L2818 / 15 / 32 F N°999 / JANVIER-FEVRIER 2018

VOIES FERREES

RETROSPECTIVE 2021 • « VOIES FERREES » : LA FIN • MATERIELS : BB-22X22, INTELLIGENTE TROP TÔT ? • CORAIL « TGV TALLON » : LE CONFORT ETALON ! • X72500, Z21500, X76500, Z27500, ... : GENERATION TER DES CDR • DES 2D2 PLM AUX VECTRONS, IL N'Y A QU'UN NIKOLAS • RAILS DE FRANCE V3 : IMAGINAIRE ET POURTANT SI REELLE ! •

ISSN 0249-4914

Le super magazine du rail réel et miniature

32 FF / 13 FS / 14.50 DM / 300 FB / 8000 L / 650 Pes / 6 $ / 3.5 £

BB 22X22 : trop intelligente, trop tôt ?

Image 1 : Photo de présentation officielle de la « 22X22 » (ex-BB22222) à l'issue de sa transformation

22X22 : un numéro exceptionnel pour une machine qui l'était aussi. L'engin est hélas resté sans descendance directe. Toutefois, ce prototype et la rame de voitures Corail transformée spécifiquement qui l'accompagna dans ses essais, furent à l'origine de nombreuses innovations, qui furent appliquées dans la décennie qui suivi à nombre de nos trains hexagonaux – rames classiques comme TGV. Nous avons choisi de retracer l'histoire et les résultats de cette expérience originale !

1 Genèse du projet « 22X22 »

Au début de la décennie 80, le transport ferroviaire français franchissait une courbe décisive : le choc pétrolier de 1973 avait relancé de manière décisive les électrifications, et, surtout, la première Ligne à Grand Vitesse reliant Paris à Lyon venait de voir le jour. La SNCF avait largement apuré son parc d'avant-guerre, tant au niveau du matériel remorqué qu'à celui des engins moteurs : ne subsistaient plus que quelques dizaines de voitures à voyageurs antérieures à 1940, régionales ou OCEM, et les plus anciennes locomotives électriques avaient – sauf quelques survivantes souvent déléguées aux manœuvres – quitté massivement la scène. La révolution « Corail », débutée en 1975, était en voie d'achèvement, et les locomotives à électronique de puissance avaient déjà massivement empli les dépôts.

Débutée dès l'aube des années 50, avec les essais puis le développement du monophasé industriel, l'évolution du matériel moteur électrique avait vite bénéficié des progrès rapides de l'électronique. En monophasé, les redresseurs

« secs » d'abord, puis les thyristors avaient détrôné désormais les moteurs « directs » ou les convertisseurs tournants ainsi que les redresseurs à vapeur de mercure. Et en « continu » 1500 V, le temps était -presque- révolu de l'électromécanique, des graduateurs et des rhéostats de démarrage, au profit des hacheurs de courant qui, de fait, ramenaient les locomotives à courant continu dans la même cour que leurs sœurs monophasées. Les CC 6500 de 1969 étaient déjà, techniquement, dépassées ! Les engins bicourant avaient la cote, et l'image-type de la SNCF moderne – hors TGV – passait par un fret au crochet d'une 25500, ou d'un rapide derrière une 22200… Tous trains s'affranchissant des barrières continu/monophasé que l'héritage ferroviaire avait placées sur leurs rails.

Quoique déjà très achevée techniquement, la révolution électronique avait laissé subsister quelques vides. En effet, si les engins de traction avaient indéniablement gagné en polyvalence en se bardant de thyristors ou de hacheurs, ils n'en demeuraient pas moins relativement spécialisés. Bien sûr, moins lourdement qu'autrefois, mais suffisamment encore pour que, par exemple, la SNCF équipe une part des très récentes 7200 et 22200 de bogies à démultiplication très augmentée pour spécialiser ce parc aux trafic fret, limité à 100 km/h au lieu des 180 km/h de construction.

La raison s'en trouvait dans le recours systématique, que l'engin soit « continu », « mono », ou « bicourant », de moteurs à courant continu (on rappelle, à ce propos, que les machines monophasées, souvent suisses ou allemandes, dites à moteurs « directs » alimentés directement par le courant alternatif, font en fait appel à une variante plus complexe du moteur à courant continu ; laquelle complexité en augmente le poids, le coût, et en limite grandement l'enveloppe de performances !). Même le tout récent TGV Sud-Est y faisait encore appel, avec heureusement (ce qui renforce la cohérence du choix opéré) une vocation exclusivement tournée vers la vitesse.

On savait, depuis toujours, que la vraie polyvalence ne pouvait être obtenue que grâce à des moteurs **sans collecteurs**, alimentés par du courant triphasé. Dès le début du XX° siècle, le courant triphasé avait été à l'origine de très nombreuses « primo-électrifications » : c'est en effet la forme « industrielle » du courant électrique, donc, la moins onéreuse à exploiter.

Les FS (*Ferrovie dello Stato*, chemins de fer italiens) étaient passés maîtres dans la technique, avant de la délaisser au profit du continu à 3000 V compte-tenu du manque de souplesse d'exploitation inhérente à l'usage de moteurs synchrones triphasés. Et, plus globalement, mis à part quelques exemples d'engins utilisant des groupes convertisseurs tournants embarqués, lourds et encombrants (et souvent…capricieux !).

Image 2: Locomotive triphasée E550 des FS – toutes ces séries de machines avaient des airs de gros insectes

A l'aube des années 80, l'électronique ayant considérablement progressé, le recours à des moteurs triphasés semblait redevenir la voie d'avenir pour les engins de traction modernes. Il ne semblait plus utopique, alors, de s'affranchir des particularités liées au « tri », pour pouvoir

disposer enfin d'engins capables de donner les meilleures performances à n'importe quelle vitesse, à l'entretien très simplifié par la suppression des collecteurs (les fameux « balais »), et dont la conduite se trouvait de ce fait largement simplifiée (et partant, facilement automatisable).

La BB 22X22 procédait, globalement, de ce raisonnement (au même titre que d'autres prototypes issus des « 4400kW » : BB 10004, 20011 et 12). Elle s'en distingue cependant par ses originalités techniques, sur lesquelles nous reviendrons. Et surtout par la définition particulière des services qui lui étaient assignés, comme nous allons le développer.

