

LOCOMOTIVES BB 9001-9002 DE LA SNCF



SLM

Société Suisse
pour la Construction de Locomotives et de Machines
Winterthur

PUBLIÉE SOUS LE PATRONAGE DES PLUS HAUTES
PERSONNALITÉS DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE DES
CHEMINS DE FER FRANÇAIS, LA REVUE GÉNÉRALE
DES CHEMINS DE FER — SUIVANT SA TRADITION
DE PUBLIER DES ÉTUDES SUR TOUTES LES QUESTIONS
FERROVIAIRES INTÉRESSANTES — A INSÉRÉ, DANS SON
N° DE DÉCEMBRE 1953, L'ARTICLE REPRODUIT CI-APRÈS.

(Dunod Editeur, Paris)

LES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES

BB 9001/9002

DE LA S.N.C.F.

M. Walter HEFTI,
Ingénieur en Chef
de la Société Suisse pour la Construction
de Locomotives et de Machines à Winterthur.

par
et

M. André FEDDERSEN,
Ingénieur
à la Société Anonyme
Brown Boveri et Cie à Baden.

La Revue Générale des Chemins de fer a exposé dans sa livraison de juin 1949 les raisons qui avaient conduit la S.N.C.F. à faire étudier et réaliser de nouvelles locomotives électriques prototypes à grande vitesse du type BB.

Des notes de MM. Dufêtre, Coureau, Heidmann, Bodmer et Rossignol ont décrit en novembre 1953, les prototypes BB 9003-9004 construits par Le Matériel de Traction Électrique, dont une unité, la BB 9003, est en service sur la ligne Paris-Lyon depuis le mois de décembre 1952.

Les notes suivantes de MM. Hefti et Feddersen donnent une description détaillée des deux autres prototypes de conception suisse, les locomotives BB 9001 et 9002 construites par la S.A. Brown Boveri pour la partie électrique et la Sté Suisse pour la Construction de Locomotives et de Machines à Winterthur pour la partie mécanique.

Comme pour la locomotive BB 9003, c'est au prix d'efforts portant simultanément sur les divers éléments de la locomotive — bogies, caisse, appareillage, moteurs — que les constructeurs ont pu satisfaire au programme posé par la S.N.C.F., c'est-à-dire réaliser, dans la limite de poids de 80 t, une BB capable de circuler normalement à 140 km/h, avec la possibilité d'atteindre 160 km/h comme vitesse maximum aux essais, et de développer une puissance au moins égale à 4 000 ch.

La première de ces deux machines, la BB 9001, a été livrée au mois de juin 1953. Les premiers résultats obtenus confirment les qualités attendues.

Bien que les mesures habituelles d'efforts sur la voie n'aient pas encore été effectuées, on a pu dès à présent se rendre compte de l'excellente stabilité de la machine jusqu'à sa vitesse maximum de 160 km/h et autoriser son emploi en service commercial à 140 km/h.

Depuis sa mise en service la locomotive a assuré avec régularité la remorque des trains rapides de la ligne Paris-Lyon et accessoirement celle de trains de messageries, montrant ainsi que ses possibilités de traction couvrent largement le programme initialement prévu. Le parcours de la locomotive à la fin de novembre dépassait 110 000 km.

INTRODUCTION

En 1930, les Chemins de Fer du P.O., à la suite d'une compétition de plusieurs années entre des prototypes de techniques très différentes, décidèrent de retenir, pour la remorque des trains rapides de leur réseau en cours d'électrification, uniquement des locomotives issues des deux prototypes 2D2-500 construits par la Société Anonyme Brown Boveri et Cie à Baden (Suisse) et la Société Suisse pour la Construction de Locomotives et de Machines à Winterthur (Suisse). Il en résulta que, dans les années qui suivirent, la presque totalité des trains électriques circulant sur les réseaux français à des vitesses égales ou supérieures à 110 km/h furent remorqués par des locomotives 2D2 de même conception que ces deux prototypes, mais qui furent construites en France par la Compagnie Électro-Mécanique et la Compagnie de Fives-Lille.

Cependant, les progrès faits par la technique permirent, il y a quelques années, de réaliser des locomotives à grande vitesse, sans essieux porteurs ou directeurs, c'est-à-dire des locomotives à adhérence totale. C'est ainsi que les mêmes constructeurs suisses livrèrent dès 1944 au Chemin de Fer des Alpes Bernoises (Bern-Lötschberg-Simplon; B.L.S.) 6 loco-

motives du type BB de 4 000 ch destinées à circuler à 125 km/h. Ces machines, dont le poids ne dépasse pas 80 tonnes, donnèrent, dès le début, entière satisfaction.

Aussi, la S.N.C.F., pensant en particulier à l'économie qui résulterait pour ses électrifications futures de l'emploi de locomotives à adhérence totale beaucoup plus légères que les 2D2, décida d'expérimenter un certain nombre de prototypes de diverses techniques. C'est ainsi qu'elle commanda à la Société Brown Boveri à Baden et à la Société Suisse pour la Construction de Locomotives et de Machines à Winterthur les deux prototypes BB 9001 et 9002.

L'étude de ces 2 locomotives, faite en étroite collaboration avec la Division des Études de Traction Électrique de la S.N.C.F., est basée tout particulièrement sur les principes suivants :

— réaliser des locomotives dont les parties mécaniques soient d'un type semblable à celles des locomotives du B.L.S., mais qui soient capables, en outre, de remorquer des trains à la vitesse maximum de 160 km/h;

Fig. 1. — Vue de la locomotive BB 9001.



— limiter leur poids à 80 tonnes pour leur permettre de circuler sur toutes les grandes artères électrifiées de la S.N.C.F. et, en particulier, sur celles où la charge par essieu est limitée à 20 tonnes;

— leur donner une puissance telle qu'elles soient capables d'assurer la remorque de tous les trains rapides des réseaux électrifiés de la S.N.C.F. dans les mêmes conditions que ceux remorqués par les locomotives 2D2;

— utiliser des moteurs entièrement suspendus dont le couple soit transmis aux essieux par la commande à disques Brown Boveri, particulièrement légère et ne nécessitant aucun entretien;

— réaliser un équipement électrique simple, donnant le maximum de souplesse à la locomotive tout en permettant une conduite et un entretien faciles.

Les caractéristiques principales de ces locomotives sont les suivantes :

Caractéristiques principales :

— Longueur totale hors tampons	15 400 mm
— Longueur de la caisse	14 400 mm
— Largeur de la caisse	2 950 mm
— Empattement rigide des bogies	3 600 mm
— Empattement total.....	11 200 mm
— Distance entre pivots des bogies	7 700 mm
— Diamètre des roues à l'état neuf.....	1 300 mm
— Rapport d'engrenages	1 : 2,02
— Hauteur maximum avec pantographes baissés.....	4 215 mm

— Vitesse maximum en service normal....	140 km/h
— Vitesse maximum admissible	160 km/h
— Poids total en ordre de marche	80 000 kg
— Charge par essieu	20 000 kg

Puissance de la locomotive :

— Puissance sur l'arbre des moteurs au régime continu sous 1 350 volts	3 680 ch
correspondant à un effort de traction aux jantes de.....	12 400 kg
et à la vitesse de	78 km/h
— Puissance au régime unihoraire sous 1 350 volts.....	4 090 ch
correspondant à un effort de traction aux jantes de.....	14 150 kg
et à la vitesse de	76 km/h
— Puissance sur l'arbre des moteurs au régime continu sous 1 500 volts	4 170 ch
correspondant à un effort de traction aux jantes de.....	12 400 kg
et à la vitesse de	88 km/h
— Puissance au régime unihoraire sous 1 500 volts.....	4 600 ch
correspondant à un effort de traction aux jantes de.....	14 150 kg
et à la vitesse de	85 km/h

Les indications ci-dessus se rapportant à la vitesse et à l'effort de traction s'entendent pour des roues à bandages mi-usés de 1 260 mm de diamètre.

PARTIE MÉCANIQUE

La partie mécanique de ces machines à adhérence totale est constituée par une caisse unique reposant sur deux bogies à deux essieux moteurs. Les efforts de traction et de choc sont transmis par le châssis de caisse, dont les extrémités sont pourvues d'appareils de choc et de traction normaux (Fig. 2 et 3).

