du 1er avril 1918 citée par A. Gache, "Libres propos autour du cinquantième du courant continu 1500 volts en France", *Chemins de fer*, n° 295, avril 1972.

³ H. Parodi, 'Le développement actuel de la traction électrique sur les grands réseaux de chemin de fer', *RGCF*, janvier 1920.

cette décision. En réalité, si le continu 1,5 kV est qualifié de ‘système Parodi’, l’électricien du P.-O. reconnaît la supériorité théorique de l’alternatif pour la traction, mais il lui reproche son incapacité à consommer directement le courant fourni par un réseau d’énergie. Plus tard, il racontera s’être précipité chez le dr. Behn-Eschenburg pour lui demander s’il pensait pouvoir fabriquer des moteurs directs fonctionnant en monophasé cinquante périodes et sa réponse négative l’aurait convaincu du peu d’intérêt de l’alternatif en traction ferroviaire. *«En Allemagne et en Suisse, écrit-il en janvier 1920 dans la ‘Revue générale des chemins de fer’, une théorie purement étatiste (!) et très particulariste a abouti à des centrales électriques construites et exploitées par l’État, uniquement pour alimenter les réseaux de chemin de fer»*. Dès lors, pourquoi ne pas recourir au courant continu *«susceptible d’être fourni à partir de n’importe quelle source primaire»*. Or, si le courant continu se prête bien à l’alimentation des moteurs à collecteurs, il crée certaines sujétions en matière d’équipements fixes. Les moteurs des machines appelés à fonctionner à pleine tension, afin de respecter les contraintes d’isolement, on doit limiter celle-ci à 1500 volts, mais plutôt 750, donc multiplier le nombre de sous-stations et poser une caténaire à forte section de cuivre pour éviter les pertes en ligne. Bref, si nul ne conteste que son coût d’équipement soit très supérieur à celui de l’alternatif, Parodi estime que le continu n’empêchera pas l’électricité ferroviaire de sortir des usages où elle était cantonnée jusque là, i.e. la banlieues et les lignes de montagne : *«...le courant continu donne tout apaisement financier dans tous les cas ou l’intensité du trafic est suffisante pour justifier un changement du mode de traction, (II) doit permettre de développer la grande traction sur les grandes lignes»*¹. Choix d’exploitant, la décision de 1920 trahit un certain chauvinisme technologique. Derrière le rejet de l’alternatif se profile un refus des ingénieurs français de solliciter les électriciens d’outre-Rhin. Au sortir de la Première Guerre mondiale, le risque est d’ailleurs évoqué d’une compatibilité des électrifications entre les deux pays qui permettrait une éventuelle revanche du vaincu avec la réquisition de ses locomotives. Mais si l’argument a porté, Parodi a aussi souhaité recourir à la technique du vainqueur, c’est-à-dire au courant continu utilisé dans les pays anglo-saxons. D’ailleurs loin de renier son influence américaine, le P.-O. rappelle avec fierté qu’il a électrifié sa banlieue avec le système Thomson-Houston ou qu’en 1917 il a assuré le débarquement en Europe des troupes du général Pershing, voire qu’il a commandé quatre vingt ‘pacifics’ et ‘mikados’ à l’American locomotive C° pour reconstituer son parc de locomotives à vapeur usé par la guerre.

Fort de son expérience lors de l’électrification de la banlieue Paris-Juvisy, pour Parodi, nul doute que le continu basse tension constitue donc le nec plus ultra en matière de traction ferroviaire. Il en veut pour preuve l’exemple américain où il compte quatorze cents kilomètres de voies électrifiés en continu 3 kV, autant en alternatif, mais trois fois plus en continu 1,5 kV en 1915. Or cette référence concerne le développement considérable des interurbains, sortes de gros tramways rapides de l’Amérique du Nord qui ne font pas de grande traction. D’ailleurs la technologie américaine montre ses limites avec l’échec d’une locomotive gearless commandée à la GEC°, un mastodonte de cent quarante tonnes inapte à dépasser 100 km/h. Le P.-O. a donc recours à l’industrie suisse pour s’équiper, non sans succès, il convient de le reconnaître. La ‘Compagnie électro-mécanique’, filiale technique de Brown Boveri, construit les groupes tournants de ses sous-stations, tandis que le constructeur helvète réalise la célèbre 2D2 501,

¹ *Ibid*

prototype des locomotives de vitesse en France pendant le quart de siècle à venir. La première réalisation du P.-O. est l'électrification de la ligne Paris-Vierzon en décembre 1926. L'alimentation est réalisée par des barrages construits dans le Massif Central par l'Union hydroélectrique' (Eguzon, Marèges), une société issue d'un accord P.-O. et l'Union d'électricité', le groupe Mercier, tandis que les besoins de la traction ferroviaire amorcent, à partir de 1932, la réalisation d'un réseau de transport d'énergie du Massif central (TEMAC), premier maillon du réseau français d'interconnexion en triphasé 220 kV.