2 Le TGV, et après ?

L'inauguration de la LGV Paris-Lyon, en 1981, et les décisions en matière de construction de nouvelles LGV, avec comme première étape la LGV-Atlantique, posaient de pertinentes questions de dessertes. La LGV-A, raccordée à l'Ouest vers la ligne de Paris au Mans, artère-mère de la desserte de Nantes et de Rennes et Brest ; et au Sud vers St Pierre des Corps et Tours, ouvrant l'accès à Bordeaux et Irún, voire Toulouse via un « détour » par la transversale vers Marseille, ne pouvait avoir comme seul objectif la desserte de Tours et du Mans ! Tout comme, du reste, dès 1981, l'ouverture de la LGV Sud-Est avait posé les mêmes questions pour les dessertes au sud ou à l'Est de la capitale des Gaules : Valence, Avignon, Marseille, le Languedoc et la Côte d'Azur, Grenoble et plus généralement les destinations alpines.

La question cruciale était : **doit-on « prolonger » les parcours des TGV sur des lignes classiques pour un grand nombre de dessertes, ou au contraire favoriser les correspondances aux gares terminales des LGV ?**

Même si aujourd'hui, on sait quelle proposition fut retenue finalement, la question d'alors était – et demeure – parfaitement légitime !

La prolongation des TGV, sur des parcours alors parfois fort longs, se justifiait par l'absence de la fameuse « rupture de charge » imposée par une correspondance. Sous ce vocable directement hérité des débuts du Chemin de Fer, époque où le voyageur se concevait rarement sans le double de son poids en bagages et colis divers, se cache le nécessaire « changement de train », vu (de manière sélective, selon le prestige de la desserte !) par les commerciaux comme un passage du Rubicon. Et la continuation du parcours en TGV garantissait, en plus, une poursuite du voyage dans un matériel perçu comme prestigieux, a priori capable de performances sur lignes classiques dignes des meilleurs rapides. De surcroît, le terme de « correspondance » était associé largement à l'image d'un Picasso bien mazouté, ou d'une Caravelle « fumeuse de Gitanes », ou encore d'une rame hétéroclite mélangeant des Bruhat avec des rescapées de l'ère OCEM ou, au mieux, des DEV-AO à la veille de la réforme…

Mais cette prolongation des parcours des TGV n'était (et n'est toujours pas) nécessairement marquée au coin de la logique… et de l'économie ! Prenons quelques exemples très illustratifs de cet illogisme :

- En 1981, un TGV prolongé de Lyon à Marseille (et retour) se trouvait mobilisé à cette tâche durant près de sept heures (incluant le stationnement – bref – à St Charles). Espace de temps qui lui aurait permis d'effectuer trois trajets entre Paris et Lyon, à 270 km/h de

vitesse maxi… Soit 1400 km accomplis au lieu de 700…

- A l'ouverture de la LGV-A, un TGV Paris-Brest passait 50 mn sur LGV, et 4 heures, en gros, sur ligne classique ; un Paris-Bordeaux 1 heure sur LGV, et 2 h 30 sur ligne classique. (Presque 5 h pour un Paris-Toulouse ou Irún !).

Certains défenseurs de la correspondance arguaient qu'on aurait alors pu se contenter d'achats de TGV neufs divisés, en volume, par 2, voire plus (sur la LGV-A), en circonscrivant leurs parcours aux seules lignes nouvelles. Avec à la clé, une économie pour le moins conséquente.

De plus, et c'est là un facteur très souvent oublié, les performances d'un TGV sur ligne classique sont sans commune mesure avec celles réalisées sur LGV. D'abord, bien sûr, à cause des VL autorisées, qui n'excèdent pas 220 km/h (et uniquement sur des sections souvent réhabilitées à grand frais). La circulation sur lignes classiques, équipées en sous-stations moins généreuses que celles des LGV, s'accompagne d'une limitation de la puissance maximale réduisant celle-ci de 25 à 50 % (et plus encore si l'on compare la puissance LGV en unité simple à celle admise sur ligne classique en UM !).

La circulation sous 1500 V est encore plus pénalisante, puisque, pour des considérations de poids des transformateurs, la puissance des TGV est très limitée par rapport à l'optimum (unité simple sous 25 kV/LGV).

Quelques chiffres éclairants à ce propos, concernant les TGV-A :

- Puissance maxi sur LGV (25 kV) : 8800 kW (US) – 6600 kW (UM)
- Puissance maxi sur LC (25 kV) : de 3360 à 6400 kW (US) – de 2000 à 4400 kW (UM)
- Puissance maxi sur LC (1,5 kV =) : de 2000 à 3880 kW (US) – de 1200 à 2880 kW (UM)

Les valeurs les plus basses sur LC correspondent à des antennes secondaires, certes, mais même les valeurs les plus élevées -celles des grands axes- sont à mettre en rapport avec la masse d'un TGV-A (environ 485 t/élément en charge).

Enfin, la vocation d'un TGV étant de rouler « très vite », les accélérations au démarrage ne sont pas leur point fort : avec 220 kN d'effort maximal, un TGV-A en charge ne peut guère prétendre à une accélération initiale > 0,45 m/s2, soit à peine la moitié de celle d'un ZGC.

L'arrivée des TGV sur les parcours « terminaux » ne s'est donc pas traduite, sur ligne classique, par des accélérations spectaculaires des marches.

La capacité offerte par les rames n'est pas non plus un argument économique favorable (hormis les Duplex, arrivés bien plus tard) : un TGV-A offre 485 places assises (369 en 2° et 116 en 1°), capacité couverte par une rame Corail de 2 A10tu + B5rtux + 4 B11tu, pesant 313 tonnes en charge, soit environ 390 à 400 tonnes avec la motrice (gain de 85 à 95 tonnes), à condition de confort égales, et probablement un peu à l'avantage des « Corail ».

A l'époque du projet « 22X22 », il n'était pas envisagé de vitesse sur LC > 200 km/h, y compris pour les TGV (qui, alors, parcouraient à 160 maxi l'artère impériale). Pour les 313 tonnes de notre rame-type, les 5900 kW d'une 6500 (seule série alors autorisée à 200) eussent été plus qu'excédentaires… y compris pour gravir la Maurienne !! Soutenir 200 km/h en palier avec cette charge demande en effet 1800 kW au

crochet de la locomotive (avec des Corail, au roulement « facile »), soit, au pire, 2500 kW à la jante de la motrice.

En envisageant, les jours de pointe, des compositions renforcées à 3 A10tu + B5rtux + 7 B11tu, soit 500 tonnes (chargées) pour 836 places assises, on voit que le « gabarit » 4400 kW – celui des BB 22200 – permettait d'envisager le « 200 », y compris en rampe modérée (< 5 pour mille). Et ce, indifféremment sous 1500 V = ou 25 kV mono.

