

## **MEMENTO BB « M1 »**

### **1°) C'est quoi, une BB « M1 » ??**

Le réseau des Chemins de Fer du Midi, couvrant les Pyrénées, disposait d'une ressource importante en hydro-électricité. De surcroît, desservant des zones à faible densité de population, par des lignes à profil souvent (très) difficile, la consommation de charbon des locomotives à vapeur utilisées constituait un gros poste de dépenses aggravant les déficits plutôt chroniques de ladite compagnie.

C'est pourquoi, très tôt, le Midi s'intéressa à l'électrification sur une grande échelle de ses lignes. Les premiers essais (à voie normale) se firent en monophasé 16<sup>2/3</sup> Hz, courant déjà utilisé en Suisse. Ne concernant qu'une petite ligne (Perpignan-Villefranche Vernet-les-Bains), et pas très convaincant, il fut abandonné avec la survenue de la Première Guerre Mondiale. La paix revenue, et le charbon de bonne qualité se faisant rare et cher, les projets reprirent avec une nouvelle vigueur. Entretemps, le réseau américain du Milwaukee avait procédé à l'électrification en 3000 V continu de la majeure partie de sa ligne reliant Chicago à la Côte Ouest, en se concentrant sur les sections les plus difficiles. Cette installation de près de 1000 km, fonctionnant parfaitement, servait alors d'exemple vivant aux partisans de l'électrification.

Le Midi décida donc d'un programme d'ampleur d'électrification sous 1500 V continu de la majeure partie de son réseau, en commençant par les « antennes pyrénéennes » au profil souvent très difficile. Il fallait, évidemment, accompagner ce programme par la construction de locomotives adaptées.

Le Midi fit le choix des 2C2 E-3100 pour les trains de vitesse de « sa » ligne de plaine reliant Bordeaux à Hendaye. Machines originales (3 moteurs verticaux), rapides et très stables (les axes verticaux des moteurs avaient un effet gyroscopique très bénéfique à la tenue de voie), elles manquaient de puissance (relativement) et posaient des problèmes fréquents de lubrification liés à l'implantation verticale des moteurs. Ce qui ne les empêcha pas de détenir longtemps le « ruban bleu » de la meilleure vitesse commerciale pour le « Sud-Express » entre Bordeaux et Bayonne (108 km/h).

Pour les express, les omnibus, les marchandises, le choix s'arrêta sur le type BB qui présentait l'avantage de l'adhérence totale. Furent ainsi construites les E-4000 d'une part, et les E-4500 d'autre part. Les E-4500, aptes à 90 km/h étaient les machines « mixtes », les E-4000, limitées à 70, puis 60 km/h constituant la variante « marchandises ». Intelligemment pensées (elles étaient dotées du frein électrique, rhéostatique ou à récupération), elles furent construites par les ateliers C.E.F. (Constructions Electriques de France), situés à Tarbes, et qui, par fusion avec Thomson France, allaient devenir plus tard « Alstom ».

Les C.E.F. ne disposant pas de leurs propres moteurs, installèrent des moteurs « Dick-Kerr » DK87 de conception britannique. La mise en service de ces machines fut assez désastreuse, essentiellement à cause de ses composants électriques. En outre, il apparût très tôt que la puissance installée était insuffisante (de 1050 à 1200 chevaux unihoraires). Les exploitants du Midi en tirèrent rapidement les leçons nécessaires. Les E-4000 et 4500 furent vite reléguées à des tâches plus secondaires, avant d'être converties avec succès en machines de manœuvres et remontes après la Seconde Guerre Mondiale (BB-1500 et 1600).

Dès 1929, le Midi reçut de nouvelles machines mixtes/marchandises, de deux types inspirés assez étroitement des locomotives précitées, à savoir les E-4100 (marchandises) et les E-4600 (mixtes). La grosse différence se situait au chapitre de la motorisation, les CEF ayant développé leur propre moteur : le fameux « **M1** ». En outre, sur ces deux premières séries, le freinage électrique, toujours présent, était exclusivement rhéostatique (en cas d'interruption du courant caténaire, le « rhéo » continue à fonctionner, alors que le « récup » est inopérant... Ce qui peut être très gênant en descente de 30 pour mille, en tête d'une rame de wagons non freinés !!!). Le premier M1 était on ne peut plus rustique et classique, mais fiable (à la différence du Dick-Kerr). Avec 1780 chevaux unihoraires sous 1500 V, il surclassait largement son prédécesseur.