Lors de l'étude de ce prototype de locomotive, la Société Suisse pour la Construction de Locomotives et de Machines à Winterthur (SLM) pouvait se baser sur les excellents résultats des locomotives Ae 4/4 du B.L.S., dont les premières machines ont été mises en service en 1945 et des Re 4/4 des Chemins de Fer Fédéraux (C.F.F.), dont plusieurs avaient, à cette époque, parcouru plus d'un million de kilomètres. Rappelons brièvement les idées directrices qui ont présidé à la construction de ces machines :

a) Guidage des boîtes d'essieux dans le bogie par des

guides cylindriques pratiquement sans jeu et sans usure.

b) Poids non suspendu réduit au minimum; moteur de traction entièrement suspendu dans le bogie; rendement mécanique de la transmission aussi poussé que possible.

c) Concentration des masses du bogie vers son centre afin de diminuer les efforts dynamiques.

d) Disposition du pivot d'entraînement entre bogie et caisse approximativement à la hauteur de l'essieu afin de diminuer l'effet de cabrage et d'empêcher la transmission à la caisse des trépidations de galop du bogie.

e) Suspension primaire par des ressorts hélicoïdaux amortis par des amortisseurs à friction.

f) Suspension secondaire par des ressorts à lames longitudinaux.

Fig. 2. — Plan d'ensemble de la locomotive.

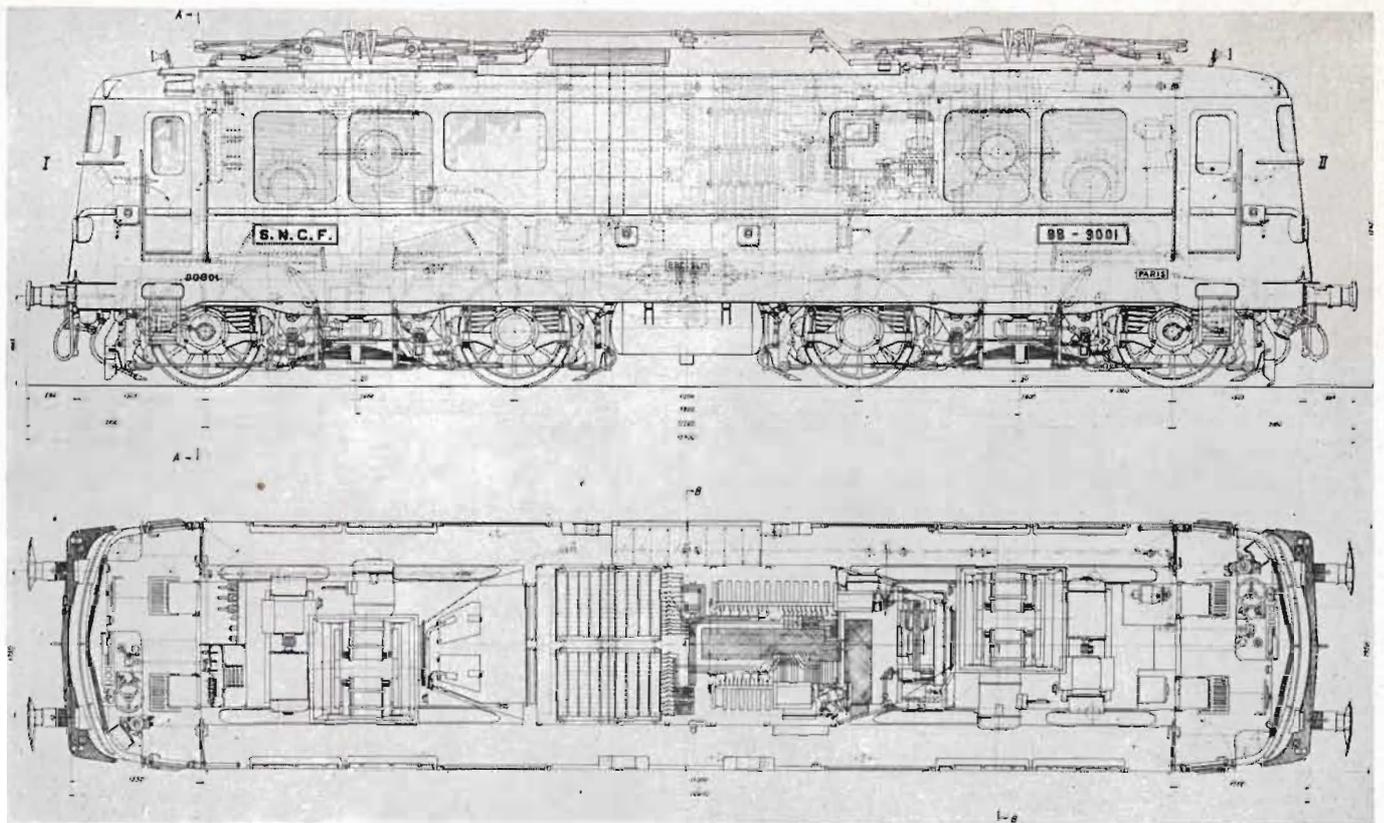
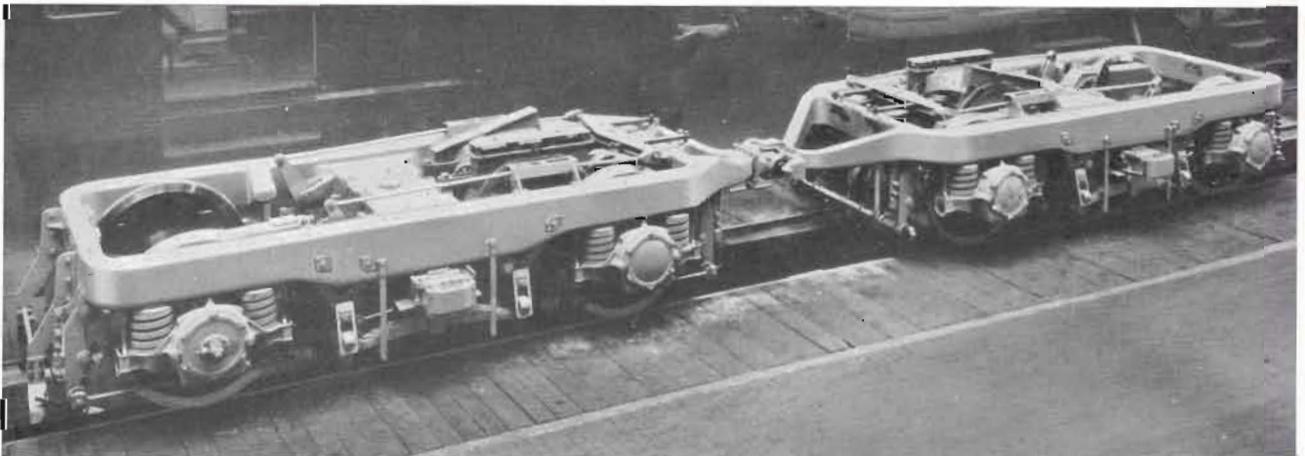


Fig. 3. — Bogies avant montage de la caisse.



g) Rappel latéral de la caisse par suspension pendulaire de celle-ci aux bogies.

h) Transmission du poids de la caisse aux ressorts à lames directement par des appuis latéraux dont le frottement de glissement amortit les déplacements relatifs entre bogie et caisse.

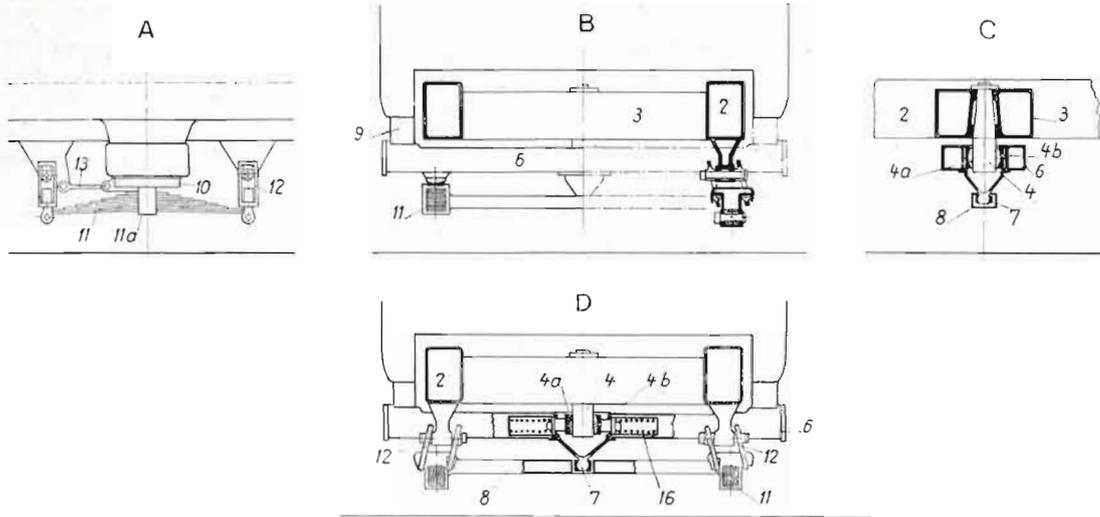
i) Accouplement latéral entre bogies, afin de faciliter le passage en courbe de la machine.

k) Dispositif anti-lacet stabilisant la tenue du bogie en alignement droit, tout en garantissant le passage libre du bogie en courbe.

l) Caisse autoportante, entièrement soudée, afin d'obtenir une construction à la fois légère et résistante.

m) Châssis de bogie en construction soudée; large emploi de poutres tubulaires afin d'obtenir un bogie pratiquement indéformable.