La piste d'une correspondance semblait donc plus qu'intéressante, à la condition d'être assurée par des compositions offrant un confort et un prestige suffisant pour ne pas « déparer » vis-à-vis des TGV qu'elles relevaient. La base motrice se devait d'être moderne, et s'inspirant, en l'améliorant, de la polyvalence des 22200. Quant aux voitures, la base Corail semblait toute naturelle, à condition sans doute d'y ajouter une différenciation visuelle suffisante pour l'éloigner autant que possible de l'image du train « classique ».

3 Le cahier des charges

Côté matériel remorqué, il fut vite bouclé : la base Corail étant particulièrement appréciée de la clientèle, et d'un roulement facile, même à 200 km/h (les UIC qui avaient inauguré le 200 sur le Capitole en 1967 étaient nettement moins bonnes « rouleuses »), il convenait d'y apporter une touche de design extérieur comme intérieur réhaussant « psychologiquement » leur standing à celui des TGV. La tâche en fut confiée à Roger Tallon, qui opta pour un design extérieur préfigurant la livrée des futurs TGV-A : la rame prototype présentait ainsi des caractéristiques visuelles qui étaient **en avance** sur le design TGV d'alors, où dominait l'orange emblématique… de la décennie précédente ! Techniquement, les Corail étant déjà aptes, pour une partie d'entre elles, à 200 km/h, le problème était carrément inexistant.

Au niveau de la motrice, la base retenue était celle des BB 22200. Quoique limitées à 180 km/h (160 en service commercial), l'adaptation du châssis à une vitesse relevée à 200 km/h s'annonçait sans gros problème. On aurait donc pu se contenter d'une 22200 « relookée », dotée d'une démultiplication plus longue pour rouler à 200 (ce qui fut du reste fait par ailleurs pour augmenter le parc apte à cette vitesse après l'électrification du Mans à Nantes) ;

Mais, dans les vues de la DETE (**Division d'Etudes de Traction Electrique**), le projet pouvait harmonieusement se combiner avec les recherches en cours sur la construction en série, envisagée à court terme, de locomotives universelles à moteurs triphasés. Ceci eut pour conséquence « d'upgrader » sérieusement le cahier des charges, en affichant, pour la transformation de la BB 22X22, des performances dépassant largement les visées initiales. Derrière cette apparente disproportion, se cachait en fait la volonté d'expérimenter également des pistes techniques transposables aux futurs TGV-A, dont la définition n'était alors pas complètement arrêtée, en dehors de l'utilisation d'une motorisation triphasée.

Au final, il fut décidé que la puissance visée serait portée à **6400 kW** (soit 500 de plus qu'une 6500), pour une vitesse maximale de **220 km/h**. L'effort de traction au démarrage était fixé à **320 kN**. La machine transformée devait conserver les bogies monomoteurs des 22200, et une masse en service identique (soit environ 90 tonnes). Compte-tenu des rapports étroits existant (pour ne pas dire de l'imbrication…) entre ALSTOM et la DETE, le principe des moteurs synchrones

autopilotés était retenu. On peut le déplorer, tant il est aisé de constater que la situation actuelle démontre une exclusivité justifiée des moteurs asynchrones… (Et que l'on se souvient de la lenteur de la mise au point des SYBIC, découlant de cette technique).

3.1 Les moteurs synchrones

La machine synchrone se compose d'une partie tournante, **le rotor**, et d'une partie fixe, **le stator, alimenté en courant triphasé via (au moins) 3 pôles**. Le rotor est constitué d'un bobinage alimenté en courant continu et d'un circuit magnétique (constituant un électro-aimant).

En connectant le stator à un courant alternatif, le moteur ne démarre pas. Toutefois on peut le démarrer en alimentant ses enroulements statoriques avec un courant alternatif dont la fréquence passe de zéro à la vitesse de synchronisme, qui est celle garantissant l'orthogonalité des flux rotorique et statorique (rendement théorique alors = 1). Les premières locomotives à courant triphasé (FS – Italie) atteignaient leur puissance optimale pour une vitesse de rotation très précise (en l'absence de dispositif permettant des variations de fréquence) proportionnelle à la fréquence du courant. En dessous de cette vitesse, la puissance diminuait, et au-delà, la machine cherchant à revenir à sa vitesse de synchronisme se comportait en alternateur, en renvoyant le courant produit à la caténaire ; forme de freinage par récupération très appréciée sur les fort pentues lignes italiennes. Les variations de vitesse s'effectuaient à l'aide d'un rhéostat de démarrage, ou en faisant varier le nombre de pôles des moteurs : en les divisant par 2, la vitesse de synchronisme est…multipliée par 2 !

L'autopilotage consiste à maintenir la perpendicularité du flux magnétique rotorique par rapport au flux statorique. La technique consiste à disposer sur l'axe du rotor un capteur indiquant en permanence la position de celui-ci. L'information est traitée par un convertisseur électronique fournissant le courant statorique à la machine, en adaptant alors la fréquence à l'orthogonalité requise. Si l'orthogonalité est respectée, le moteur a alors (hors pertes ohmiques) un rendement théorique = 1. On peut, cela va de soi, moduler la puissance par limitation de l'intensité appelée.

3.2 Les moteurs asynchrones

Le principe de fonctionnement est très proche de celui du moteur synchrone. Le stator, notamment, est identique. Mais le rotor, ici, n'est pas un électro-aimant (ou un aimant permanent), mais un assemblage de deux anneaux reliés par des conducteurs (d'où le nom de « rotor en cage d'écureuil »). Là aussi, le stator induit un champ magnétique tournant, mais ici, le rotor **tente de suivre** la vitesse du champ magnétique, sans toutefois l'atteindre. La vitesse du rotor n'est donc plus proportionnelle à la fréquence du champ magnétique tournant (« glissement » du rotor), ce qui justifie le vocable de moteur asynchrone. Ici, le rendement théorique n'est donc jamais = 1, mais peut bien sûr s'en rapprocher extrêmement près. Les variations de vitesses sont, grâce à l'électronique de puissance, très faciles à obtenir par le biais d'onduleurs.