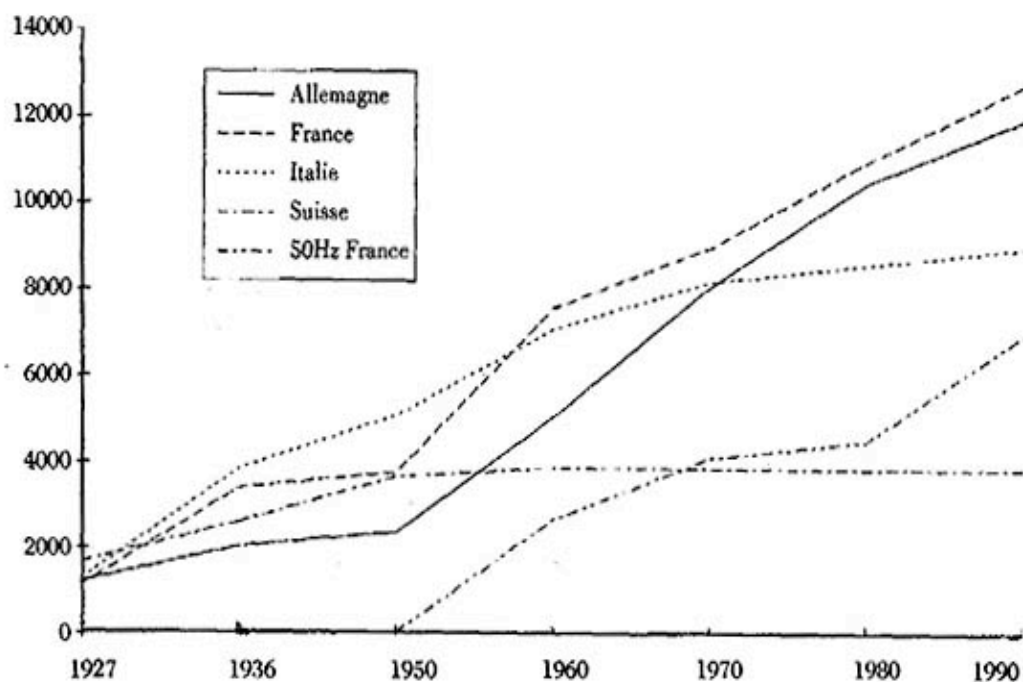
L'extension du 1500 volts continu

Si la décision de 1920 paraît taillée à la mesure du P.-O., elle conduit son voisin du Midi à reconsidérer son choix d'avant-guerre et à équiper son réseau en courant continu 1500 volts moyennant quoi il surpasse bientôt le P.-O., au moins en termes d'innovation technique. Par exemple, il installe dans ses sous-stations des redresseurs à vapeur de mercure, c'est à dire des redresseurs statiques et non des groupes tournants, un dispositif dont on verra plus loin la postérité dans le développement de la traction en cinquante périodes. Plus soucieux que son voisin septentrional d'intégrer son électrification dans un développement industriel régional, la Compagnie du Midi participe à l'industrialisation de la Bigorre et de la région toulousaine. Les 'Construction électriques de France' (CEF) installées à Tarbes en 1918 sont chargées de réaliser son appareillage de production et de traction et les fameuses BB Midi, archétype réussi des locomotives pour service mixte, bientôt adopté par les autres réseaux électrifiés. Le Midi a aussi participé à la création de l'Union des producteurs d'électricité des Pyrénées occidentales (UPEPO) qui développe un réseau de transport haute tension pour écouler sa production dans tout le Sud-Ouest de l'hexagone. Cependant, l'exploitation du réseau Midi a donné du souci à sa tutelle. L'abandon de l'alternatif a majoré le coût d'une électrification dont le ministère des Travaux publics vient à dénoncer l'irréalisme. Certes, mû par ses ambitions initiales il a peut être équipé exagérément ses petites lignes pyrénéennes, dont certaines aujourd'hui disparues, mais il a aussi pâti d'un archaïsme juridique qui, à l'inverse de l'exemple helvétique, a rendu difficile l'harmonisation des concessions publiques de production hydroélectrique et de chemins de fer¹. Quoiqu'il en soit, les conséquences de la grande crise économique de 1929 et l'érosion d'activité quelle entraîne conduit la Compagnie du Midi à fusionner avec son grand voisin. Cependant, grâce au soutien des pouvoirs publics, le P.O.-Midi continue l'œuvre d'électrification du réseau Sud-Ouest pour achever celle de la ligne de Paris à Irún, à la frontière espagnole. Les autres réseaux ont aussi réalisé leurs électrifications en courant continu, mais avec moins d'ampleur. Ainsi le PLM modernise la ligne alpine de Culoz à Modane par où transite l'essentiel du trafic franco-italien. Le dernier réseau concerné est celui de l'État avec l'électrification de la ligne Paris-Le Mans. Celle-ci a été décidée dans le cadre du Plan Marquet des grands travaux contre le chômage, avec l'aval du comité d'étude pour l'électrification des chemins de fer. Pour cette réalisation, le directeur du réseau, Raoul Dautry, a recruté un X-télécom, Marcel Garreau, que l'on va retrouver, plus loin, à la tête des projets d'électrification de la SNCF.

Précisément, à propos du projet d'électrification Paris-Le Mans, Marcel Garreau évoque l'éventualité d'une remise en cause du système Parodi : « *si le seul le choix*

¹ C. Bouneau, "La politique d'électrification de la Compagnie du Midi de 1902 à 1937" in *La France des électriciens 1880-1980* (actes du deuxième colloque de l'AHEF, avril 1986), Paris, PUF, 1986.

technique avait joué, le continu 3000 volts aurait été préféré au 1500. Mais les interconnexions avec le P.-O. pour l'utilisation du matériel roulant l'ont fait écarté sans discussion. On en a d'ailleurs tiré prétexte, ajoute Garreau, pour équiper la ligne du Mans plutôt que celle du Havre »¹. Ainsi, elle est alimentée en énergie par des antennes du réseau TEMAC et des redresseurs à vapeur de mercure, des appareils dont la souplesse se prête à la commande automatique des sous-stations. Cette électrification s'achève au moment de la création de la SNCF, la nationalisation des chemins de fer français. Quelle est l'extension du système Parodi à la veille de la Seconde Guerre mondiale? si certains pays ont adopté le courant continu, c'est surtout à la tension de 3 kV, comme l'Italie qui dispose du plus long réseau de lignes électrifiées en Europe. En réalité le 1500 continu n'a peut être pas eu l'expansion prévue par ses promoteurs. Aux États-Unis, il n'a guère dépassé la banlieue de Chicago (Illinois Central) tandis qu'on ne le rencontre sur le vieux continent qu'aux Pays-Bas et dans le Nord de l'Espagne. La France compte alors trois mille trois cents kilomètres de lignes électrifiées, soit 8% de son réseau ferré ce qui n'est pas négligeable, mais il reste que le continu reste très minoritaire en Europe par rapport à l'alternatif 16 2/3 qui alimente les réseaux d'Europe centrale et septentrionale, notamment en Suède. A la veille de la Seconde Guerre mondiale, pratiquement l'ensemble du réseau suisse est électrifié tandis que l'Allemagne dispose déjà de deux mille kilomètres de lignes (Berlin-Leipzig, Bavière, etc.).



*Longueur des lignes électrifiées en Europe occidentale de 1930 à nos jours.
Signalons qu'aujourd'hui pratiquement la moitié des réseaux allemands et français sont électrifiés tandis que dans ce dernier pays le 50 Hz a dépassé le 1,5 kV cc. dans les années 1970.*

¹ M. Garreau, L'état actuel de l'électrification des chemins de fer, *RGCF*, fév. 1938

La SNCF et sa Division d'étude de la traction électrique

A la naissance de la SNCF, l'électrification reste donc la carte maîtresse de la modernisation ferroviaire dans un pays moins loti en ressources charbonnières que ses voisins septentrionaux, mais qui a la chance de disposer d'un gisement hydroélectrique sous-exploité. C'est pourquoi, en 1939, un programme décide de parachever l'électrification du réseau Sud-Ouest et prévoit le lancement de Paris-Lyon (Sud-Est), avec les aménagements hydroélectriques afférents. Ce plan établi dans la perspective d'une mobilisation industrielle des ressources nationales permettrait, chaque année, l'économie d'un demi-million de tonnes de charbon. La défaite de 1940 ne suspend pas cet effort. Au contraire, tandis que l'autarcie énergétique est devenue cruciale, le gouvernement de Vichy soucieux de remettre le pays au travail pratique un dirigisme inspiré du précédent conflit. Il installe un ministère de la Production industrielle et des Comités d'organisation par branches économiques. Le plan quinquennal d'équipement de la SNCF voit son crédit porté à cinq milliards de francs, tandis que le prolongement de l'électrification Sud-Est jusqu'à Marseille y est inscrit. Reste que ces projets pâtissent des circonstances de cette époque tragique. Alors que le directeur de la région Sud-Est, Henri Lang, avait bouclé le schéma technique de l'électrification Paris-Lyon, son arrestation et sa déportation sont peut être une des raisons pour laquelle le démarrage du chantier est retardé. Mais il y a aussi un manque de moyens matériels. La seule électrification menée à bien pendant l'occupation est la section Brive-Montauban sur la région Sud-Ouest. Pour palier les difficultés d'approvisionnement en matériel, la SNCF récupère du matériel sur des lignes électrifiées avant-guerre (Neussargues-Béziers) et utilise du câble en alliage d'aluminium, devenu moins rare que le cuivre. La ligne Brive-Montauban sera mise sous tension fin 1943, quelques mois à peine avant d'être sabotée dans la bataille de la Libération¹.