Fig. 4. — Disposition schématique de la liaison entre caisse et bogie.



n) Forme des longerons aussi droite et simple que possible pour réduire au minimum les accroissements de tension résultant de changements de section.

Ni l'une ni l'autre des deux machines précitées n'était toutefois construite pour circuler à des vitesses soutenues de 140 ou même de 160 km/h, comme cela a été imposé pour la partie mécanique de la nouvelle locomotive BB de vitesse. En accord avec la S.N.C.F., la S.L.M. a, pour tenir compte de ces conditions plus sévères de service, prévu de munir ces machines des dispositifs suivants, dont l'efficacité devrait être expérimentée lors des essais :

o) Élasticité transversale des essieux par rapport au bogie afin de limiter les efforts transversaux exercés sur la voie.

p) Dispositif anti-cabrage assuré par un accouplement vertical entre bogies.

q) Rappel élastique supplémentaire de la caisse.

Liaison entre caisse et bogie.

La disposition SLM d'appui de caisse a été conçue en vue de répondre aux conditions **d**, **f**, **g**, **h** et **n** mentionnées ci-dessus.

Pour réaliser les deux conditions **d** et **n**, le pivot de bogie, à l'inverse de la pratique usuelle, est fixé dans le châssis de bogie et s'engage **au-dessous** de celui-ci dans une traverse 6 fixée à la caisse par boulonnage (voir Fig. 4, C). Il y assure la liaison longitudinale entre caisse et bogie au moyen d'une bague sphérique 4a et du coulisseau 4b qui s'appuie sur la face soit avant, soit arrière du logement correspondant de la traverse 6.

Latéralement, le coulisseau 4b peut se déplacer de chaque côté de 35 mm dans ce logement, et permet ainsi à la caisse d'osciller d'autant de part et d'autre.

Les charges verticales imposées par la caisse sont transmises par les béquilles d'appui 9 des poutres longitudinales de son châssis à la traverse 6 qui s'appuie

elle-même de chaque côté sur la bride 11a du ressort à lames 11 (Fig. 4, B). Les deux ressorts 11 sont disposés longitudinalement et sont suspendus à leurs extrémités au châssis de bogie par les brides pendulaires 12. Latéralement, ils sont rendus solidaires de la caisse par leur traverse 8 et le pivot auxiliaire 7 et assurent ainsi la tenue latérale de la caisse (Fig. 4, D).

Cette tenue latérale étant fournie par les brides de suspension 12, ses caractéristiques correspondent à celles d'un pendule et ne présentent donc pas de tension initiale. Celle-ci pouvant être utile pour cette machine, il a été prévu le rappel élastique supplémentaire mentionné plus haut en **q**) et dont le dispositif 16 est logé dans la traverse de caisse 6, de part et d'autre du coulisseau de pivot, qui participe ainsi également à la tenue latérale de la caisse.

Les ressorts à lames, solidaires de la caisse pour les mouvements latéraux, sont en revanche fixés longitudinalement au bogie, chacune de leurs brides étant reliée à celui-ci par la tige 13 (Fig. 4, A). Ils se déplacent donc longitudinalement par rapport à la caisse lorsque les bogies exécutent un mouvement de rotation et sont munis à cet effet d'une lentille logée au-dessus de leur bride et glissant sous la traverse 6. La partie inférieure de cette calotte est de forme sphérique et assure de ce fait un appui correct pour toute position des bogies. Le frottement intervenant ainsi entre caisse et bogie, bien que faible, apporte un certain amortissement aux mouvements éventuels de lacet des bogies.

Le pivot central, son coulisseau et les appuis latéraux sont lubrifiés par un bain d'huile, protégé par un dispositif efficace contre toute pénétration de poussière.

Outre l'amortissement fourni par le frottement de glissement des appuis latéraux, la locomotive est munie d'un dispositif anti-lacet mécanique. La figure 6 montre schématiquement le principe et la disposition de cet appareil. En alignement droit le galet, sous l'influence

de la charge de mise en place du ressort, est poussé dans le creux du joug d'appui, exerçant ainsi un effort de centrage sur le bogie. En revanche, à l'entrée en courbe, la tringle de liaison fait sortir le galet de son siège, ce qui rend le bogie libre de tout effort de centrage et lui permet de prendre sa position, imposée par la courbe, sans effort supplémentaire. Les figures 7 et 8 montrent le dispositif anti-lacet en position centrée et en position extrême.

Fig. 5. — Dispositif d'appui de la caisse sur les bogies.

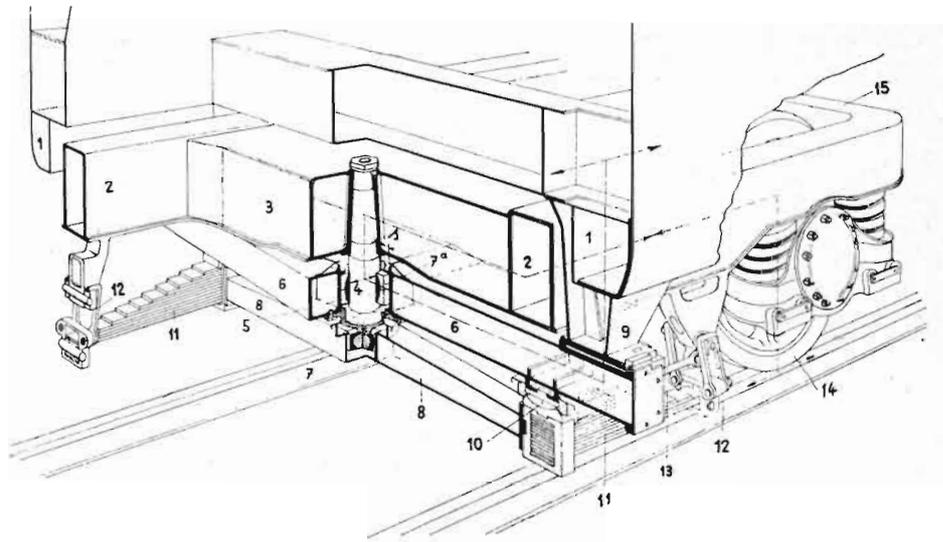


Fig. 6. — Schéma du dispositif anti-lacet.