Nous invitons nos lecteurs intéressés par les détails techniques sur les différents types de motorisation ferroviaire à se reporter à l'excellent document de l'Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL), disponible en ligne : https://documents.epfl.ch/groups/t/tr/traction/www/documents/PolycoTE.pdf

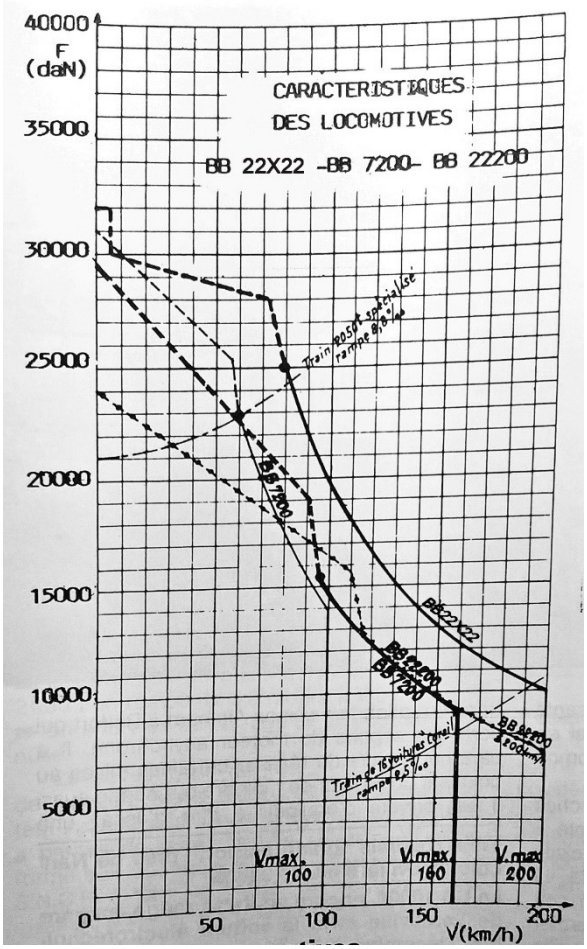

Image 3: Rare document technique sur la 22X22 - Cette courbe d'effort / vitesse correspond à un premier réglage des logiciels de contrôle-commande des moteurs – on notera la similitude avec la courbe effort / vitesse de l BB1004. La mise en œuvre définitive et les progrès réalisés sur les microprocesseurs embarqués permis des gains d'effort significatifs sur une large plage de vitesse

3.3 Avantages et inconvénients

Les moteurs synchrones ont longtemps été préférés aux moteurs asynchrones pour les installations de forte puissance : si leur vitesse est maintenue constante (ou que sa variation respecte rigoureusement le synchronisme), leur rendement est très élevé, et, surtout, ils ne « glissent » pas. En installation fixe, à vitesse constante, ils sont « imbattables », quelles que soient les variations de charge.

Les moteurs asynchrones ont été les grands bénéficiaires – paradoxalement – des progrès de l'électronique : s'ils demeurent susceptibles de « glissement », leur régulation de vitesse est beaucoup plus facile que celle des moteurs synchrones, et les artifices nécessaires à leur démarrage bien plus facilement accessibles. Pour des moteurs de puissance élevée, ils peuvent atteindre des rendements très peu éloignés des moteurs synchrones… parfaitement synchronisés.

Les moteurs asynchrones ont aujourd'hui gagné à plate couture la « bataille » ferroviaire. En effet, ils sont nettement moins onéreux que les moteurs synchrones, car plus faciles à piloter. Ils sont également moins encombrants, et partant, moins lourds (le rotor d'un moteur synchrone est plus complexe, et plus encombrant en diamètre… sans oublier leurs dispositifs de démarrage et de pilotage). Côté fiabilité intrinsèque, les deux types de moteurs sont très proches, la différence se faisant surtout au niveau de l'électronique de puissance, plus complexe pour les moteurs synchrones, et donc, plus sujette aux pannes).

Bien que… nos TGV fassent encore la part belle aux moteurs synchrones autopilotés (seulement abandonnés avec les Dasye, puis les Euroduplex 2N2), avec des kilométrages impressionnants réalisés avec une belle fiabilité, on ne peut s'empêcher de penser qu'ALSTOM a fait, à l'époque, un mauvais choix économique et commercial en privilégiant un type de moteur triphasé dont il était évident que le concept même le désignait prioritairement aux machines à vitesses constantes ou « discrètes », c'est-à-dire à l'opposé parfait de ce qui est demandé à un moteur ferroviaire. Si les TGV ont semblé valider les choix techniques, sans doute faute de réelle concurrence dans les années 80-90, et aussi parce que sur le fond, ce sont presque des « machines à vitesse constante », l'échec s'est

vite manifesté en application aux locomotives polyvalentes demandées par les compagnies de chemins de fer. Les SYBIC sont de très bonnes machines, mais trop complexes, et trop marquées par la lenteur catastrophique de leur mise au point. Siemens, malgré une élaboration très laborieuse (mais entamée très – trop ? - tôt) des 120 de la DB, a misé à juste titre sur l'asynchrone, bientôt suivi par Bombardier/ADTranz (et beaucoup d'autres...), avec les succès commerciaux que l'on connaît.

4 Où l'on reparle des CC 70000 et des « birotors »

Les CC 70001 et 2 étaient un duo de prototypes de locomotives diesel électriques construites en 1965-66 pour explorer le domaine des « grandes puissances ». Elles étaient en concurrence avec les BB 69001-2 à transmission hydraulique. Ces deux familles de prototypes eurent des carrières brèves qui s'achevèrent au début des années 80. Leur point commun était d'utiliser deux moteurs Pielstick 16PA4 similaires à ceux des BB 67000/67300/67400, tarés à 1765 kW (2400 ch) pour les 70000, et 2000 ch pour les 69000. Avec 4800ch (pour 4000 ch, en gros, à la jante) aux diesels, les 70000 étaient les plus puissantes locomotives Diesel d'Europe.

Elles servirent aussi de banc d'essai aux transmissions électriques par alternateur et courant redressé (les 67000, 68000 et 68500 conservaient les bonnes vieilles « gégènes » à courant continu). Le problème majeur posé lors de sa construction résidait dans la nécessité d'embarquer un alternateur de 4800 kVA minimum, entraîné conjointement par les deux moteurs Diesel, ou deux de 2400 kVA mini entraînés séparément, avec dans ce cas, un sérieux problème posé par un éventuel déséquilibre de puissance entre les deux Diesels (s'additionnant au poids et à l'encombrement de deux alternateurs).

Une solution remarquablement astucieuse fut alors trouvée, consistant à entraîner le « stator » (qui de fait, devenait un rotor !) par l'un des moteurs Diesel, le rotor étant entraîné dans le sens de rotation opposé par le second moteur. La vitesse relative de rotation du champ magnétique se trouvait ainsi multipliée par deux, et la puissance de l'alternateur était doublée sans avoir à recourir à un encombrement dissuasif de celui-ci. D'où, c'est logique, le surnom de « birotor » parfois donné à ces machines (sans aucune relation avec un éventuel moteur rotatif alors très en vogue en automobile !).