A son installation, la SNCF a installé des services techniques dont la vocation est l'unification du matériel hérité des anciens réseaux, comme la recherche et le développement de nouvelles techniques. Tel est le cas de la Division d'étude de la traction électrique (DETE) logée à la région Sud-Ouest, le bastion des anciennes compagnies les plus électriques du réseau national. Le premier directeur de la DETE, Maurice Villeneuve, vient du P.-O. tandis que Marcel Garreau et Fernand Nouvion qui lui succéderont après-guerre sont issus des Chemins de fer de l'Etat. La DETE travaille avec l'industrie, notamment les constructeurs de locomotives, pour déterminer les spécifications d'un matériel unifié. Mais ses premières études portent davantage sur l'aspect mécanique des locomotives que sur leur système d'alimentation. Ainsi, pour Brive-Montauban, elle conçoit un nouveau type de machines à six essieux inspirées de

¹ Commission supérieure d'électrification de la SNCF, Rapport préliminaire par H. Lang. Conseil d'administration SNCF du 23 oct. 1940 : «à l'heure actuelle il ne semble pas que l'équipement des lignes Lyon-Bordeaux et Paris-Lyon doive être immédiatement poursuivi (dans ce cas, on ne retiendrait que Bordeaux-Montauban)». 29 oct. et 10 déc. 1941 : «un nouveau chiffrage du projet est demandé par le secrétariat d'Etat aux Communications (de 4,3 à 5,5 milliards de F)». 26 mars 1942 : «Paris-Marseille est retardé pour des raisons de crédit, en réalité la question est de savoir si l'industrie de construction électrique est en mesure de pourvoir aux travaux inscrits au plan». M. Cardon, M. Lebouilleux, "L'électrification de la ligne Brive-Montauban", *Revue générale des chemins de fer* sept. oct. 1940. Villeneuve, "Electrification de la ligne Brive-Montauban, ligne d'alimentation à haute tension et sous-stations", *Revue générale des chemins de fer*, nov. déc. 1944. M. Garreau, "Les locomotives électriques à six essieux moteurs, conception et étude des prototypes CC et BBB", *Revue générale des chemins de fer*, juin 1947. Voir aussi "L'électrification de la ligne Paris-Lyon, Etat actuel des études", *Revue générale des chemins de fer*, mai juin 1943. Les premiers marchés de travaux sont soumis au conseil d'administration de la SNCF à partir de mai 1944. Voir aussi P. Durand, *La SNCF pendant la guerre*, Paris, PUF, 1968.

réalisations italiennes et dont la fabrication est confiée, en 1943, à un groupement des constructeurs français. Pour Paris-Lyon, la DETE commence aussi à étudier de nouveaux types de locomotives légères à grande puissance, inspirées des constructeurs suisses qui donneront, après-guerre, les "CC" (Alsthom) et "BB" (MTE-Schneider) du record de 1955.

Inscrite dans la continuité des réalisations antérieures, l'électrification Paris-Lyon est donc normalement prévue en 1,5 kV continu. Mais, compte tenu de l'importance du projet, il semble que l'opportunité d'un changement de technique ait été soulevée dès le début de la guerre par le directeur général de la SNCF. Plusieurs possibilités s'offrent pour remplacer le système Parodi, le continu 3 kV adopté par les Italiens et surtout l'alternatif à 16 2/3 des Allemands. Du fait des circonstances la SNCF est placée sous l'étroit contrôle des autorités d'occupation et notamment de son homologue germanique, la Deutsche Reichsbahn et il semble que l'occupant veuille profiter de la situation pour introduire son système d'électrification sur les réseaux français et néerlandais, également électrifié en continu 1,5 kV. En juin 1943, la SNCF est amenée à pressentir le comité d'organisation des industries électriques mis en place par le régime de Vichy afin d'établir des devis de fabrication de locomotives selon les divers systèmes. Marcel Garreau note dans son journal technique que les constructeurs français seraient prêts à construire des locomotives à courant monophasé 16 2/3 moyennant une simple majoration de prix de 5%¹. En définitive, le maintien du 'système Parodi' sur l'axe Paris-Lyon paraît justifié au mobile de l'unification d'un parc de locomotives commun entre les régions Ouest, Sud-Est et Sud-Ouest. Mais si la ligne impériale de la SNCF a ainsi échappé à une unification à l'allemande, elle a aussi manqué le monophasé haute tension à 50 Hz dont on commence à parler en pleine guerre. Au point que certains responsables de la SNCF, comme le regretté Jean Bouley ancien directeur du matériel, estiment qu'il s'en est fallu de peu d'une décision qui fasse basculer l'ensemble du réseau français dans le courant alternatif au lendemain de la Seconde Guerre mondiale².

Un enfant de la guerre, le monophasé 50 Hz

Au vrai, l'attention de la SNCF pour le monophasé cinquante périodes doit beaucoup aux circonstances. L'un de ses promoteurs, Louis Armand, un ingénieur entré au PLM peu avant la nationalisation s'intéresse aux incidences des modes de traction dans la gestion des chemins de fer; voire à la logique économique des grands équipements en visionnaire de la modernité selon la formule de l'un de ses biographes. Sous l'occupation, il est directeur du Matériel tout en faisant de la Résistance, notamment par la fourniture de renseignements aux Alliés que lui permet son activité cheminote. Dans un livre de souvenirs³, il a raconté comment il dut tergiverser au sujet de certains projets germaniques tel celui d'un super-réseau européen à voie large électrifié en courant industriel (50 Hz). Ainsi, il n'est pas exclu que son intérêt pour le courant alternatif lui ait été suggéré lors de discussions avec ses collègues de la Reichsbahn omniprésentes dans les services centraux de la SNCF.

¹ Journal technique de M. Garreau, aimablement communiqué par m. André Blanc.

² A. Fioc, "Le développement de l'électrification des chemins de fer français, monophasé 15000 V? Continu 3000 V? ou Continu 1500 V?", *Revue générale des chemins de fer*, juillet aout 1945.