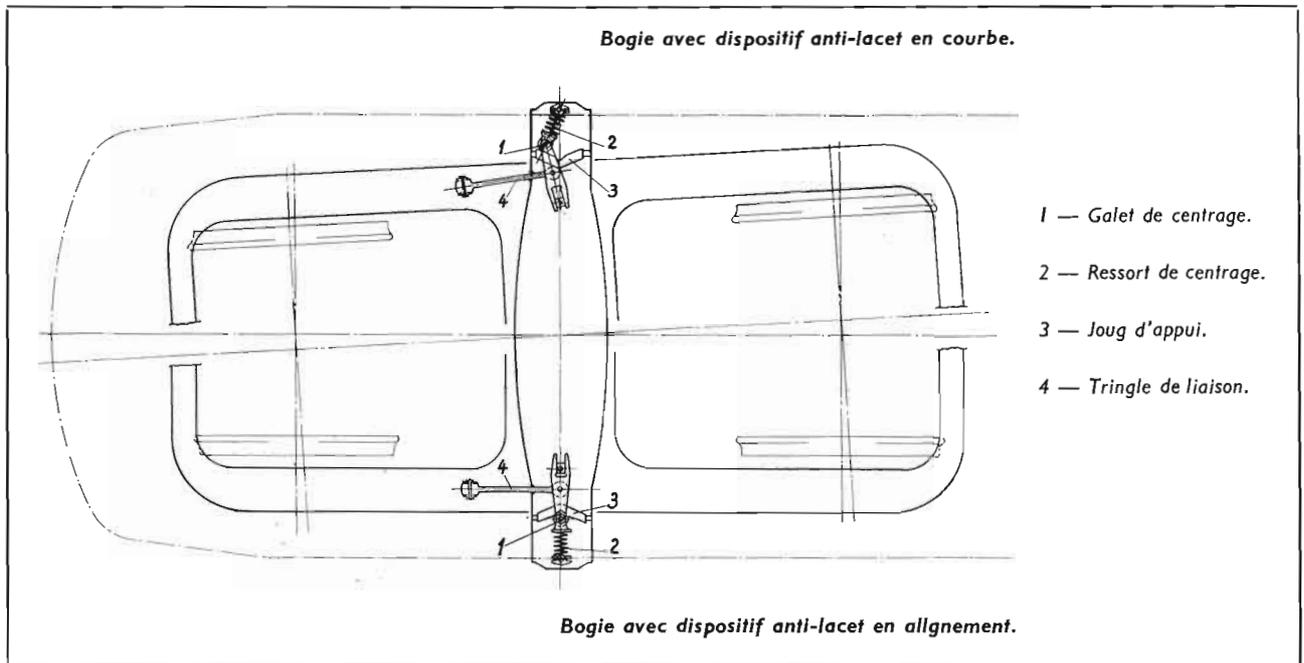
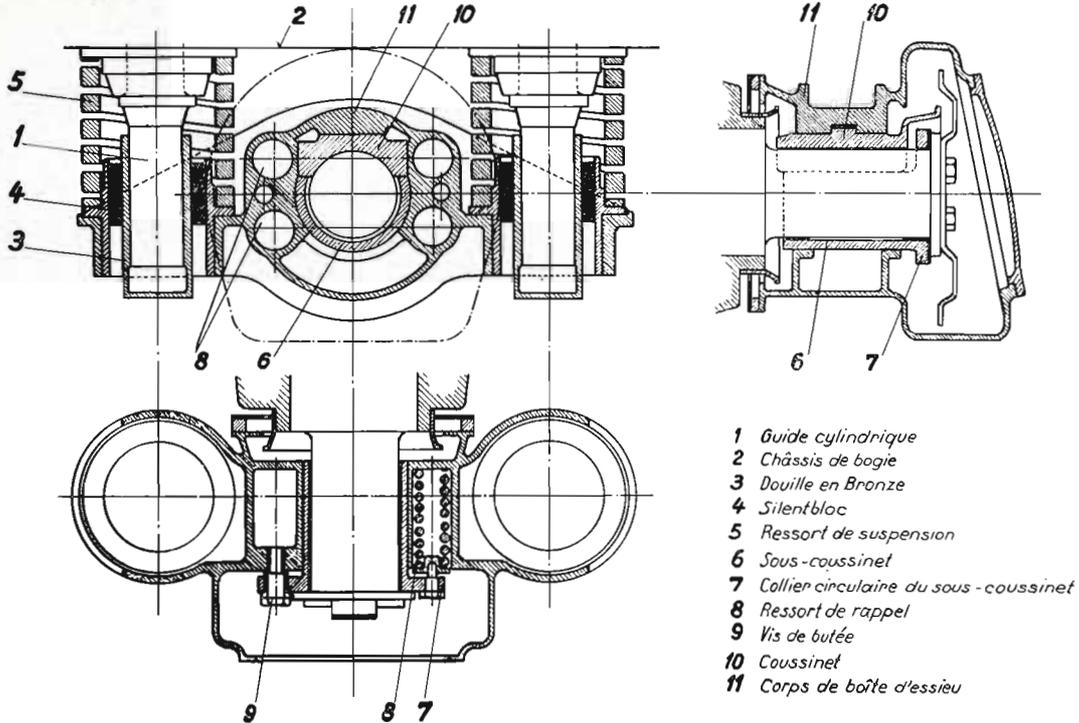


Fig. 7. — Dispositif anti-lacet en position centrée.

Fig. 8. — Dispositif anti-lacet en position extrême.



Fig. 9. — Dessin schématique de la boîte d'essieu avec guides et suspension primaire.



- 1 Guide cylindrique
- 2 Châssis de bogie
- 3 Douille en Bronze
- 4 Silentbloc
- 5 Ressort de suspension
- 6 Sous-coussinet
- 7 Collier circulaire du sous-coussinet
- 8 Ressort de rappel
- 9 Vis de butée
- 10 Coussinet
- 11 Corps de boîte d'essieu

Bogies.

Le châssis du bogie est composé de deux poutres longitudinales, une traverse centrale, une traverse de tête et une traverse intérieure. Chacune de ces poutres est de section tubulaire rectangulaire. La plupart de ces pièces sont exécutées en tôle emboutie. Pour des raisons d'usinage, d'autres, telles que les pièces d'angle et celles pour la fixation du pivot d'entraînement, sont exécutées en acier moulé. La traverse intérieure porte un prolongement en forme de triangle servant au montage de l'accouplement entre bogies. Le châssis de bogie est assemblé par soudure électrique dont les cordons droits de soudure ont été exécutés autant que possible à la machine à souder. Une attention toute particulière a été apportée à la disposition des jointures entre poutres.

Le châssis s'appuie, par l'intermédiaire de huit ressorts hélicoïdaux, sur les pattes latérales qui font corps avec les boîtes d'essieux. Les vibrations verticales des ressorts sont atténuées par des amortisseurs à friction. Ces derniers sont constitués par une bielle dont la partie supérieure est fixée au longeron de châssis, tandis que la partie inférieure est pincée entre deux disques de frottement dont la pression, obtenue par des ressorts hélicoïdaux, est réglable.

Le guidage des boîtes d'essieux est assuré par des guides cylindriques emmanchés à la presse dans les longerons du châssis. Ils glissent dans des douilles en bronze, fixées aux pattes d'appui des boîtes d'essieux par l'intermédiaire de "silentbloc". Le tout, entouré des ressorts hélicoïdaux, est enfermé dans un bain d'huile, protégé contre toutes pénétrations de poussière et d'eau. Grâce aux "silentbloc", ce dispositif de

guidage, montré schématiquement sur la figure 9, peut être exécuté avec un jeu minimum qui, selon l'expérience, ne subit pratiquement pas d'usure en service.

En plus de l'élasticité transversale fournie par les silentblocs des guides de suspension, les boîtes d'essieux sont munies d'un rappel élastique, à forte tension initiale, permettant à l'essieu de se déplacer latéralement de ± 8 mm. Ainsi, lorsqu'un défaut de voie donne lieu à une réaction dépassant la tension initiale des ressorts de centrage, l'essieu s'efface et l'effort latéral sur la voie reste voisin de cette tension initiale tant que le jeu de ± 8 mm n'est pas absorbé. Le dispositif de rappel par le sous-coussinet, qui s'appuie d'une part contre l'épaule externe de la fusée d'essieu par un collier circulaire et d'autre part sur le corps de boîte par deux pattes latérales pressant chacune sur deux ressorts hélicoïdaux, logés en partie dans le corps de boîte. Le sous-coussinet est retenu vers l'extérieur par des vis de butée, qui

Fig. 10. — Boîte d'essieu avec pièces détachées.

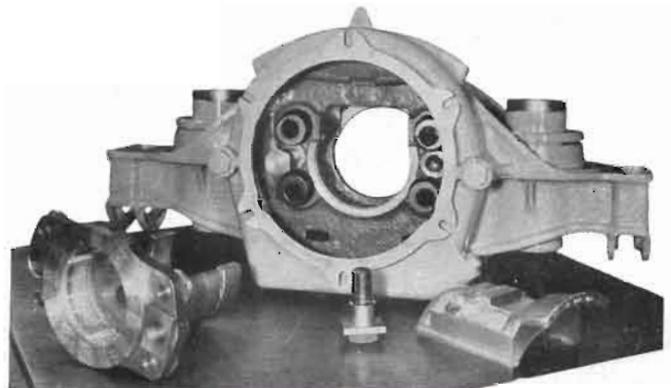
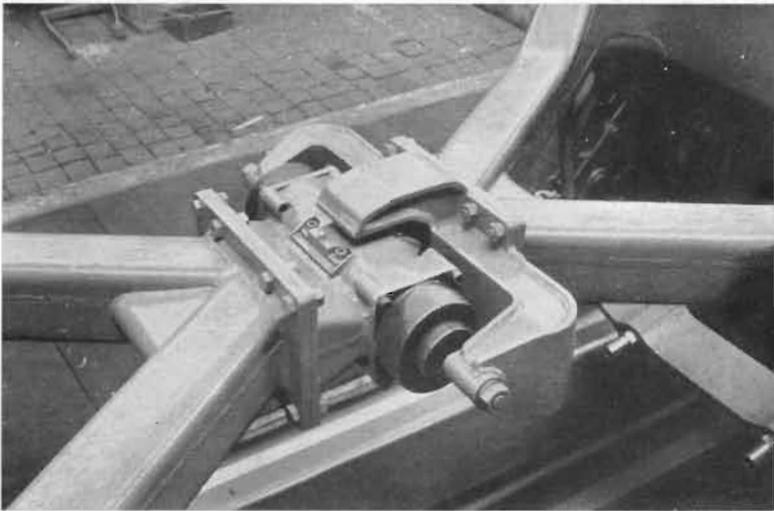


Fig. 11. — Accouplement entre bogies.



limitent l'extension des ressorts et réalisent ainsi l'état de tension initiale de ceux-ci.