Contrepartie de sa rusticité, le M1 ne comportait aucune sophistication technique susceptible d'améliorer ses performances (compensation, etc...), à la différence, par exemple, des moteurs BBC/CEM équipant des 2D2 E-500 du PO. Il en résultait une très médiocre souplesse d'utilisation. Si les E-4100/4600 étaient « dures au mal » à des vitesses inférieures ou de l'ordre de leur vitesse optimale (38,5 km/h pour les E-4100, 54,3 pour les 4600, en régime unihoraire ; les valeurs continues sont plus basses : 31,2 et 44), leur puissance à la jante s'effondrait littéralement avec l'augmentation de la vitesse (688 chevaux à 75 km/h pour les 4100, 859 chevaux à 90 km/h pour les 4600). Mais à l'époque, le profil des lignes exploitées mettait bien plus en avant leurs réelles qualités de « grimpeuses », et quant à l'usage sur lignes de plaine, la vitesse courante des convois marchandises ne dépassant pas 60 km/h ne rendait pas nécessaire l'usage de « coureuses ». A noter que les deux séries étaient couplables en unités multiples, et que la seule différence existant entre E-4100 et E-4600 résidait dans le rapport de démultiplication, facilitant ainsi les conversions d'opportunité d'une série à l'autre (ce qui fut largement fait, dans les deux sens, tout au long de leur très longue carrière).

Les deux séries furent suffisamment appréciées pour qu'en 1934-36, soient mises en service deux nouvelles séries très proches : E-4200 (marchandises – VL = 75) et E-4700 (mixtes – VL = 90), pratiquement identiques à ceci près que le freinage électrique retrouvait la récupération, juste complétée par un freinage rhéostatique de secours. Le moteur M1, quant à lui, demeurait inchangé.

Dans le cadre de la politique des « grands travaux », l'électrification de la ligne Etat de Paris au Mans fut effectuée en 1937. Sous l'égide de Raoul Dautry, le choix fut arrêté en termes de parc moteur « locomotives » sur la reconduction des deux meilleurs types circulant sur le réseau français d'alors : 2D2 CEM du type PO pour les locomotives de vitesse (futurs 2D2-5400, ne différant que par la très belle caisse aérodynamique des « nez de cochon » du PO), et BB-Midi « mixtes » pour le service... mixte.

Les BB-101 à 135 Etat (futurs BB-901 à 935 SNCF) découlaient donc des E-4700 du Midi, avec cependant quelques changements et améliorations. Le freinage électrique était abandonné complètement, car de peu d'utilité sur une ligne bien moins accidentée que Pau-Canfranc. Le moteur M1 était reconduit, mais dans une variante modernisée **M1E** dotée de pôles auxiliaires. La puissance passait ainsi de 1780 à 2120 chevaux unihoraires, et la souplesse était améliorée. La vitesse optimale unihoraire passait ainsi à 61,6 km/h (43,2 en continu), et la puissance à la vitesse maximale de 95 km/h était encore de 1130 chevaux (1030 chevaux à 105 km/h, après recâblage). Les BB-900 étaient ainsi bien plus aptes au service mixte que les homologues du Midi, tout en gardant une bonne aptitude aux efforts à basse vitesse.

Dans la foulée, le P-O, devenu PO-Midi dans l'intervalle, passa commande des E-241 à 264 (futurs BB-301 à 324), très proches des BB Etat, mais disposant d'une nouvelle variante du moteur M1, le **M1P**. Disposant de 2055 chevaux unihoraires, il faisait montre d'une souplesse un peu moins bonne que le M1E, mais permettait aux nouvelles venues d'être aptes à 105 km/h... par le biais d'une transmission rallongée. La puissance à la jante à 105 km/h était de 910 chevaux seulement (mais encore de 1060 chevaux à 90 km/h, soit 200 de plus qu'une E-4700 Midi).

L'Histoire ne s'arrête pas là ! Dans l'immédiat après-guerre, le besoin d'élargissement du parc amena la SNCF à recevoir, à partir de 1948, les BB-325 à 355, encore dérivées du type BB-Midi, et adoptant cette fois les moteurs **M1S**, variante encore améliorée de l'insurmontable M1. Avec la même vitesse maximale de 105 km/h, la puissance unihoraire atteignait cette fois 2320 chevaux, avec encore 1230 chevaux à la jante à 105 km/h.