³ L. Armand, *Propos ferroviaires*, Paris, Fayard, 1969

En effet, il existe alors en Allemagne une petite ligne où l'on a essayé la traction en monophasé cinquante périodes, à la suite de certaines réalisations effectuées en Hongrie par la firme Ganz de Budapest. Mais son attention sur le monophasé à fréquence industrielle a également été attiré par deux ingénieurs de la firme Schneider-Westinghouse, Charles Rossignol et Paul de Giacconi. L'intérêt majeur du monophasé 50 Hz est d'ordre économique. En effet, en puisant directement l'énergie nécessaire à la traction auprès des grands fournisseurs d'électricités, c'est-à-dire sans avoir recours à une fréquence spéciale ou à transformer de l'alternatif en courant continu, une telle disposition laisse entrevoir la possibilité d'économies en matière d'équipement et d'exploitation. Ainsi, au début des 1930, les Allemands avaient mené des études sur le moyen de connecter directement le cinquante périodes du réseau général au 16 2/3 utilisé sur les lignes électrifiées de la Reichsbahn. En Allemagne, comme en France, le développement d'un réseau de grand transport à très haute tension trahissait l'anachronisme de lignes spécialisées à l'usage du chemin de fer, le rail ne représentant que 3% de la consommation électrique nationale. Des sous-stations avec convertisseurs bi-fréquences (50 Hz-16 2/3Hz) n'ayant pas donné satisfaction, en 1936, la Reichsbahn suscitait une expérience de traction directe en 50 Hz sur la petite ligne de Freiburg im Brisgau à Titisee dans la Forêt noire.

C'est cette installation que le dr. P. Müller, chef de la Division traction de Siemens, invite les français à visiter en mai 1943. Envoyé en mission en Allemagne, Paul de Giacconi publie dans la Revue générale des chemins de fer une petite note où il dresse le bilan économique encourageant de ces essais : un prix de revient de l'énergie consommée de 0,013 Reichsmark par kW/heure en cinquante périodes contre 0,017 RM en 16 2/3, soit une différence de 25% entre les deux systèmes¹. Malgré cela, pour des raisons sur lesquelles on va revenir, les ingénieurs allemands décident d'abandonner l'expérience. Tel n'est pas le cas en France. Une réunion se tient à la SNCF, le 7 juin 1944, le lendemain du débarquement allié en Normandie et quinze jours avant l'arrestation de Louis Armand par la Gestapo. A son issue, une note interne de la direction générale de la SNCF (Service O, n° 4993) précieusement conservée par André Blanc, un ancien responsable du service Matériel et Traction, recommande l'installation «...du 50 pps. (périodes par seconde) sur des lignes de trafic moyen dont l'électrification en continu basse tension ne saurait se justifier, Clermont-Ferrand-Nîmes par exemple, pour lesquelles on pourra se contenter de locomotives moins puissantes qu'avec l'ancien système (i.e. Parodi) »². En fait, dans une véritable ambiance d'espionnage industriel, il s'agirait d'évaluer la faisabilité d'un mode d'électrification économique, en s'appuyant sur le savoir faire germanique et sur celui de la firme américaine Westinghouse. D'ailleurs, P. de Giacconi, qui est resté en Allemagne jusqu'à la fin de la guerre est arrêté par la police française au moment de rentrer au pays, puis élargi sur une intervention directe de Louis Armand. Comme la ligne du Höllental est située dans la Zone française d'occupation, le tandem Müller-Giacconi peut reprendre ses essais, mais cette fois-ci directement pour le compte de la SNCF, devenue à son tour puissance occupante. Ainsi, les débuts du cinquante périodes s'inscrivent dans une période troublée, sur fond d'une collaboration technique franco-allemande dont l'exemple est loin

¹ *Elektrische Bahnen*, fév. 1943, cité in *Revue générale des chemins de fer*, mai-juin 1943.

² Dans les carnets techniques d'Armand, il est fait mention d'un numéro de la revue *Elektrische Bahnen* (1936) sur ce sujet (AHICF). A. Gache note le manque d'intérêt des chemins de fer français pour ces expériences avant Armand, un simple article dans la revue "La Technique moderne" en juillet 1937, puis un autre dans la revue de l'AFAC en 1946 ("Des souvenirs du 50 Hz", *Chemins de fer*, n°386, 1988).

d'être unique sous l'occupation, mais qui a profité à d'autres secteurs industriels comme l'aéronautique, l'électronique, voire la recherche atomique.

Les contraintes d'une électrification à l'économie

A la Libération, suite aux destructions subies, le réseau français doit être reconstruit. Ainsi, la reprise du programme d'électrification ferroviaire s'inscrit comme un choix de modernisation et de reconstruction fixé par le Plan Monnet. D'autant que l'intérêt de l'électrification est renforcé par l'une des plus graves crises charbonnières que traverse le pays et qui justifie le programme d'équipement hydroélectrique lancé simultanément par EDF. Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, les chemins de fer français consomment encore neuf millions de tonnes de charbon, soit 20% d'une production nationale dont le volume se trouve réduit par faits de guerre et alors que les importations n'ont pas encore repris. Un homme en tout cas ne doute pas que le rail soit appelé à être l'outil du relèvement national. Louis Armand, est nommé à la direction de la SNCF en 1949 et restera à ce poste jusqu'en 1955. Aux côtés d'un Jean Monnet au Plan ou d'un Pierre Massé à l'EDF, il est l'un de ces nouveaux managers du secteur public français inspirés d'économie keynésienne. Louis Armand exprime la conviction queloin de n'être qu'une source de déficit, le rail recèle des possibilités de productivité et des réserves d'innovation susceptibles de servir à la croissance économique nationale. Au Congrès pour l'avancement des sciences tenu à Biarritz en 1947, il rappelle qu'une fois achevé Paris-Lyon en courant continu, il ne restera que quelques centaines de kilomètres à équiper sur le réseau français avec ce système, soit moins de la moitié des lignes susceptibles de l'être à moindre coût¹. Or, le monophasé cinquante périodes devrait permettre de réduire la facture en diminuant d'un facteur dix du nombre des sous-stations, des installations d'ailleurs réduites en cinquante périodes à de simples prises de courant sur le réseau général et par un allègement de le caténaire. Globalement, l'économie possible en recourant à ce système est estimée à la moitié d'une électrification à la Parodi².