Le sous-coussinet ne participe pas à la transmission des charges verticales et peut donc glisser latéralement sans frottement important. Les ressorts de rappel sont disposés symétriquement par rapport à l'axe de l'essieu, de sorte que les efforts latéraux se transmettent de la boîte à l'essieu directement à la hauteur de celui-ci. Le coussinet même reste fixe dans les corps de boîte, les mouvements de dévers de l'essieu étant pris par les "silentbloc" des guides de boîte.

Pour une locomotive BB à adhérence totale, l'utilisation optimum du poids adhérent est d'une grande importance. Dans le cas d'une locomotive avec appareils de choc et de traction fixés à la caisse, l'effort de traction est exercé sur les remorques au niveau du crochet d'attelage. Elle le reçoit des bogies à la hauteur de l'attelage entre caisse et bogies, tandis que ces derniers le reçoivent au niveau du rail. Il en résulte les effets connus de cabrage qui, agissant et sur la caisse et sur les bogies, déchargent d'une part le bogie avant et d'autre part l'essieu avant de chaque bogie. La condition idéale pour une locomotive BB est celle où le cabrage n'agit que sur la caisse, son couple étant compensé uniquement par une décharge du bogie avant et une surcharge équivalente du bogie arrière. Cette condition pourrait être remplie par un attelage entre bogies et caisse dont le point d'attaque idéal se trouverait au niveau du rail. Cette solution n'étant guère réalisable, on peut néanmoins, si cela est jugé nécessaire, appliquer un dispositif anticabrage qui permet d'obtenir un résultat plus ou moins approchant.

Une solution utilisée sur différentes locomotives existantes est un dispositif anticabrage pneumatique qui fait intervenir, entre la caisse et les traverses de tête des bogies, des efforts d'appui supplémentaires fournis par des cylindres à air. Théoriquement, il est même possible de régler la pression d'air dans les cylindres automatiquement en fonction du courant des moteurs de traction.

Pour la nouvelle locomotive BB de vitesse de la S.N.C.F. il a été prévu, plutôt à titre d'essai, un accouplement élastique vertical entre les bogies. La figure 11 montre la disposition de cet accouplement. Pour le calcul de la variation des charges par essieu par suite

de l'effort de traction développé, le problème devient hyperstatique et il est nécessaire de tenir compte des déplacements élastiques verticaux et angulaires des bogies. L'effort vertical d'accouplement est donné par la relation :

$$P = \frac{4 Z h d^2 k_m - 16 Z (H - h) e^2 k_m - 4 (s k_m - P_0) d e^2 k_e}{(4 e^2 (k_e + k_m) + d^2 k_m) d}$$

où les différentes grandeurs sont définies dans la figure 12 ; k_e désigne la rigidité des ressorts de boîtes d'essieux et k_m celle de l'accouplement vertical.

Cet effort P étant ainsi connu, il est ensuite facile de trouver les différentes charges par essieu. Pour la BB SNCF, les résultats pour l'essieu avant sont indiqués dans le diagramme figure 13. Ce diagramme montre qu'avec une tension initiale de 625 kg et un jeu de 5 mm, cet accouplement réduit la décharge de l'essieu avant au démarrage de 2 350 kg à 1 850 kg, soit de 500 kg. Ceci correspond pour la pression d'essieu à une amélioration de quelque 3%.

Outre l'accouplement vertical, la locomotive est munie d'un accouplement latéral entre bogies. Cet accouplement a pour but de diminuer les efforts de guidage et l'usure des boudins des roues directrices.

Fig. 12. — Dessin schématique montrant les efforts et déformations élastiques entre bogies et caisse.

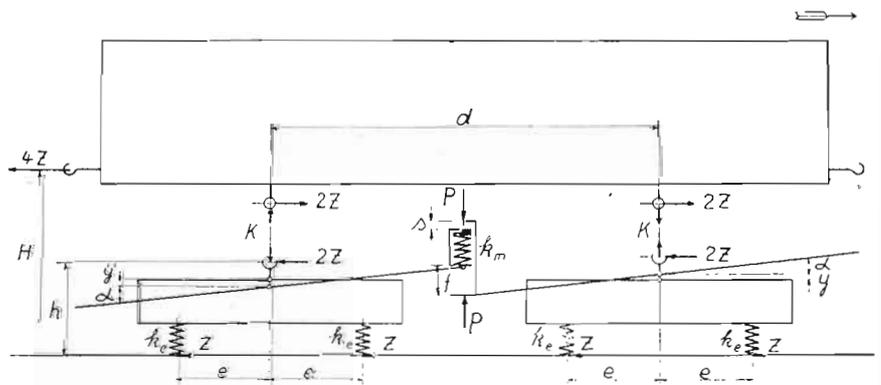
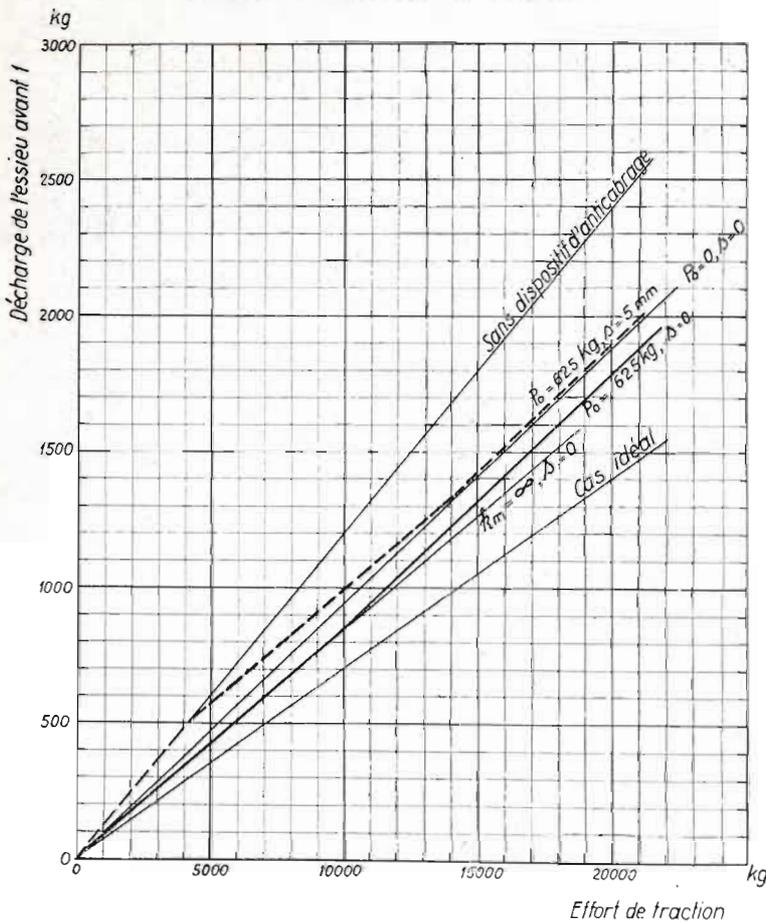


Fig. 13. — Diagramme montrant les réactions sur l'essieu AV avec ou sans dispositif anti-cabrage.



Il est particulièrement utile pour le service sur voies à faibles rayons de courbure. Il n'est pas indispensable pour la locomotive BB décrite ci-dessus, vu que cette machine aura surtout à circuler sur des lignes à grands rayons. Il a cependant été prévu, parce qu'il est combiné avec l'accouplement vertical et n'entraîne de ce fait qu'une très légère complication. S'il s'avère que l'on peut renoncer à ce dernier, il pourra également être laissé de côté.

Commande individuelle.