Et, dans le même temps, Alsthom avait reçu commande d'un prototype (BB-0401, puis BB-8001), avant une série complète de 174 locomotives (BB-8101 à 8274) toujours destinées au service mixte... Et toujours dérivées des BB-Midi !

Si la partie « bogies » évoluait cette fois très sensiblement, on retrouvait les mêmes recettes : moteurs suspendus par le nez, et cette fois du type **M1TC**, bogies attelés entre eux pour augmenter artificiellement l'empattement rigide. Mais le M1TC marquait une évolution décisive (et ultime) du moteur M1, à savoir que cette nouvelle version était intégralement compensée. L'intérêt de la compensation résidant dans la limitation drastique de la perte de puissance avec la vitesse, largement mise à profit depuis 1925 dans les 2D2 PO. D'abord annoncée pour 2400 chevaux et 115 km/h, les nouvelles machines développaient de fait 3190 chevaux unihoraires... et étaient limitées à 105

km/h, à cause de leurs moteurs tristement suspendus par le nez les rendant agressives pour la voie aux vitesses élevées (A noter que les néerlandais, avec leurs «1100 » dérivées de 8100, commandèrent des moteurs entièrement suspendus au châssis, la VL étant alors de 135 km/h).

Mais le M1TC marquait vraiment une différence énorme en termes de souplesse d'utilisation : de 3190 chevaux optimaux, 2615 étaient encore présents à l'appel à 105 km/h, soit plus du double d'une (alors) récente BB 325 à 355. On était enfin parvenus, au bout de 25 ans de développements, à créer une machine mixte digne de ce nom, et surtout, capable d'égaliser en termes de traction efficace les meilleures « vapeurs » de l'époque (141-R et 141-P). A la décharge d'Alsthom, l'installation de la compensation est bien moins facile à réaliser sur un « petit » moteur de 500 ch que sur un gros moteur de 1000 ch, surtout monté sur une 2D2 où la place ne manque pas et où le problème du poids ne se pose pas trop.

L'histoire du moteur M1 s'arrêtera bien plus tard, après 2010, lorsque les dernières BB-8100 converties aux remontes (BB-80000) seront réformées. La conversion progressive des BB « M1 » aux manœuvres et services lents sera du reste une pratique très appréciée de la SNCF : les BB Midi y passeront, puis après elles les BB-300 PO ou SNCF... Après échange de leurs moteurs M1 « évolués » contre des M1 « d'origine » récupérés sur des BB-Midi ! C'est dire à quel point la bête était solide, à défaut d'être très innovante ! Très robuste, simple à l'entretien, c'est un des rares moteurs électriques – avec le BBC/CEM des 2D2 type PO – à avoir souvent accompagné une locomotive durant toute sa vie.

## **2°) La conduite des BB « M1 »**

Les BB « M1 » sont des machines classiques à courant continu, typiques d'une conception simple généralisée à partir du début du 20<sup>e</sup> siècle. Pour faire simple, et comme il est entendu qu'on ne peut pas « bêtement » envoyer du courant à 1500 V sans modulation dans des moteurs de traction sans emballer les moteurs, après un patinage qui « bouffera » le rail jusqu'aux traverses, on va expliquer très vite comment s'effectue cette modulation.

Le premier outil de modulation est le **couplage**. Si l'on a 4 moteurs, on peut :

- Coupler les 4 moteurs en faisant entrer le courant par le 1<sup>o</sup>, puis du premier au second, du second au troisième, etc... C'est le couplage **SERIE**. Si les 4 moteurs sont identiques, le courant est partagé équitablement entre les quatre moteurs, qui reçoivent chacun  $1500\text{ V}/4 = \mathbf{375\text{ V}}$
- Grouper les 4 moteurs en deux branches de deux. Le courant traversant les moteurs est alors conservé dans les deux branches, et chaque moteur reçoit donc  $1500\text{V}/2 = \mathbf{750\text{ V}}$ . C'est le couplage **SERIE-PARALLELE**

- Alimenter les 4 moteurs à partir d'un même nœud, ou, autrement dit, en quatre branches. Le courant traversant chaque moteur est alors le même, et ne subit aucune division, soit **1500 V**. C'est le couplage **PARALLELE**.