Les 70000 ne déçurent pas côté puissance, se montrant égales aux machines électriques en service à l'époque. La sophistication de l'alternateur contrarotatif entraîna quelques déboires et sujétions d'entretien liés à l'inévitable connexion tournante ; mais en toute objectivité, on peut penser que ces difficultés n'auraient pas été insurmontables dans le cadre d'une construction en plus grande série. Laquelle fut condamnée par la sortie en 1967 des 72000, plus conventionnelles et moins puissantes, mais moins coûteuses, monomoteurs et plus fiables. La nature prototype de l'alternateur condamnait, en pratique, les machines en cas de défaillance sérieuse ; ce qui arriva à la 70002 dès 1973 par incendie à l'alternateur. La 70001 poursuivit sa carrière jusqu'en 1983, en tirant des trains lourds d'eau minérale au départ de Vittel et Contrexéville, sur des parcours limités permettant un entretien suivi à Chalindrey, peu distant.

Lors de l'élaboration de la 22X22, ALSTOM fit appel à Jean-Vincent BONQUET, titulaire de la

chaire d'électrodynamique au Collège de France, pour contribuer à la conception de la motorisation synchrone de ce prototype.

Cet éminent spécialiste acquit très vite la conviction que l'obtention de moteurs fiables passait par l'augmentation du nombre de pôles, mais que ce dernier générerait des moteurs (de 3200 kW chacun, la machine devant impérativement demeurer à bogies monomoteurs, découlant sans modification majeure de ceux de série) trop encombrants et trop lourds, sans parler du surcroît de poids et d'encombrement généré par une électronique de commande plus complexe.

Ayant participé en 1964 au projet CC 70000, il eut alors l'idée de s'inspirer de la formule, en entraînant le stator de chacun des deux moteurs par une cascade d'engrenages prenant mouvement sur les essieux moteurs, le stator devant alors « tournant » en sens opposé et à vitesse (forcément) égale, en valeur absolue, à celle du rotor. Ce qui permettait, au poids supplémentaire de la chaîne de pignons, d'obtenir 3200 kW d'un moteur d'encombrement correspondant à 1600 kW (soit, en gros, un gain de poids de l'ordre de 30 %).

Les problèmes posés par la nécessité d'une connexion tournante du stator furent résolus - et c'était une première – par l'utilisation d'une bague réalisée en céramique (et comportant, bien sûr, des encoches avec encastrement de lames de cuivre), laquelle était en contact avec un dispositif semblable. Le coefficient de frottement relatif étant à peu près nul, l'usure promettait d'en être très limitée dans le temps. A noter qu'aux termes de calculs très soignés, les lames de cuivre n'entraient jamais en contact direct : leur « entrefer » avait été soigneusement calculé pour permettre une connexion par arc court sans déperdition majeure d'énergie. Pour garantir le maintien de cet écart micrométrique, les bagues de connexion étaient maintenues en place par des circlips en titane.

La formule du Professeur Bonquet avait d'autres avantages : l'augmentation de la vitesse relative de déplacement avait pour effet d'augmenter considérablement les effets de la ventilation naturelle, permettant – avec un louable allègement – de se passer dans la plupart des cas de la ventilation forcée.

De surcroît, la contra rotation annulait les effets de couple liés à la rotation unique du rotor (un peu à l'instar d'un avion bimoteur), contribuant à minimiser grandement les contraintes exercées sur la voie, au bénéfice, évidemment, de la stabilité en ligne. Du même coup, il devenait inutile de procéder à des modifications sur le bogie de la 22X22, liées à la pratique répétée de vitesses élevées.

Grâce à cet artifice, il fut possible de conserver pour la 22X22 la masse originelle de 90 t en service, malgré une électronique embarquée plus complexe que celle des machines classiques (et encore compliquée par l'augmentation « mécanique » de la fréquence du courant triphasé).

L'électronique de commande conservait les dispositions d'origine des 22200. La présence de moteurs synchrones changeait un peu les habitudes de conduite, puisqu'ici, l'effort développé au démarrage était en gros proportionnel à l'intensité admise : pour disposer des 320 kN d'effort maximal au démarrage, il convenait de placer le gradateur à 100 %.

L'équipement de frein pneumatique ne fut pas modifié, pour des considérations d'adhérence roue/rail non concernées par le changement de motorisation. Le frein électrique était calqué sur

celui d'origine, conservant les résistances de rhéostat, mais ménageant la possibilité (à condition que les sous-stations le permettent) de freinage par récupération (ce qui est la chose la plus naturelle avec des moteurs synchrones !). L'effort maximal en freinage électrique conservait la même valeur de 90 kN, mais cette fois disponible sur l'ensemble de la plage des vitesses de pratique (de 25 à 220 km/h).

Dans un souci d'économie, les pantographes d'origine furent conservés, puisque aptes d'entrée à la pratique des 200 km/h assignés comme vitesse maximale en service courant. Pour les mêmes raisons, aucune modification d'envergure ne fut entreprise sur la caisse, à l'exception évidemment de la décoration extérieure confiée à Roger Tallon.

Image 4: Le logo devenu célèbre, qui symbolisait la technique birotor des moteurs de la 22X22, et apposé sur les flancs de la machine. On notera les caractères « 7 segments » inspirés des afficheurs LED ou à cristaux liquides, qui voulait souligner le modernisme – pour l'époque – des technologies mises en œuvre !

5 Transformation et mise en service

Les voitures Corail prévues pour la composition des rames homogènes furent reconditionnées aux ateliers d'Aytré, à partir d'un lot de voitures aptes à 200 km/h.

La 22222 entra aux ateliers ALSTOM de Belfort en septembre 1991[1], et fut remise à la SNCF le 1° avril de l'année suivante sous le nouveau et curieux numéro « 22X22 », c'est-à-dire le jour même prévu pour l'exécution du contrat de transformation.

Après une brève prise en mains sur les voies de l'usine, elle rejoignit en remorque derrière l'A1A-A1A 68506 le dépôt de Tours Saint-Pierre, où elle retrouva sa rame d'essais, en vue de parcours sur l'artère St Pierre des Corps-Bordeaux, seule ligne à 1500 V en France, alors, à être praticable sur sa plus grande longueur à 200 km/h (voire 220 en marches d'essais).

6 22X22 : Pourquoi ?