Les moteurs sont fixés rigidement au châssis des bogies et transmettent leur couple aux essieux par l'intermédiaire de la transmission à disques Brown Boveri. Installée depuis de nombreuses années déjà sur des locomotives de grande puissance en Suisse et en Belgique, cette transmission a fait ses preuves. Ce n'est donc pas un élément nouveau, mais une

construction éprouvée, particulièrement bien adaptée à une locomotive légère à grande vitesse.

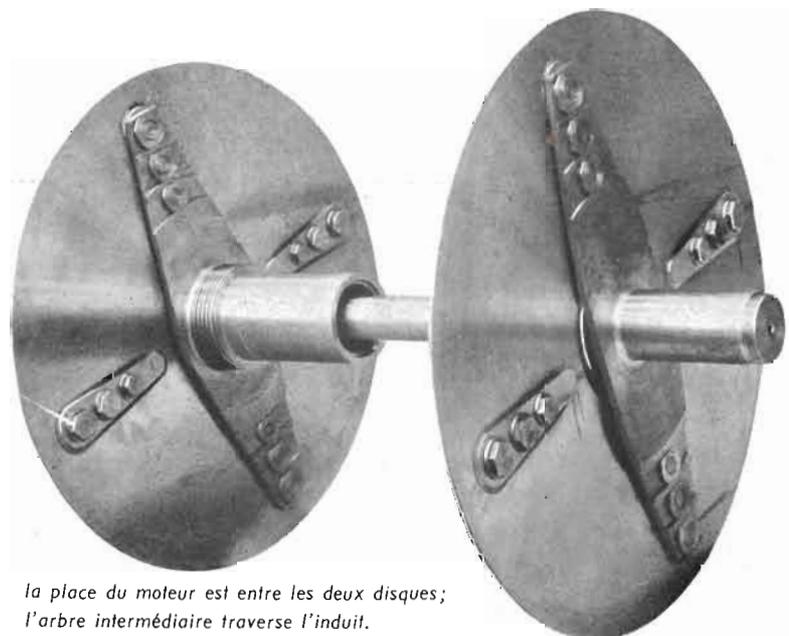
Dans cette transmission, le train d'engrenages est logé dans un carter de construction très rigide, suspendu à la manière d'un moteur de tramway, s'appuyant verticalement sur l'essieu par des paliers à rouleaux montés sur le moyeu de la grande roue dentée. A l'intérieur du bogie il est attaché à la traverse médiane du bogie, par l'intermédiaire d'un support de réaction qui le fixe verticalement et latéralement. A l'extérieur, il est guidé latéralement par un pivot vertical fixé à la traverse du bogie.

La grande roue dentée est emmanchée à force sur l'essieu, tandis que le pignon est fixé dans le carter par des paliers à rouleaux.

Les mouvements relatifs entre l'axe du pignon et l'axe du moteur sont réduits approximativement au tiers des déplacements de l'essieu. Ils sont pris par un cardan formé de deux disques élastiques en acier, reliés par un arbre de torsion intermédiaire. Ce dispositif, qui forme l'élément élastique de la transmission à disques Brown Boveri, est placé de chaque

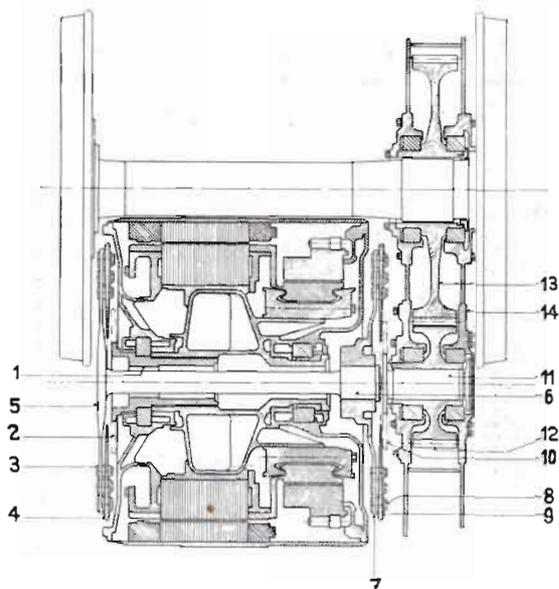
côté du moteur et aussi, en partie, à l'intérieur de celui-ci.

Fig. 14. — Transmission à disques complète.



la place du moteur est entre les deux disques; l'arbre intermédiaire traverse l'induit.

Fig. 15. — Dessin schématique de la transmission à disques Brown Boveri.



La figure 15 montre schématiquement la construction de la transmission à disques : le manchon (1) est fixé dans le corps d'induit et porte un « entraîneur » (2) auquel est fixé le premier disque (4) par 6 boulons (3). Un second entraîneur (5) décalé de 90° par rapport au premier, fixé d'une manière analogue sur l'autre côté du disque, transmet le couple du moteur à l'arbre intermédiaire (6) passant à travers l'induit. Deux entraîneurs (7 et 10) et un deuxième disque (9) disposés d'une manière analogue de l'autre côté du moteur transmettent le couple au bout d'arbre (11) solidaire de l'entraîneur (10) et portant le pignon du train d'engrenages (12, 13).

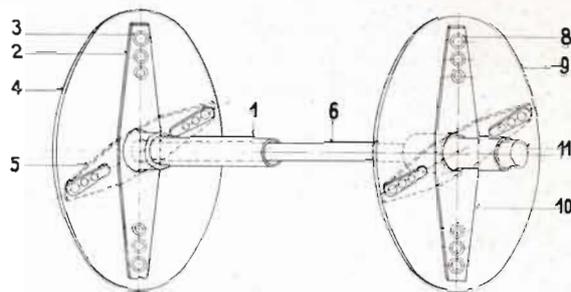
Cette construction extrêmement simple a le très grand avantage de permettre la transmission du couple moteur à l'essieu sans qu'aucune pièce ne soit soumise à l'usure. Seule l'élasticité de l'acier entre en jeu pour permettre les déplacements relatifs entre l'essieu et le moteur.

On fera encore les remarques suivantes :

— Tout le dispositif élastique est placé avant le train d'engrenage, de telle sorte que le couple à transmettre est plus faible que s'il était placé entre la grande roue dentée et l'essieu. Il en résulte une construction relativement légère.

— L'arbre reliant les deux disques élastiques et traversant l'induit du moteur n'est soumis qu'à la torsion et non à la flexion. Il est donc possible de réduire sensiblement son diamètre. D'autre part, son élasticité donne une certaine souplesse à la transmission dans le sens de la rotation.

La figure 16 montre un train de roues avec réducteur monté, tel qu'il est livré

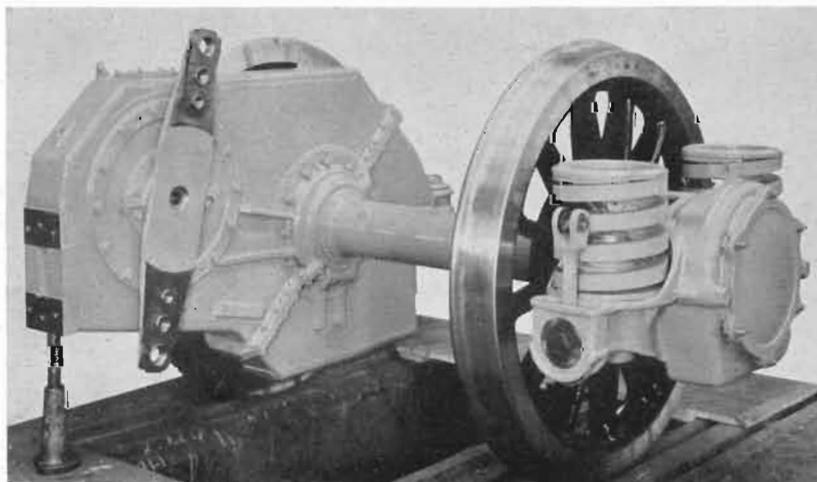


par la S.L.M. Il est intéressant de suivre les mouvements relatifs entre essieu et bogie. Transversalement, l'essieu peut se déplacer dans le carter librement, ce dernier étant tenu en place par les deux supports de fixation et de guidage. A cet effet, les roulements à rouleaux cylindriques pour la tenue du carter sont munis de bagues extérieures lisses et élargies, afin de permettre aux galets de roulement de se déplacer suivant la position de l'essieu. Verticalement, le carter suit les mouvements de l'essieu. Pour cela, il pivote autour de son support de fixation intérieur et coulisse sur son guide extérieur. Support et guide sont munis de "silentbloc" appropriés, dont les centres se trouvent dans le plan horizontal de l'essieu. Cette disposition permet au carter de **suivre les dévers** de l'essieu en pivotant dans les "silentbloc". Une attention particulière a été portée au graissage de l'engrenage et des roulements. L'huile de graissage est transportée par barbotage dans des poches de décantation logées à l'intérieur du carter. De là, elle est amenée par des canaux aux roulements, dont le graissage, dès le départ, même après des arrêts prolongés de la machine, est assuré par des masques appropriés de retenue d'huile.