On sait déjà diviser par 4 le courant caténaire, mais ça n'est pas suffisant pour démarrer sereinement ! Intervient alors un nouvel artifice, qui va permettre d'abaisser la tension reçue de la caténaire, pour chacun des couplages. Tout le monde le connaît sous le nom de **RHEOSTAT**. Un rhéostat est une résistance variable interposée entre l'arrivée du courant et le dispositif à alimenter. La part du courant traversant la résistance fait chauffer celle-ci, et dissipe une partie de l'énergie sous forme de chaleur. Sur une locomotive, compte tenu des intensités importantes mises en jeu, on a retenu un dispositif de « grilles » de résistances, permettant la variation de la résistance globale en modifiant simplement les points de branchement sur la grille. La variation est donc discontinue, ce qui va déterminer des **CRANS** de rhéostat, dont le choix est effectué par le conducteur-électricien.

Dès lors, le processus de montée en vitesse est facile à comprendre :

- 1°) On couple les moteurs en **SERIE**, et on démarre avec la plus forte résistance possible (1° **CRAN**). On diminue (« élimine le rhéostat » en termes ferroviaires) en « montant » les crans jusqu'à avoir une résistance nulle. On est alors au **PLEIN CHAMP SERIE**.
- 2°) Pour aller plus vite, et tirer plus fort, on passe au couplage supérieur **SERIE-PARALLELE** en replaçant toutes les résistances dans le circuit, et on répète l'opération du 1°) jusqu'à atteindre le second **PLEIN CHAMP (SERIE PARALLELE ou SP)**
- 3°) Pour aller encore plus vite, on répète la même opération pour arriver au **PLEIN CHAMP PARALLELE**.

Il en résulte une progression « par à-coups », l'effort croissant rapidement au passage d'un cran. C'est la raison pour laquelle les crans sont nombreux, de manière à limiter l'écart d'effort (et d'intensité) entre deux crans. Si le confort de marche est en cause, ce n'est pas le seul facteur : passer un cran équivaut à débrancher/rebrancher le circuit d'alimentation, ce qui génère des flashes.

De plus, on ne peut pas s'éterniser sur les crans avec rhéostat, car, comme dit, le rhéostat chauffe (et même beaucoup !!). C'est la raison pour laquelle il est placé sur les locomotives dans une zone bien aérée, et cerné de ventilateurs !! Néanmoins, on ne saurait croire naïvement que cela peut être suffisant pour assurer un fonctionnement prolongé « sur rhéostat ». Il est donc important d'éliminer le rhéostat aussi vite que les circonstances le permettent, et de ne pas considérer ces crans comme utilisables de manière prolongée.

Dernier facteur, et non des moindres, souvent souligné dans le paragraphe 1 : plus le moteur va vite, et moins il est puissant. C'est ce qu'on appelle la **REACTION D'INDUIT**. L'Induit est la partie mobile du moteur (celle qui est reliée aux roues). L'intensité en ampères du courant moteur est reliée de manière « à peu près linéaire » à la vitesse de rotation. Quand on va plus vite, c'est au prix d'une augmentation de l'intensité. Or, l'intensité traversant l'induit génère une perturbation de la répartition du champ magnétique dans le moteur produisant une force contre-électromotrice diminuant d'autant la force électromotrice produite.

Pour contrer le phénomène, on ne peut pas agir sur l'induit (qui tourne !!). On agit donc sur l'inducteur fixe, en diminuant le champ magnétique qu'il produit par « élimination » de spires du bobinage. De premier abord, on peut penser (et c'est vrai !) que cela va diminuer la puissance du moteur, mais la diminution du champ va permettre une augmentation rapide de l'intensité qui va largement compenser cette perte apparente, et permettre d'accéder à des vitesses plus élevées.

Comme cette « élimination » est obtenue en dérivant les courants d'alimentation des bobinages de l'inducteur, on parle de **SHUNTAGE** (des inducteurs). Avant l'électronique, et donc, en ce qui nous concerne, on ne savait le faire que « par paquets ». D'où la notion de **CRANS DE SHUNTAGE**, qui, par augmentation du nombre de spires neutralisées, va permettre progressivement (mais par à-coups) de rehausser la puissance tout en augmentant la vitesse.

Le shuntage ne peut être pratiqué qu'au plein champ de chacun des couplages. Il doit être parfaitement maîtrisé, car lorsqu'il est mis en œuvre, il déséquilibre l'environnement électrique en confrontant un inducteur « affaibli » à un induit qui tourne de plus en plus vite. Il en résulte un risque de « flashes » très préjudiciables à la bonne tenue des moteurs. Une fois le cran « stabilisé », l'équilibre revient, et fonctionner sur un cran « shunté » ne pose aucun problème particulier.