Comme nous l'avons souligné, le numéro retenu pour identifier cette machine hors norme ne l'était pas moins. Il tranchait avec la pratique en vigueur sur la plupart des engins prototypes. On peut donc s'en étonner. Pourtant, deux raisons au moins semblent avoir motivé ce choix :

- Tout d'abord, l'expérience X996 était encore relativement récente et présente dans tous les esprits. En témoigne d'ailleurs la livrée également retenue pour la BB22X22 – plus souvent et simplement dénommée « 22X22 ». Même si les technologies sous-jacentes étaient radicalement différentes, la lettre « X » dans l'identifiant des deux machines visait à souligner qu'elles procédaient d'une démarche commune.
- Ensuite, il semble que la SNCF envisageait de dériver un nombre significatif d'engins de série de ce

[1] La machine reçu le logo « Casquette » en avant-première, tout comme les voitures associées.

prototype. Un point n'était pas tranché : s'agirait-il d'une nouvelle sous-série spécifique de BB22200, ou d'une nouvelle série ? La première option tenait la corde, mais posait un problème : de nouvelles commandes de BB22200 « standard » restait envisagées, mais on ignorait encore le nombre d'unités sur lesquelles elles porteraient. Difficile donc de figer le numéro qui pourrait être dédié à une nouvelle sous-série, techniquement distincte de toutes les tranches précédentes. L'usage du « X » comme nombre central permettait de temporiser. Avec le recul, la BB22X22 aurait très bien pu être connue comme BB22522 ou même 22501 !

7 Les essais sur la ligne de Bordeaux

La machine débuta alors une campagne d'essais intensifs sur l'axe Tours-Bordeaux, à la tête d'une rame « standard » de 11 Corail transformées + une voiture électrotechnique (soit 554 tonnes, incluant les lests « passagers »), selon les protocoles habituels.

Après quelques parcours de rodage à des vitesses limitées, on procéda à des essais plus intensifs, selon des marches calquées sur celles des meilleurs trains de l'époque.

Il fut clairement établi que la 22X22 se montrait capable de performances légèrement supérieures aux CC 6500 titulaires, accélérant mieux et se montrant bien plus faciles à la conduite, surtout par l'élimination des descentes de crans et changements de couplages répétitifs nécessaires pour « faire le trait » avec les 6500. Sur plus de trente marches d'essai, la 22X22 se montra capable d'abattre les 102,1 km (départ à arrêt) du parcours St Pierre-Poitiers en 34 mn 30 s (temps moyen), soit à 177,6 km/h de vitesse moyenne, malgré un ralentissement obligatoire à 160 à la traversée de Châtellerault, et une limite à 120 à l'entrée de Poitiers. Le 200 était facilement atteint – en accélération - sur la rampe de 5 menant à Villeperdue.

Un essai conduit à la tête d'une rame de 11 voitures Grand Confort (composition type « Etendard », 634 tonnes remorquées) se traduisit par un temps remarquable de 34 mn 45 s sur le même parcours, montrant la quasi-indifférence de l'engin à l'augmentation de la charge.

Sur les tronçons plus au Sud de Poitiers, les performances furent du même excellent niveau, même si les limites à 160 encore fréquentes à l'époque les rendaient sans doute moins évocatrices.

Image 5: A 200km/h sur Paris-Bordeaux

Les équipes de conduite furent unanimes à saluer l'excellente stabilité de la machine, totalement exempte des mouvements de « tamisage » si fréquents (et inquiétants, quoique procédant de l'usure inégale des bandages de roues, et sans réelles conséquences) chez les 6500. Les décollages étaient plus vigoureux, une fois abandonnés les « réflexes » propres aux conducteurs de locos à courant continu, et les

performances de freinage, malgré la légèreté relative de la machine, étaient jugées excellentes.

Au terme de cette première campagne d'essais, et après un détour par Belfort pour examen attentif d'éventuelles détériorations, la machine fut dirigée pour des essais d'adhérence vers la ligne de Maurienne et ses redoutables rampes.

8 Une grimpeuse redoutable

Attelée cette fois à une rame composé du fourgon de l'AEF 60 87 99-70 702-1, et de plats Samms-710 dûment lestés, la 22X22 montra son aptitude à développer des efforts importants au démarrage, puisque la barre des 320 kN fut facilement atteinte, et tenue sans échauffement appréciable des moteurs jusqu'à 50 km/h. Une mesure du coefficient d'adhérence maximal établit pour celui-ci une valeur probable de l'ordre de 0,55 au décollage du train, nettement supérieure au déjà exceptionnel 0,48 relevé sur la BB 16501 en régime PV. Les moteurs synchrones, « sans glissement », prouvaient là leurs aptitudes de prédilection. D'autant que la même machine pouvait, tout aussi confortablement, tracter 800 tonnes en palier à 200 km/h !

Image 6: La 22X22 lors d'essais sur la redoutable ligne de la Maurienne. On note, en tête de rame, le fourgon de l'AEF en livrée spécifique à base de gris et bleu

Seul, le freinage électrique fut jugé « un peu juste » pour les sévères descentes de la Maurienne, mais cohérent avec la vocation « grande vitesse » de la machine. A cette restriction près, la 22X22 s'avérait capable de remplir aisément les tâches dévolues aux 7200 PV, limitées à 100 km/h par leur rapport d'engrenages modifié.

Ces essais alpins démontrèrent la polyvalence pressentie de l'engin, même si ce n'était pas, initialement, le but recherché lors du lancement du programme.

9 Un petit tour à l'Ouest

Il était intéressant, évidemment, de tester la machine sous caténaire monophasée, et, en toute logique, après un petit crochet par Belfort où la « visite de routine » se passa sans encombre, la 22X22 rejoignit Montrouge avec sa rame d'essais pour des essais surtout centrés sur les axes Le Mans-Rennes (la ligne de Brest n'était alors pas électrifiée au-delà !) et Le Mans-Nantes. Le but avoué étant de tester la machine sous 25 kV monophasé.

Techniquement nécessaires, les résultats de ces essais furent moins riches en belles performances que ceux réalisés auparavant. La machine n'y est pour rien, bien sûr, mais ce sont plutôt le profil des lignes, et les limites praticables qui limitèrent la force des comparaisons avec les marches courantes effectuées le plus souvent par des BB 22200 « normales ». Certes, la 22X22 pouvait prétendre suivre une marche à 160 avec 1500 tonnes au crochet, mais l'on comprend aisément qu'hormis la performance absolue, de telles aptitudes n'aient que bien peu d'intérêt en service normal !

On relève néanmoins que sur des marches C200 entre Le Mans et Nantes, où cette vitesse était praticable sur quelques tronçons, la 22X22 pouvait « gratter » jusqu'à 5, voire 10 mn selon la charge sur les temps de ses sœurs conventionnelles : sa capacité à maintenir, en continu, 250 kN jusqu'à 80 km/h et ses aptitudes de traction à 200 expliquent ces écarts très sensibles.