Contre les fuites d'huile, les joints sont munis de chicanes de retenue et de conduites de renvoi, ce qui permet d'obtenir une étanchéité parfaite.

Cette transmission élastique ne demande ni graissage ni entretien. Seul, un contrôle périodique du niveau de l'huile dans le carter d'engrenage est nécessaire.

Fig. 16. — Train de roues avec réducteur monté.



Freins.

Chaque bogie est muni d'un frein à 8 sabots doubles ; la timonerie du bogie est liée à celle de la caisse par un régulateur automatique de timonerie, type SAB, permettant de rattraper l'usure des sabots et partiellement celle des bandages. Par bogie, il est prévu un cylindre de frein différentiel exerçant aux vitesses supérieures à 80 km/h un effort de freinage de 120% du poids adhérent. Au-dessous de cette vitesse, un dispositif automatique ramène le freinage effectif à 80% par mise en action de la deuxième surface du cylindre différentiel. Dans chaque poste de conduite est disposé un frein à main agissant sur le bogie voisin.

Le frein à air comprend un frein Westinghouse automatique et un frein direct. Les appareils de commande du frein des postes de conduite sont centralisés dans les « blocs-freins ». Les autres appareils, excepté les compresseurs et leurs accessoires, sont groupés sur un tableau de frein logé dans le compartiment de la caisse.

Caisse et châssis de caisse.

La caisse comporte les deux cabines de conduite ainsi que le compartiment central. Dans ce dernier, sont disposés l'équipement électrique et les appareils et groupes auxiliaires. Les deux postes de conduite sont reliés par des couloirs latéraux donnant en même temps accès aux appareils électriques.

Le châssis de caisse est constitué par les deux longerons de section tubulaire rectangulaire, par les traverses de tête, par les traverses intermédiaires et le tablier. Les longerons, constitués par des tôles de 6 mm, ont un moment d'inertie important, et étant placés approximativement à la hauteur des appareils de choc et de traction, ils sont aptes à prendre directement la plus grande partie des efforts transmis par ces appareils. Châssis de caisse et caisse forment un ensemble auto-portant. De chaque côté, la partie active de la caisse est constituée : en haut par l'arrondi du toit, exécuté en tôle de 3 mm et complété d'une forte cornière formant gouttière, au milieu par les tôles des parois latérales et en bas par les longerons du

châssis. Le tablier, constitué par des tôles de 3 mm, sert à entrecroiser le châssis de caisse. Il s'élève, aux extrémités du compartiment central, en un bâti formant support pour les différents groupes auxiliaires et laisse libre, en dessous, l'espace nécessaire aux moteurs de traction montés dans le bogie. Ce bâti comporte en même temps les canaux d'air pour la ventilation des moteurs et des résistances.

Le tout est assemblé par soudure électrique et, entrecroisé par les cloisons des cabines, les cintres de toiture et les montants des parois latérales, forme une poutre tubulaire à revêtement travaillant, à la fois légère et résistante, exempte de toute déformation permanente.

Après achèvement en chaudronnerie, la première caisse a été soumise à des essais statiques afin de vérifier son comportement au levage en cas de déraillement.

La figure 17 montre la caisse chargée lors de ces essais. Les mesures effectuées ont montré qu'après certaines retouches apportées aux parois, les taux maxima de travail se tiennent dans l'ordre de grandeur fixé par le cahier des charges. Ces essais ont en outre permis de constater qu'en service normal la caisse n'est soumise qu'à de faibles taux de travail.

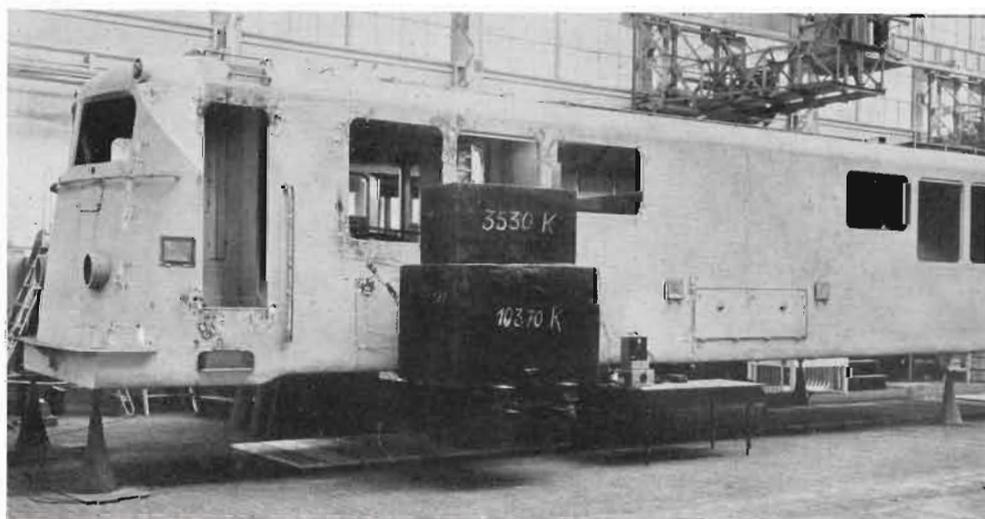
Pour le montage du bloc central et des groupes ventilateurs, la toiture est munie de 3 lanterneaux démontables. En outre, les groupes moteur-compresseur ainsi que les moteurs de ventilation peuvent être sortis latéralement après démontage de l'une ou l'autre des persiennes. Afin de diminuer le poids, il a été fait emploi de tôles et profilés en alliage léger pour les éléments non portants. Le poids total de la caisse avec son châssis, sans l'appareillage électrique, est de 14 300 kg.

Cabine de conduite.

L'accès au poste de conduite est assuré par deux portes latérales munies de fenêtres coulissantes. Le poste de conduite est prévu pour conduite debout. Il comporte à gauche le bloc-frein et l'indicateur de vitesse, ainsi que le manipulateur pour la commande de l'équipement. En avant du manipulateur sont placés les instruments de mesure et ceux nécessaires à la commande des auxiliaires. La commande des sablières et des valves de purge se fait au pied. La partie droite du poste est aménagée pour le chef de train.

La disposition des cabines de conduite a été étudiée avec soin afin d'obtenir une visibilité étendue et d'assurer au personnel les commodités nécessaires.

Fig. 17. — Caisse terminée en chaudronnerie lors des essais sous charge.

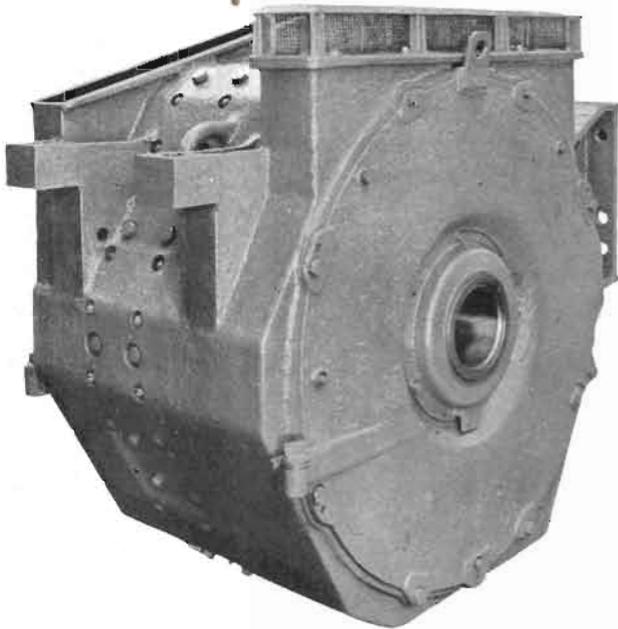


PARTIE ÉLECTRIQUE

Moteurs de traction.

Les 4 moteurs de traction (Fig. 18) entièrement suspendus sont des moteurs du type série à 6 pôles principaux et 6 pôles auxiliaires. Ils sont entièrement compensés et construits pour une tension aux bornes de 1 500 volts. Ils peuvent donc être couplés soit en série-parallèle, c'est-à-dire deux branches de deux moteurs en série, soit tous les 4 en parallèle. Ils fonctionnent parfaitement jusqu'à une tension aux bornes de 1 800 volts.