Et puisqu'on en a parlé, un tout petit mot sur la compensation d'un moteur à courant continu... Le dispositif est simple à décrire : on installe des barres de cuivre dans des encoches à l'intérieur des pôles d'inducteurs principaux, parallèlement à l'axe d'induit. Le passage contrôlé d'un courant dérivé dans ces barres permet de limiter l'apparition de la réaction d'induit, en limitant les perturbations du champ avec l'augmentation de l'intensité. L'effet n'est toutefois pas suffisant pour se permettre de se dispenser du shuntage des inducteurs à vitesse élevée.

Pour en savoir plus, ce lien absolument incontournable, avec un .pdf très pédagogique : <https://actgv.fr/wp-content/uploads/2016/10/Circuit-de-Puissance-21-04-2016-dernier-travail.pdf>

Pour en revenir aux BB «M1», leur technologie est restée en gros constante jusqu'aux BB-8100. Les trois couplages Série, Série-parallèle et parallèle sont disponibles, et les crans

de shuntage sont bien présents à chaque couplage plein-champ. Il est à noter, au passage, que lors d'une montée en vitesse, il n'est pas indispensable (du tout) de s'arrêter sur les crans de shuntage. L'usage voulait que sur les couplages S et SP, on saute les crans shuntés pour reprendre la progression sur le couplage supérieur. A quoi servent-ils alors ? A maintenir une vitesse prescrite pendant une longue période de temps en toute sécurité !

**En effet, crans « plein champ » et crans « shuntés » sont dits « crans économiques » car ils préservent l'énergie (pas de déperdition de chaleur via le rhéostat) et ménagent l'environnement électrique de la locomotive.**

Les BB Midi possédaient 4 crans de shuntage à chaque couplage (en réalité, plutôt 4 demi-crans, les crans impairs ne shuntant qu'un moteur sur deux). Les BB-900 et 301 à 324 cinq crans sur les couplages S et SP, 4 sur le couplage parallèle. Les BB 325 à 355 ont cinq crans « à tous les étages ».

Les BB-8100 vont s'avérer très sensiblement différentes. Les moteurs M1TC sont en effet alimentés sous 750 V et non plus 1500, ce qui fait que seuls deux couplages sont disponibles : Série et Série-parallèle. Neuf crans de shuntage sont disponibles au plein champ des deux couplages précités, ce qui conduit évidemment à une bien plus grande souplesse d'usage, les vingt crans « économiques » (18 shuntés et deux « plein champ ») permettant une conduite sereine.

**Concrètement**, nous avons reproduit au mieux ces dispositions réelles, avec des « conventions » faciles à mémoriser :

- Couplage Série « plein champ » : **25 %**
- Shunts « Série » : **25 % répétés**
- Couplage Série-parallèle « plein champ » : **50 %**
- Shunts « Série-parallèle » : **50 % répétés**
- Couplage « Parallèle » : **100 %**
- Shunts « Parallèle » : **100 % répétés.**

(Pour les **BB-8100** ne disposant que de deux couplages, le « Série » est à **50**, et le « Série-parallèle » à **100**)

A l'instar de la réalité (ou, plutôt, en essayant de la reproduire...), le passage prématuré d'un cran (de rhéostat, de plein champ ou de shuntage) entraînant une surcharge en ampères se traduit par un « disjonctage » avec neutralisation de l'effort de traction. On y remédie en redescendant au cran inférieur (c'est bien plus ennuyeux dans la réalité, alors ne râlez pas !).

**On rappelle, comme d'habitude, que la descente à « zéro » de la traction est obtenue rapidement en faisant « Ctrl+Q » sur le clavier. C'est pratique pour les freinages !!**