Mais auparavant, il convient de lever les hypothèques techniques qui pèsent sur le nouveau système d'électrification, d'où la nécessité de réaliser une installation prototype en France. Délaissant la Massif Central initialement envisagé, le choix de la SNCF se porte sur la petite ligne savoyarde d'Aix-les-Bains à la Roche-sur-Foron. Parmi les problèmes techniques à résoudre signalons les conditions d'alimentation du chemin de fer à partir du réseau électrique général. Le courant monophasé utilisé par le rail, en ponctionnant le réseau triphasé du réseau de transport d'énergie, risque d'engendrer des déséquilibres entre phases susceptibles de gêner les autres utilisateurs. En 1950, la mise sous tension en vingt, puis vingt cinq mille volts, de la ligne de Savoie confirme la nécessité de concevoir soigneusement le couplage du chemin de fer au réseau de distribution électrique. En effet, les conditions d'alimentation – un poste EDF de 42 kV situé à Annecy - étant moins satisfaisantes que celles de son homologue allemande du Höllental – connectée au réseau 110 kV de Badenwerke –, il arrive que le démarrage d'une loco provoque le déclenchement inopiné de l'éclairage public dans la cité savoyarde. Mais la mise au point des dispositions adéquates bénéficie de l'enthousiasme

¹ Congrès de l'association française pour l'avancement des sciences, sept. 1947 (Biarritz). M. Prot, "La traction électrique par courant monophasé à 50 périodes", *Revue générale des chemins de fer*, fév 1948.

² L. Armand, "Problèmes techniques posés par la traction monophasée à 50 pps. et leurs solutions", *Revue générale des chemins de fer*, fév. 1948.

des électriciens pour l'expérience ferroviaire, EDF n'hésitant pas à essayer son réseau haute tension en défaillance de phase. C'est ainsi que la SNCF adopte un montage Scott pour les transformateurs de ses sous-stations¹.

Des locomotives prototypes

Une autre contrainte posée par le monophasé cinquante périodes concerne le fonctionnement des locomotives, plus précisément, la commutation des moteurs à collecteurs en courant alternatif. Rappelons qu'au début du siècle, la difficulté avait fait adopter le monophasé à fréquence spéciale en Europe centrale. « *Si le monophasé à fréquence industrielle peut faire ressortir une économie des coûts d'équipement par rapport au continu, encore faut-il que cette simplification apportée à l'alimentation ne rejette pas sur les locomotives des difficultés susceptibles de manger le bénéfice* »². Sur le Höllental avant-guerre, les constructeurs avaient essayé diverses solutions : transformation du courant alternatif en courant continu par groupes tournants (Krupp) ou par redresseur (AEG, Brown Boveri), utilisation directe du 50 Hz dans les moteurs (Siemens). Mais alors que les locomotives à redresseurs provoquaient d'importantes perturbations, des harmoniques envoyées dans le réseau d'alimentation électrique, la commutation de la machine à moteur direct n'avait jamais donné satisfaction, d'où la décision des ingénieurs allemands d'abandonner ces essais.

En 1946, devant les réticence manifestée par l'industrie électrotechnique, la SNCF décide de jouer le rôle de chef de file est confiée cette tâche à sa DEFE qui reprend des essais de moteurs directs avec des locomotives de l'ex-Reichsbahn, dont un engin à moteur Muller-Giacomini, mais procède aussi à des essais de démarrage en monophasé 16 2/3 sur la ligne du Brenner en Autriche. Simultanément, elle met en concours la réalisation de trois locomotives prototypes chez les constructeurs. Oerlikon et Alsthom proposent chacun une machine à moteurs directs, MTE-Schneider une locomotive à groupes tournants, cette dernière dans la perspective d'un engin capable de fonctionner à pleine puissance sous plusieurs types de courants, par exemple sur les réseaux belges et hollandais. Mais la priorité reste la mise au point d'une machine à moteur direct, Louis Armand estimant que c'est la manière la plus logique d'utiliser le courant alternatif. La première locomotive livrée à la SNCF, la CC 6051 conçue par l'ingénieur Pierre Leyvraz de la firme Oerlikon est une machine à six essieux d'une centaine de tonnes pour plus de quatre mille chevaux. D'emblée, sa réalisation prouve que la traction en monophasé à fréquence industrielle s'inscrit dans le cahier des charges fixé par la SNCF. Ces locomotives ont été commandées à la place de machines à vapeur qui ne seront jamais construites, notamment deux '152 P' et une machine à turbine imaginées par André Chapelon. Tandis que les administrateurs cégétistes du conseil d'administration de la SNCF s'inquiètent de voir la Société nationale commander du matériel allemand, Marcel Garreau en rectifiant leur erreur salue la performance du constructeur helvète qui a livré son engin au meilleur prix, avec un an d'avance³. La machine Alsthom, CC 6052, s'avère plus chère, plus lourde et moins performante que la précédente.

¹ M. Chappée, "Influence sur les réseaux de transport et de distribution d'énergie de la traction à courant monophasé 50 périodes", *Revue générale des chemins de fer*, oct. 1948.

² M. Garreau, 'Une électrification légère pour trains lourds', causerie X-cheminots, 31 janv. 1952.

³ SNCF, conseil d'administration du 19 nov. 1947.

Reste que le moteur direct présente certains inconvénients, outre son origine étrangère, comme une commutation délicate qui fait craindre un entretien onéreux. Une solution semble passer par l'usage de redresseurs statiques, des appareils qui permettent de transformer l'alternatif cinquante périodes de la caténaire en courant continu, idéal pour alimenter des moteurs de facture classique. On a vu des redresseurs à vapeur de mercure mis en œuvre dans les sous-stations des Chemins de fer du Midi dès le lendemain de la Première Guerre mondiale, puis ensuite par le P.-O. et par l'Etat. Après-guerre, l'initiative de monter ce type d'appareil dans une locomotive revient à un constructeur lorsque Jean Trollux, le directeur de la division traction chez Alsthom, décide d'appareiller une très classique locomotive à courant continu avec deux ampoules le contact anode-cathode s'effectue dans de la vapeur de mercure. Certes l'installation sur la BB 8051 se révèle fragile, mais elle prouve les qualités exceptionnelles de l'ensemble redresseur-transformateur en matière de traction sous caténaire monophasée. Il ne s'agit pourtant que d'une solution provisoire puisque apparaît bientôt l'ignitron un redresseur monoanodique à impulsion d'allumage (*Igniter*) inventé par la firme Westinghouse, avant-guerre, pour les besoins de l'industrie, au lendemain celle-ci a monté des ignitrons sur des automotrices du réseau Pennsylvania électrifié en monophasé 25 Hz. En 1947, à l'issue d'une mission d'étude aux Etats-Unis pilotée par Marcel Garreau, la DETE décide d'acheter des ignitrons pour les essais de Savoie. Ainsi, les premiers ignitrons Schneider-Westinghouse sont montés sur une vieille automotrice de la banlieue Saint Lazare, la Z 9055, sur laquelle ils révèlent des performances plus que prometteuses.