10 Un premier bilan très favorable

Au terme de ces campagnes d'essais, la 22X22 avait parcouru 84231 km, sans connaître de défaillance (hormis un ou deux « bugs » d'électronique). Le démontage complet des moteurs montra une quasi-absence d'usure, le seul point à noter étant inhérent aux engrenages (nombreux !!) assurant les liaisons inter-essieux. Si leur usure était parfaitement normale, celle-ci pouvait, à terme, être suspectée d'interférer sur le maintien parfait de l'entrefer du moteur, puisqu'influant sur la rotation du « stator ». Le problème étant commun, dans les faits, à tous les bogies monomoteurs, fut rangé dans le classeur des « affaires à suivre », car considéré comme non crucial. L'examen des bagues de connexion démontra la pertinence du concept novateur, celles-ci ne montrant aucune usure mesurable.

De plus, une analyse marketing entreprise auprès d'une clientèle représentative sur des trains commerciaux avait démontré le très bon accueil réservé aux Corail « TGV », dont la décoration extérieure et les aménagements intérieurs étaient unanimement appréciés par la clientèle, et même jugés « nettement plus agréables » que les aménagements de type TGV Sud-Est. Et que dire de l'appréciation élogieuse du confort de suspension… ? Si ce n'est que les TGV Sud-Est, encore équipés de leurs ressorts hélicoïdaux originels, étaient exagérément typés « voiture de sport » !

Parmi les rares remarques défavorables, émanant cette fois de la DETE, on notera surtout les remarques sur la résistance aérodynamique de la motrice, jugée trop élevée à grande vitesse. A noter, pour tempérer, que les CC 6500 méritaient les mêmes commentaires ! Le dessin Arzens des « nez cassés », s'il constitue une vraie signature stylistique (probablement inoubliable, ou du moins on l'espère !), n'en est pas moins un pied de nez aux lois de l'aérodynamisme ! Le pare-brise « inversé », mollement justifiable par son rôle anti-reflets, constitue un superbe générateur de turbulences ! Sans parler des équipements de toiture, élégants, mais dépourvus du moindre artifice aérodynamique…

Pour situer les idées, les 2D2 5500, ou les BB Midi, représentent le « degré zéro » de l'aérodynamisme (Les BB Midi équivalant sur ce plan à un pain de savon de Marseille, et les 5500… à l'empilage de deux pains de savon, l'un de 400 g et l'autre de 500 !!). Les BB 66000 et BB 63000 étant, elles, carrément « en dessous de zéro » puisque alignant deux fronts de résistance verticaux (un peu à la mode des road-switchers US). Pacon, en dessinant en 1936 les 2D2 5400 Etat, pourtant directement dérivées des 5500, réduisit pratiquement de moitié leur résistance à l'air à 140 km/h en optant pour une forme en coque de bateau inversée (les composantes résistantes au roulement « mécanique » demeurant à peu près les mêmes, mais n'étant déjà plus majoritaires à 140). Effort bien plus louable que celui, inesthétique, entrepris par le PO en réalisant les « femmes enceintes », à peine moins résistantes que les « nez de cochon », et provoquant des turbulences décollant le pantographe avant… Les « Waterman », bien

qu'assez taillées à la serpe, et dernier avatar des 5500, réalisèrent, un peu plus tard, un progrès modeste, mais un peu plus sensible.

Pacon inspira fortement les 9100, qui étaient, aérodynamiquement, très acceptables compte-tenu de la hauteur de leur train de roues. Les 7100, dans leur première acception, avec leur jupes demi-enveloppantes, marquaient un progrès très sensible. La SNCF intensifia encore ses efforts, d'abord avec les 9003-9004, aux formes insolites mais assez favorables à une bonne pénétration dans l'air, puis avec les 9200/16000/25100 et 200. Malgré leur sobriété apparente, leurs formes étaient « efficaces », du moins avec les jupes de bas de caisse. Appréciation à étendre aux E103 ou E1012 DB dites « pli de pantalon », bonnes « fendeuses d'air » (mais qui, après dépose des jupes, perdirent une bonne part de cet avantage). On redescendit d'un cran avec les 16500, et de deux avec les 25500/8500/17000 (par la suppression des jupes de bas de caisse) ; mais c'étaient des machines réputées « utilitaires » …

Les premières Diesel de ligne (67000, 68000) marquaient le retour à une certaine recherche de bonne pénétration dans l'air, cependant que la DB, avec ses E03, visait carrément à l'excellence. Dans les deux cas, et c'est une antienne, la dépose des jupes de bas de caisse altéra sérieusement l'aérodynamisme. Mais les 67000 et 68000, signées Arzens, portaient déjà la « flèche », qui, par intégration à la forme de la caisse, signa la définition de la « mère » des nez cassés, avec la CC 40100. Sur celle-ci, le nez cassé était encore discret, cependant que la grande longueur de caisse minimisait largement les effets négatifs du pare-brise inversé.

Mais le look avait plu, et à une époque où le pétrole valait moins cher que l'eau minérale (1967), on aggrava le score avec les 72000. Qui, toutefois, et parce que leur toiture était intégralement carénée, minimisèrent les défauts inhérents à la formule… Les 6500 suivirent, puis les « 4400 kW », qui, plus courtes, aggravaient encore le jeu des turbulences.

Ne soyons pas mauvais coucheurs ! Ces machines étaient superbes, et leur aérodynamique était quand même nettement meilleure que celle des nez de cochon !! Mais, quand même, à des années-lumière de celle d'un TGV… Pour fixer les idées, une 22200 de 90 t réclame, en « solo » :

- 7400 N, soit 247 kW pour rouler à 120 (8,2 daN/t)
- 11940 N, soit 531 kW pour rouler à 160 (13,2 daN/t)
- 14660 N, soit 733 kW pour rouler à 180 (16,2 daN/t)
- 17680 N, soit 982 kW pour rouler à 200 (19,5 daN/t)
- 21000 N, soit 1283 kW pour rouler à 220 (23,2 daN/t), soit quasiment 1/3 de la puissance développée (4140 kW)

Un rapide calcul montrerait qu'une 22200 normale, en solo, ne pourrait pas dépasser 325 km/h. Evidemment, la résistance de l'air, dès 80 km/h, devient la composante majoritaire. Et que dire si un vent de face vient aggraver encore le phénomène ?