## Caractéristiques des « BB M1 »

### Origine « Midi »

	<b>BB-4100</b>	<b>BB-4600</b>	<b>BB-4200</b>	<b>BB-4700</b>
<b>Puissance unihoraire (kW-ch)</b>	<b>1310</b> 1780	<b>1310</b> 1780	<b>1310</b> 1780	<b>1310</b> 1780
<b>Puissance continue</b>	<b>1160</b> 1575	<b>1160</b> 1575	<b>1160</b> 1575	<b>1160</b> 1575
<b>Masse (t)</b>	<b>78</b>	<b>78</b>	<b>80</b>	<b>80</b>
<b>V max (km/h)</b>	<b>75</b>	<b>90</b>	<b>75</b>	<b>90</b>
<b>Effort maxi au démarrage (kN)</b>	<b>224,5</b>	<b>160</b>	<b>224,5</b>	<b>160</b>
<b>Effort à Vmax (kN)</b>	<b>24,1</b>	<b>25,3</b>	<b>24,1</b>	<b>25,3</b>
<b>Couplages</b>	<b>3 : S, SP, P</b>	<b>3 : S, SP, P</b>	<b>3 : S, SP, P</b>	<b>3 : S, SP, P</b>
<b>Frein électrique</b>	<b>Rhéostatique</b>	<b>Rhéostatique</b>	<b>Rhéostatique + Récupération</b>	<b>Rhéostatique + Récupération</b>
<b>Crans de shuntage</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Taux de shuntage maximal</b>	<b>40 %</b>	<b>40 %</b>	<b>40 %</b>	<b>40 %</b>
<b>Vmin PC Série (km/h)</b>	<b>5,8</b>	<b>8,1</b>	<b>5,8</b>	<b>8,1</b>
<b>Vmin shunts S</b>	<b>6,4/7,5/9/10,2</b>	<b>9/10,8/12,6/14,4</b>	<b>6,4/7,5/9/10,2</b>	<b>9/10,8/12,6/14,4</b>
<b>Vmin PC SP</b>	<b>13</b>	<b>18</b>	<b>13</b>	<b>18</b>
<b>Vmin shunts SP</b>	<b>15,5/16,7/19,3/21,9</b>	<b>21,6/23,4/27/30,6</b>	<b>15,5/16,7/19,3/21,9</b>	<b>21,6/23,4/27/30,6</b>
<b>Vmin PC P</b>	<b>29,6</b>	<b>41,4</b>	<b>29,6</b>	<b>41,4</b>
<b>Vmin shunts P</b>	<b>30,8/32,1/34,7/37,3</b>	<b>43,2/45/48,6/52,2</b>	<b>30,8/32,1/34,7/37,3</b>	<b>43,2/45/48,6/52,2</b>
<b>Freinage électrique maximal (kN)</b>	<b>80</b>	<b>57</b>	<b>147,3</b>	<b>105</b>

- Les « Vmin PC » donnent la vitesse **en dessous** de laquelle le passage au cran plein champ provoque le disjonctage
- Les « Vmin shunts » donnent, de même, les vitesses minimales de passage des différents crans de shuntage. Néanmoins, quand on « saute » ces crans, on peut le faire « à la volée », puisque le changement de couplage entraîne une coupure du circuit électrique (audible, grâce aux fichiers « sons)
- Les efforts donnés correspondent à des efforts **à la jante**, l'effort disponible pour la traction est plus faible (**effort au crochet**), car diminué des résistances de la locomotive. Compter 2 à 3 kN au démarrage, mais 7 à 8 à la vitesse maximale. Dans les faits, les barèmes du Midi donnaient à 90 une charge remorquable « voyageurs » de 290 tonnes à 90 km/h en palier pour une BB-4600 ou 4700.