Le congrès d'Annecy : la technique et la construction européenne

Au tournant des années 1950, la réussite de l'expérience savoyarde a conforté la SNCF dans sa volonté d'électrifier la ligne Valenciennes Thionville entre le bassin houiller du Nord et la sidérurgie lorraine en recourant au monophasé haute tension à fréquence industrielle. A l'automne 1951, Louis Armand organise un grand congrès d'électrotechnique à Annecy afin de dresser un premier bilan des essais réalisés sur la ligne de Savoie et d'évoquer les perspectives d'avenir du nouveau mode d'électrification. Cette rencontre internationale de haut niveau réunit les constructeurs, les exploitants et les pouvoirs publics de certains pays, l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, les Etats-Unis, la Grande-Bretagne, l'Inde, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-bas, le Portugal, la Suède et la Suisse¹. Le secrétaire d'Etat aux Transports allemand, le dr. Fröhne y rencontre son homologue français le secrétaire général du ministère des Travaux publics, l'ingénieur général Dorges. Les exploitants ferroviaires et les producteurs d'électricité sont représentés par leurs patrons, le dr. Ing. Peters pour les Chemins de fer allemands, le dr. Ing. Meyer pour les Chemins de fer fédéraux suisses, Musquar pour les Chemins de fer luxembourgeois, Louis Armand pour la SNCF et ses collaborateurs de la DETE, Marcel Garreau et Fernand Nouvion, Roger Gaspard le directeur général d'EDF, le dr. Schwering celui de la Société d'électricité de la Ruhr, etc. Tous les constructeurs-électriciens ont des représentants : AEG, Alsthom, les Ateliers de construction électrique de Charleroi, Brown Boveri, Schneider, Oerlikon, Siemens, et Westinghouse dont le directeur, H.F. Brown, venu spécialement en Europe pour présenter les fameux ignitrons.

¹ 'L'électrification en courant monophasé à 50 périodes et les journées techniques d'information d'Annecy des 12-15 octobre 1951, *RGCF*, nov. 1951

Dans son discours d'ouverture, Louis Armand rappelle les avantages économiques d'une électrification ferroviaire en courant industriel et propose rien de moins qu'une fusion des chemins de fer européens autour de la nouvelle technique d'électrification ferroviaire. *«Tous les moyens de transports devront concourir la constitution de l'Europe unie. Dans cette tâche, il est d'autant moins question d'éliminer le rail que, seul, il peut remplir les obligations d'un grand service public»* plaide-t-il¹. Or, en cet immédiat après-guerre, l'unification européenne passe d'abord par la normalisation des relations franco-allemandes. Une fois époussées les prétentions d'annexion de la rive gauche du Rhin, puis de la Sarre par la France, l'année 1949 a vu la naissance de la République fédérale allemande et les débuts de l'unification européenne, tandis que la Deutsche Bundesbahn (DB) a remplacé la Reichsbahn. Le ministre français de l'Économie, André Philip, saisit l'Assemblée consultative du conseil de l'Europe d'un projet de coordination des industries de base et des transports de la région Ruhr-Sarre (Saar)-Lorraine. C'est ainsi que la SNCF s'est vue ainsi conviée à une prise de participation du capital des aciéries Roebling à Völklingen, une proposition déclinée par son conseil d'administration. L'année suivante, peut-être pour faire pièce à un projet de fusion franco-allemande du chancelier Konrad Adenauer, le ministre français des Affaires étrangères, Robert Schuman, propose la création d'une Communauté européenne du charbon et de l'acier (CECA), première étape, comme l'on sait, vers le Marché commun. En janvier 1951, Louis Armand a déclaré au conseil d'administration de la SNCF que le chemin de fer est appelé à devenir l'épine dorsale de la Lotharingie industrielle. L'électrification de la grande artère du Nord-Est serait une excellente substitution à des projets anciens de canalisation de la Moselle et d'un canal Nord-Lorraine. Ainsi, l'électrification de la ligne de Valenciennes à Thionville et de cette dernière localité (Diedenhofen en allemand) à Coblenche en Allemagne est prévue par la signature, le 10 février 1951, d'un protocole entre la 'Deutsche Bundesbahn', les 'Chemins de fer luxembourgeois' (CFL) et la SNCF. A Annecy, le dr. Fröhne, le ministre des transports de la République fédérale demande à ce que *«...le congrès aborde non seulement des questions techniques, mais aussi des questions politiques. Il s'agit d'unifier l'Europe en supprimant les frontières électriques entre réseaux ferrés»*.

Nonobstant ces perspectives, le projet d'unifier l'électrification des chemins de fer ouest-européens grâce au courant industriel se heurte aux réticences des techniciens. En France d'abord, le cinquantenaire est contesté par Hippolyte Parodi qui dénonce : *«...la remise en cause, à l'issue d'une étrange discussion, d'un dispositif (le 1500 volts continu) que l'on pensait définitivement adopté après la guerre de 1914-18, contre le système allemand et suisse.../ Même les Allemands ont adopté le continu pour les banlieues de Hambourg et de Berlin (S-Bahn)»* proteste l'ancien électricien du P.-O.². En Suisse et en Allemagne, les exploitants se montrent peu soucieux d'abandonner leur système d'électrification à fréquence spéciale. Alors que la Bundesbahn est sur le point de lancer un ambitieux programme d'électrification destiné à évincer la vapeur de son réseau, son patron, le dr. Peters, rappelle son peu d'enthousiasme pour les essais passés du Höllental *«...le 16 2/3 a fait ses preuves et confirmé son utilité économique en Allemagne, dit-il. Si les Chemins de fer allemands, faisant preuve d'une grande largeur d'esprit se sont déclarés prêts à étudier en relation avec la SNCF la ligne Valenciennes-*

¹ *Ibid.*

² H. Parodi "De l'électrification en courant continu 1500 volts à l'électrification en courant monophasé 50 Hz", *Revue générale des chemins de fer*, nov. 1951 et réponse de F. Nouvion "les locomotives dans les divers systèmes de traction électrique et la supériorité du monophasé 50 Hz", *ibid.*

Trier (Trêves)-Koblenz, ils ne croient pas pouvoir en tirer qu'un bilan d'électrification en cinquante périodes se présente mieux qu'en 16 2/3». Quant au dr. Meyer, directeur aux Chemins de fer fédéraux suisses, il confirme que «...son pays reste très content du 16 2/3 »¹.