On nota donc qu'une amélioration de l'aérodynamique était souhaitable, et préférentiellement de manière plus esthétique et moins « bricolée » que celle commise plus tôt sur la BB 7003, affublée d'un « boîtier » en résine assurant la jonction entre le sommet de la cabine et l'extrémité du capot !

Sans anticiper sur la suite de l'histoire du projet, c'est ce qui fut réalisé avec les BB 26000, à l'apparence plus « lourde » et banale que les nez

cassés, mais bien plus efficaces sur le plan aérodynamique.

11 Quand la politique s'en mêle…

Considéré comme très prometteur, le projet fit pencher sérieusement la balance vers l'option de limitation, par correspondance avec ces rames tractées, des parcours TGV aux seuls tronçons desservis par LGV. L'économie en résultant était considérable, surtout à la veille de la passation du marché des TGV-A. Par multiplication des rotations sur LGV, et à kilométrage parcouru égal, on limitait drastiquement la quantité de rames à commander, avec pour contrepartie un modeste devis de remotorisation/réaménagement de matériel existant. On pouvait même, par ce biais, maintenir ou augmenter la desserte rapide de villes moyennes, grandes oubliées de la desserte TGV.

Il n'y manquait qu'une approbation politique, à l'échelle nationale, et depuis la décentralisation, à l'échelon régional. Dans le contexte d'alors, nombreux étaient les maires ou les édiles régionaux qui « réclamaient » leur TGV, même si la rentabilité en semblait, d'emblée, plus que douteuse. On était donc à même de leur proposer une solution intermédiaire, tout aussi rapide, et d'un niveau de prestation très proche, mais d'un coût bien plus raisonnable.

Une présentation officielle eut donc lieu, avec des parcours de démonstration effectués en direction de Bordeaux, Rennes et Nantes. Si les appréciations objectives furent positives en termes de confort et de rapidité, la quasi-totalité des représentants élus présents rejeta, parfois avec une grande vigueur, le concept de ce qu'ils qualifiaient de « TGV du pauvre ». L'argument avancé étant le caractère injustifiable de la présence du « vrai » TGV à la gare de bout de LGV, en comparaison à une desserte assurée – pour reprendre un terme utilisé à l'époque – avec du « matériel rafistolé ».

Le gouvernement d'alors aurait pu imposer son point de vue, dans la mesure où il était le principal bailleur de fonds. Mais dans un contexte où le chômage et les fermetures de sites industriels figuraient déjà au rang des premières préoccupations des électeurs français, il était mal venu de réduire drastiquement les commandes de matériels prévues auprès du principal constructeur ferroviaire français !

L'amplification du débat via la presse et les médias eut rapidement raison et du projet technique, et de l'option de la limitation des TGV aux seules LGV…

La 22X22, et sa rame d'essais resteraient donc des prototypes sans suite. Tout ne fut pas perdu : ALSTOM s'appuya sur les travaux et observations effectués pour élaborer la SYBIC, dans la douleur (et en abandonnant l'idée du moteur birotor, à tort ou à raison). Tallon recycla le design et l'adapta au TGV-A. Et les TGV connurent, pour très longtemps, les parcours sur ligne classique, des ogives du Midi jusqu'à l'expérience tragi-comique de l'acheminement derrière une 72000 sur l'antenne des Sables d'Olonne !

12 Epilogue

La BB 22X22 fut remise au type, récupérant ses moteurs d'origine, ainsi que son équipement électrique standard. Au moment de la répartition par activités, elle fut mutée au Fret, et fut basée à Lens. Elle a été finalement affectée à l'Infra, et y est toujours officiellement en service.

Les voitures Corail transformées ont, elles aussi, rapidement remises au type. Il est difficile de dire, aujourd'hui, combien d'entre elles demeurent en service, et sous quelles couleurs.

Parmi les villes, grandes ou moyennes, qui « voulaient leur TGV », certaines l'ont eu, et d'autres non. Pour une assez large part d'entre elles, les fréquences de desserte n'ont pas réellement progressé, et assez souvent, les temps de parcours ont, en revanche, augmenté.

Les rames tractées ont presque disparu du paysage ferroviaire, au profit d'automotrices.

Mais ceci une autre histoire !

Image 7: La 22X22 lors des essais à V200 sur Paris-Bordeaux, en tête d'une rame de voitures « Grand Confort ». La photo est prise ici un peu au nord d'Angoulême

En page suivante : La 22X22 en tête d'une rame de voitures Corail spécifiquement mises à niveau et redécorées pour ces essais (B6Dd2 + A5B5tu + A10tu + A10tu Vtu82 + B5rtux + B11tu + B11tu Vtu82 + B11tu). Il convient de noter que la B6Dd2 avait subi une modernisation approfondie, avec ajout de la climatisation. Toutes les voitures étaient aptes à 200 km/h. Les numéros de train, de voitures ainsi que les principaux arrêts étaient affichés au droit des portes d'accès grâce à des afficheurs à cristaux liquides.

22222

A propos du modèle de BB22X22 et des voitures Corail associées…

Evidemment tout ce que vous venez de lire est purement imaginaire. Toute ressemblance avec des faits réels serait purement fortuite et involontaire ; enfin presque, car tout est parti d'un échange avec Nicolas (alias Nicolas-s), sur le forum ASW, concernant les projets non-aboutis de livrée unifiée Corail et TGV, par le designer Roger Tallon. L'idée d'une machine « nez-cassé » prototype est venu se greffer dessus assez naturellement, suite aux échanges subséquents avec Jean-Paul (alias BJPaul) – l'essentiel du texte qui précède est d'ailleurs dû à l'imagination fertile et aux connaissances de Jean-Paul. Votre serviteur (alias BB25187) n'y a apporté que quelques modifications mineures, et a réalisé la mise en page et les illustrations.

L'aspect uchronique de toute cette histoire est volontaire, mais quelques anachronismes bien tangibles peuvent s'être glissés dans la description de cet embranchement non réalisés de notre histoire ferroviaire. Chacun reste libre de regretter ou non que tout cela ne soit pas arrivé dans la vraie vie.

La machine 22X22 s'installe comme une extension vers la version 2.02 du pack SNCF_BB22200_ORTS_VL version 2.01a, qui doit être préalablement installé.

Les voitures Corail associées sont à installer séparément, grâce à l'extension « SNCF_Corail_VL_Vtu_Ext_v200a.exe ».

Une fois ces voitures installées, vous pourrez utiliser les deux compositions fournies avec la BB22X22 (« SNCF_Corail_TGV_Tallon.con » et « SNCF_Corail_TGV_Tallon_Inv.con »).