### Origine Etat, PO-Midi et SNCF

	<b>BB-900 ex-Etat</b>	<b>BB-301 à 324 ex-PO</b>	<b>BB-325 à 355</b>	<b>BB-8100</b>
<b>Puissance unihoraire (kW-ch)</b>	<b>1560</b> 2120	<b>1512</b> 2055	<b>1708</b> 2320	<b>2347</b> 3190
<b>Puissance continue</b>	<b>1300</b> 1760	<b>1460</b> 1985	<b>1546</b> 2100	<b>2098</b> 2850
<b>Masse (t)</b>	<b>79,3 puis 80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80 ou 92</b>
<b>V max (km/h)</b>	<b>95, puis 105</b>	<b>105</b>	<b>105</b>	<b>105</b>
<b>Effort maxi au démarrage (kN)</b>	<b>179,6</b>	<b>161,6</b>	<b>181,6</b>	<b>225,6</b>
<b>Effort à Vmax (kN)</b>	<b>25,9 (à 105)</b>	<b>22,8</b>	<b>30,75</b>	<b>66</b>
<b>Couplages</b>	<b>3 : S, SP, P</b>	<b>3 : S, SP, P</b>	<b>3 : S, SP, P</b>	<b>2 : S, SP</b>
<b>Frein électrique</b>	<b>Néant</b>	<b>Néant</b>	<b>Néant</b>	<b>Néant</b>
<b>Crans de shuntage</b>	<b>5 en S et SP</b> <b>4 en P</b>	<b>5 en S et SP</b> <b>4 en P</b>	<b>5</b>	<b>9</b>
<b>Taux de shuntage maximal</b>	<b>60 %</b>	<b>60 %</b>	<b>60 %</b>	<b>76 %</b>
<b>Vmin PC Série (km/h)</b>	<b>10,6</b>	<b>10,4</b>	<b>9,3</b>	<b>19,8</b>
<b>Vmin shunts S</b>	<b>11,5/13,4/15,3/</b> <b>17,2/21,1</b>	<b>11,4/13,5/15,6/</b> <b>18,7/20,7</b>	<b>10,4/12,5/13,5/</b> <b>16,6/19,7</b>	<b>21,6/24,3/27/</b> <b>29,7/32,4/34,2/</b> <b>36/39,6/43,2</b>
<b>Vmin PC SP</b>	<b>21,1</b>	<b>20,7</b>	<b>18,7</b>	<b>43,2</b>
<b>Vmin shunts SP</b>	<b>23/24,9/28,7/</b> <b>30,6/32,5</b>	<b>22,8/26,9/29/</b> <b>33,1/35,2</b>	<b>20,7/22,8/26,9/</b> <b>29/31,1</b>	<b>46,8/52,2/57,6/</b> <b>63/68,4/73,8/</b> <b>79,2/84,6/88,2</b>
<b>Vmin PC P</b>	<b>44</b>	<b>45,6</b>	<b>43,5</b>	
<b>Vmin shunts P</b>	<b>45,9/49,7/</b> <b>55,5/61,2</b>	<b>49,7/53,8/</b> <b>57,9/64,2</b>	<b>45,6/47,6/51,7/</b> <b>55,9/60</b>	

On mesure, à la lecture de ces tableaux, les progrès effectués entre 1930 et 1950, lesquels se sont considérablement accélérés après 1945, avec la mise au point des BB-8100. Plus, sans doute, que l'aptitude au décollage des trains, ce sont la souplesse et la polyvalence qui ont accompli les plus grands progrès. Les M1 ont, dans tous les cas, été des moteurs très robustes et fiables. Et l'on peut aussi dire que chacune des familles de locomotives ainsi motorisées aura répondu aux attentes des exploitants. Les BB-4100/4200 auront ainsi tracté, malgré leur inefficacité au-delà de 60 km/h, des convois de toute sorte sur les difficiles lignes pyrénéennes : en double ou triple traction, leurs aptitudes de grimpeuses étaient remarquables. Les 4600/4700 auront assuré un service mixte de qualité sur des lignes souvent accidentées. Les BB-900, engagées au début pour suppléer les 2D2-5400 à la traction d'express peu tendus, se seront acquittées de leurs

missions à l'Ouest, puis auront été tout autant appréciées dans les années 70 quand elles furent mutées en bloc à Limoges. Les BB-300 des deux types auront assuré tout aussi brillamment un service à forte dominante marchandises au Sud-Ouest, souvent couplées en UM (double avec les 325-355, triple avec les 301-324). Quant aux 8100, elles furent les « reines » des marchandises sur l'Artère impériale, jusqu'à la fin du 20<sup>e</sup> siècle. Lestées à 92 tonnes, au bénéfice de l'adhérence, elles avaient des capacités de traction remarquables, et n'étaient pas à la peine à la traction de RA lourds, tracés à 100 km/h.

Enfin, comme on l'a déjà dit, la meilleure preuve de leurs qualités est sans doute à chercher du côté de leur fin de carrière aux manœuvres et remontes. Service bien plus difficile qu'il y paraît, puisqu'une machine à rhéostat est amenée à fonctionner presque constamment à basse vitesse, zone où la sollicitation des crans sur résistances met vite à mal une locomotive au rhéostat fragile.

Sous toutes leurs variantes, nous espérons que vous prendrez plaisir à leur conduite, autant que nous en avons eu à les paramétrer aussi fidèlement que possible... et à les doter de cabines nouvelles à peu près réalistes !

Bons parcours, et bien amicalement,

Jean-Paul