L'électrification Valenciennes – Thionville

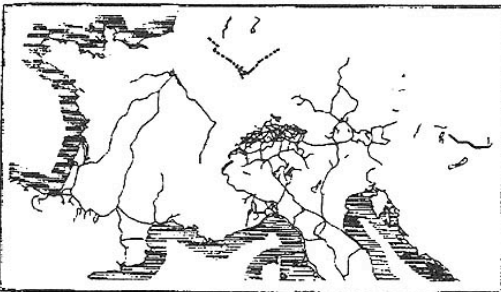
Malgré quelques ultimes discussions, notamment à propos de l'électrification des lignes de la Ruhr, les Allemands ne reviendront pas sur leur position². Dans l'immédiat l'électrification en courant à fréquence industrielle concerne l'artère Valenciennes Thionville puis, un peu plus tard, les Chemins de Fer Luxembourgeois. L'alimentation électrique de la transversale du Nord-Est est assurée par les centrales des houillères. Elle répond à l'ambition de la SNCF de supprimer la traction vapeur sur une ligne de profil difficile et qui voit, en même temps, le plus fort trafic de fret sur le réseau français (minerai de fer, coke, produits sidérurgiques). Pour assurer le trafic lourd, la SNCF décide d'adopter une technologie éprouvée - celles des groupes convertisseurs mono continu ou mono triphasé, des machines monocabines, CC 14000 et 14100 - afin de disposer de locomotives aptes à enlever des tonnages élevés, sans avoir besoin de courir vite. Malgré tout, le passage de la vapeur à l'électricité ne va pas sans provoquer l'inquiétude de René Goursat, le directeur de la région Nord qui hésite à substituer les nouveaux 'fers à repasser' à ses bonnes vieilles 'decapods' et suggère de tendre d'abord la caténaire du 50 Hz sur la banlieue parisienne (journal de M. Garreau, 12 avril 1950), ce qu'on fera d'ailleurs, mais plus tard. Des machines plus légères de type BB sont prévues pour assurer le trafic messagerie-voyageur. Sur elles, la DETE se propose d'essayer les nouvelles chaînes de traction suscitées par l'adoption de la traction 50 Hz. Une quinzaine de machines à moteurs directs Oerlikon (BB 13000) sont commandées, mais seulement cinq à redresseurs. En effet, l'utilisation d'ignitrons n'a pas entièrement rassuré les ingénieurs, leur faisant craindre notamment la diffusion d'ondes harmoniques dans le réseau haute tension. En fait, une première commande de machines à ignitrons a porté sur quelques unités destinées aux Houillères de Lorraine. Dans la foulée, cinq locos sont commandées par la SNCF (BB 12000). Les premiers essais réalisés par la DETE en 1954 révèlent la quasi incuité de leur fonctionnement sur le réseau d'alimentation électrique, alors qu'elles prouvent leurs extraordinaires capacités d'adhérence, pratiquement le double de ce qu'imaginaient les ingénieurs. A l'occasion, l'une de ces machines décolle une rame de 1600 tonnes en rampes de 11 ‰ malgré des circonstances climatiques très défavorables. En définitive, commentant le succès des machines à redresseurs, Marcel Garreau soulignera un jour que « ...que le moteur à courant continu s'était révélé capable d'avaloir les ondulations du courant redressé, en fait du cent périodes, beaucoup plus facilement qu'on ne l'imaginait »³.

¹ M. Peters "L'électrification en Allemagne et les projets de la SNCF" et pr. Fröhne "L'unification de l'Europe et le congrès d'Annecy" (discussions et débats), *Revue générale des chemins de fer*, nov. 1951.

² Lors d'une visite à la SNCF, l'ing. H. Wittmann (DB) évoque la possibilité d'électrifier la Ruhr en 50 Hz (journal de M. Garreau, janv. 1953).

³ M. Garreau, 'La traction électrique aujourd'hui en France', *Revue de la Société royale belge des ingénieurs et des industriels*, n°9/10, 1962

REVUE GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER



**L'ÉLECTRIFICATION
EN COURANT MONOPHASE 50 PÉRIODES
et les JOURNÉES TECHNIQUES D'INFORMATION D'ANNECY
(12-15 Octobre 1951)**

An English summary of the main questions dealt with in the present number will be found on page 777.

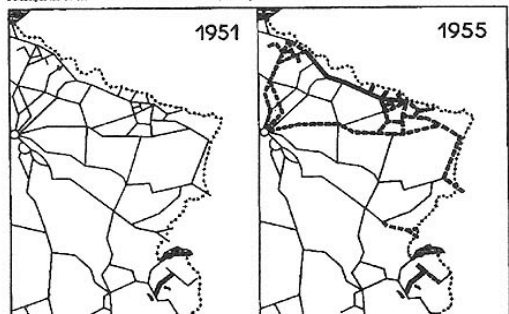
REVUE MENSUELLE NOVEMBRE 1951 70^{ème} ANNÉE

LE NUMÉRO... 1 000 F
ABONNEMENTS... 1 000 F
Prix de vente... 1 000 F

Chaque numéro de souscription...
10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350, 360, 370, 380, 390, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 500, 510, 520, 530, 540, 550, 560, 570, 580, 590, 600, 610, 620, 630, 640, 650, 660, 670, 680, 690, 700, 710, 720, 730, 740, 750, 760, 770, 780, 790, 800, 810, 820, 830, 840, 850, 860, 870, 880, 890, 900, 910, 920, 930, 940, 950, 960, 970, 980, 990, 1 000 F

REVUE GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER

L'électrification en courant alternatif sur les Chemins de fer français.



**L'ÉLECTRIFICATION EN COURANT MONOPHASE 50 Hz DE LA LIGNE DE VALENCIENNES A THIONVILLE
ET LES JOURNÉES D'INFORMATION DE LILLE (11 - 14 MAI 1955)**

- Discours d'ouverture de M. ARMAND, Président du Comité d'Administration de la S.N.C.F., p. 429.
- L'électrification des installations de traction électrique, par M. PARODI, Membre de l'Institut, p. 436.
- Rapports techniques de MM. GARREAU, GASTINE, CABANES, BERNARD, WALTER, CRÉPET, RACAUT, COLLET, TROGÉNIEX, HOUMON, TEISSER, GAIDE, BOLLON, p. 441.
- Discussion, p. 442.
- Discours de clôture de M. BOTAUX, Directeur Général de la S.N.C.F., p. 449.
- Établissement Ligne des Journées de Lille par la S.N.C.F., p. 452.

A text giving the "Lecture to be given" by the S.N.C.F. from the Lille Conference may be found on page 656.
Auf Seite 655 findet sich die Arbeit über "Die sich aus den Informationstagen von Lille für die S.N.C.F. ergebenden Lehren".

REVUE MENSUELLE JUILLET 1955 76^{ème} ANNÉE

LE NUMÉRO... 1 000 F
ABONNEMENTS... 1 000 F
Prix de vente... 1 000 F

Chaque numéro de souscription...
10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350, 360, 370, 380, 390, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 500, 510, 520, 530, 540, 550, 560, 570, 580, 590, 600, 610, 620, 630, 640, 650, 660, 670, 680, 690, 700, 710, 720, 730, 740, 750, 760, 770, 780, 790, 800, 810, 820, 830, 840, 850, 860, 870, 880, 890, 900, 910, 920, 930, 940, 950, 960, 970, 980, 990, 1 000 F

Anancy 1951 le « V lotharingien » sur la couverture de la RGCF, amputé de sa branche Nord-Est pour le numéro consacré aux journées de Lille en 1955.

Pour autant, la réussite de l'électrification du nord-est ne solde pas le débat franco-allemand. Dans un numéro spécial de la 'Revue générale des chemins de fer' consacré aux journées d'information de Lille en mai 1955, la DETE dresse un premier bilan de l'exploitation de la ligne Valenciennes Thionville que les ingénieurs allemands ne tardent pas à contester. Marcel Garreau a comparé le coût de son électrification avec ce qu'il aurait été si celle-ci avait été effectuée en 16 2/3, pour en déduire un bénéfice des deux tiers en équipement et de 10% en exploitation au bénéfice du nouveau système. Evidemment, ces chiffres sont récusés par les ingénieurs allemands, selon 'Elektrische Bahnen' : « *il semble peu vraisemblable que le coût réel d'exploitation d'un réseau de production transport d'énergie propre au chemin de fer (i.e. en 16 2/3) soit supérieur à celui d'une partie d'un réseau public affecté à cette tâche. C'est même à ce niveau que les choses s'enveniment puisque le 50 Hz requiert des sectionnements de caténaire et des transformateurs spéciaux (les groupes Scott destinés à rétablir l'équilibre du réseau triphasé), donc des solutions simplistes pour une électrification spartiate* ». De plus, contestant les performances exceptionnelles des nouvelles locomotives, les Allemands s'indignent d'entendre les Français affirmer que des machines à quatre essieux en 50 Hz équipées de redresseurs seraient supérieures à leurs locomotives à six essieux en 16 2/3. Aussi les cousins germains prétendent ne voir que tromperie (*Betrug*) dans les arguments des leurs voisins gaulois¹.

¹ M. Garreau, "Bilans comparés des différents systèmes de traction électrique, l'électrification en courant monophasé 50 Hz de la ligne de Valenciennes à Thionville et les journées d'information de Lille (11-14 mai 1955)", *Revue générale des chemins de fer*, juillet 1955 et la réponse, an. 'Stellungnahm des Deutsche

En fait, s'il est peu contestable qu'au moment de cette polémique, le cinquante période a assuré sa supériorité technique et économique sur son rival, disons que sa cause fut peut-être plaidée de manière maladroite. L'idée évoquée en 1951 d'une extension Thionville-Coblence rappelait certaines visées annexionnistes gauloises sur la rive gauche du Rhin évoquées dans l'immédiat après-guerre. De plus, les Allemands pouvaient s'étonner de voir leurs interlocuteurs prétendre leur imposer un système d'abord essayé chez eux, mais qui auraient introduit sur leur réseau des frontières techniques que ne manqueraient pas de rencontrer les Français sur le leur. Tout ceci pour ne rien dire des effets d'un chauvinisme technique demeuré si vif de part et d'autre du Rhin, qu'aujourd'hui encore la Deutsche Bahn a obtenu de réserver sa place à la fréquence spéciale dans les spécifications techniques d'interopérabilité européenne. Une disposition d'autant plus absurde souligne André Blanc, que les progrès de l'électrotechnique font qu'aujourd'hui les nouvelles locos en 16 2/3 sont équipées de moteurs synchrones ou asynchrones à courant redressé, ce qui annule l'intérêt de garder un courant de fréquence spéciale adopté au début du siècle dernier pour alimenter des moteurs directs.

Le 25 kV- 50 Hz, un courant universel

Ainsi est née une nouvelle filière technique à vocation universelle à partir de l'idée, surgie en Hongrie puis en Allemagne, d'utiliser un courant de traction à fréquence industrielle, matérialisée grâce à une invention industrielle américaine, le redresseur statique, enfin mise au point et réalisée à l'instigation de la Division d'étude de la traction électrique de la SNCF. En avril 1954, les perspectives de développement du nouveau système d'électrification incitent la DETE à constituer un 'Groupement du cinquante périodes' destiné à réunir les constructeurs allemands, belges, français et suisses ayant participé aux essais franco-allemands de l'après-guerre. Le Groupement réalise ainsi l'électrification de la banlieue d'Istanbul, la construction de locomotives destinées à l'URSS et à la Chine, il participe à l'électrification des chemins de fer portugais et en Asie, il assure le pilotage de l'électrification des 'Indian Railways', leur fournissant plus d'un millier de locomotives. En fait, le Groupement détient alors plus des deux tiers des marchés d'électrifications ferroviaires signés hors Communauté européenne et n'a pas peu contribué à donner à l'industrie ferroviaire française une place enviable sur le marché mondial¹.

Quant à l'extension du 50 Hz en France, les progrès de l'électrotechnique grâce à la mise au point de machines bi puis poly-courants performantes, comme le souhaitait Louis Armand au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, il a permis de compléter l'électrification du réseau SNCF au meilleur compte, bénéficiant, il convient de le souligner, du développement d'une production électrique d'origine nucléaire à laquelle il avait d'ailleurs participé. Après la mise en service de Paris-Lyon en continu, l'électrification Lyon-Marseille a été suspendue le temps de réaliser Valenciennes-Thionville, puis de rediscuter le choix du système d'électrification². En définitive, si

Bundesbahn zu den Worträgen auf des Informationstagung des Franszösischen Staatsbahnen in Lille vom 11. bis 14 Mai 1955', *Elektrische Bahnen*. Mai 1956.

¹ J.-P. Chenais, 'L'expansion du monophasé 50 Hz dans le monde et le rôle du groupement 50 Hz', *RGCF*, mai 1979

² Conseil d'administration de la SNCF, 21 fév. 1951

Lyon-Marseille est électrifié en continu 1500 volts, Marseille-Vintimille vers l'Italie le sera en 25 kV-50 Hz. De même les prolongements du 1500 volts : Dôle-Vallorbe vers la Suisse, les lignes de Bretagne depuis Le Mans vers vers Rennes, Brest et Quimper, etc. le sont en courant à fréquence industrielle. Aujourd'hui, l'alternatif 50 Hz s'applique aussi bien à la traction des TGV ou du Shinkansen japonais¹, qu'aux réseaux de banlieue, par exemple dans le RER parisien avec ses rames bi-courants, ou au trafic marchandise comme le prouve la toute récente 'Betuweroute' des chemins de fers hollandais (NS), une ligne nouvelle destinée à relier les installations portuaires de Rotterdam au bassin industriel rhénan. Cependant, l'Allemagne qui a développé son propre réseau de trains électriques à grande vitesse est restée fidèle à l'alternatif 16 2/3. Ainsi, les événements ont montré qu'il est moins facile de lui vendre du TGV qu'aux Chemins de fer espagnols ou coréens. De cela on ne s'étonnera guère si on se souvient de ce que l'innovation doit à des options politiques comme aux choix des exploitants, pour ne rien dire d'un certain chauvinisme technologique comme on le rencontre d'ailleurs dans d'autres domaines, l'énergie nucléaire, l'aérospatial ou les télécommunications. En définitive, le paradoxe de l'histoire veut que l'universalité d'une technique ne réduise pas systématiquement les effets de la concurrence.

¹ J-F. Picard, A. Beltran, "D'où viens tu TGV?", *Revue générale des chemins de fer*, août-sept. 1994.