Fig. 18. — Moteur de traction.



Les caractéristiques de puissance de ces moteurs sont les suivantes :

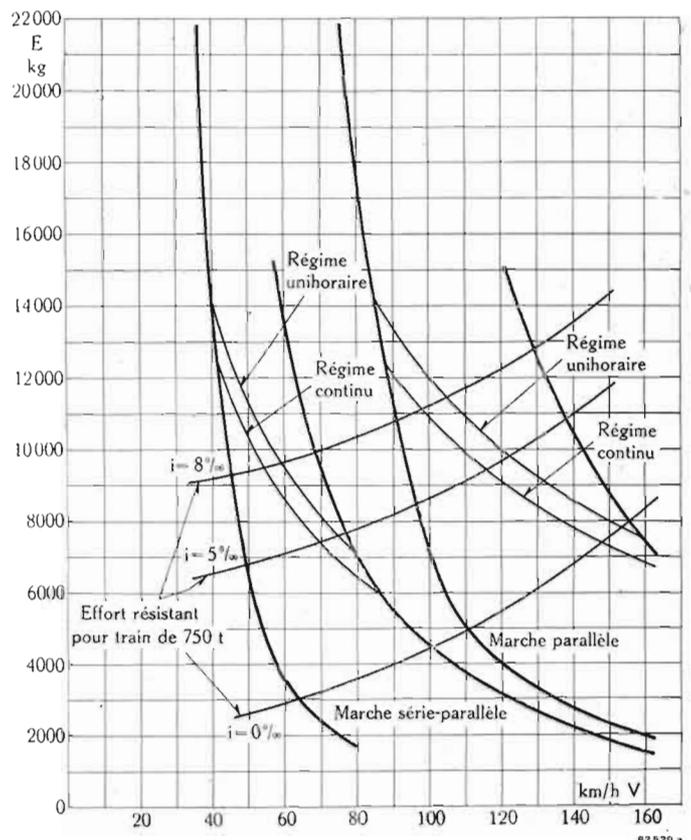
	Régime	Puissance à l'arbre d'un moteur ch	Intensité par moteur A
Sous 1 350 V...	continu	920	525
	unihoraire	1 022,5	580
Sous 1 500 V...	continu	1 042,5	525
	unihoraire	1 150	580

Le diagramme de la figure 19 donne les caractéristiques effort-vitesse de la locomotive sous 1 500 volts et avec des roues à bandage mi-usé. Il ressort de ces caractéristiques que la vitesse peut être réglée, en couplage série-parallèle ou parallèle entre de larges limites grâce à un taux de shuntage élevé, allant jusqu'à 76%. Cela donne une grande souplesse à la marche de la locomotive. Le « coefficient de souplesse » qui est le rapport de la vitesse à champ minimum à celle à champ maximum, pour le régime continu,

est de 2. Enfin, grâce à ce shuntage très poussé, l'effort à la jante de la locomotive est encore de 7 400 kg à la vitesse de 160 km/h, ce qui est particulièrement avantageux pour une locomotive devant remorquer des trains rapides et lourds. On a porté également sur ce diagramme les courbes de l'effort résistant pour un train de 750 t remorquées, en palier et sur une rampe de 8 ‰. La locomotive permet de remorquer un tel train en palier à la vitesse de 147 km/h sans dépasser le régime continu, tandis que sur 8 ‰ la vitesse est encore de 104 km/h tout en restant dans la zone du régime unihoraire. En couplage série-parallèle, il est possible de remorquer des trains lourds et lents; par exemple un train de 1 200 t peut être remorqué, en palier, à 87 km/h en régime continu. En couplage parallèle, ce même train peut atteindre une vitesse réglable entre 100 et 130 km/h sans sortir du régime unihoraire.

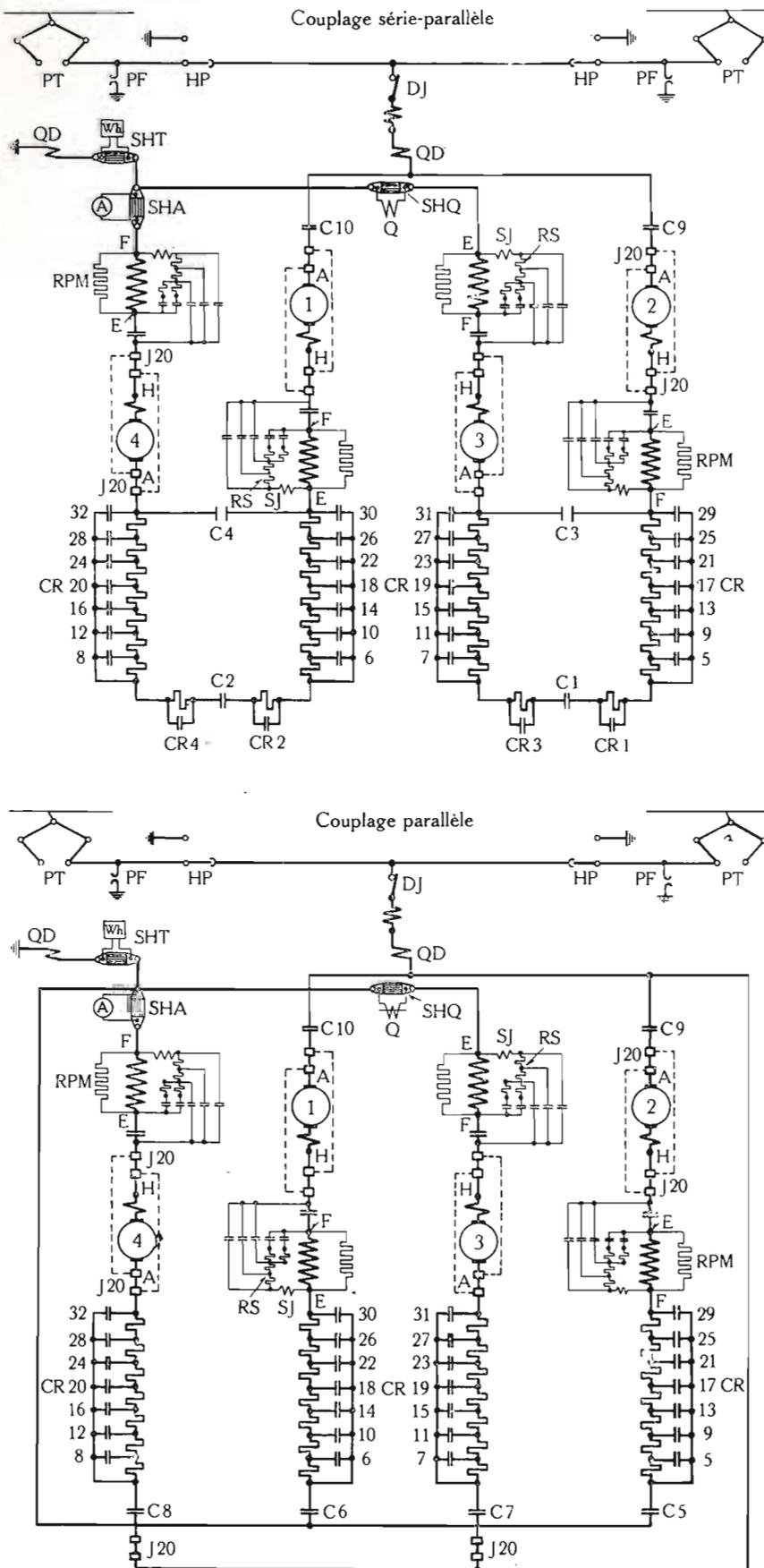
Le couplage série (4 moteurs en série) a été intentionnellement supprimé pour simplifier autant que possible l'appareillage. Un tel couplage, utilisable seulement pour de faibles vitesses, n'est du reste pas indispensable pour une locomotive spécifiquement rapide.

Fig. 19. — Courbes caractéristiques effort-vitesse.



Le diagramme est établi pour une tension à la ligne de tension de 1 500 V et un diamètre des bandages de 1 260 mm.

Fig. 20. — Circuit de puissance.



La vitesse maximum en service normal est de 140 km/h ; une vitesse de 160 km/h peut toutefois être soutenue sans dommage pour les moteurs, pendant plusieurs heures. Un changement du rapport d'engrenages permettrait, cependant, d'augmenter encore la vitesse maximum en service normal.

La construction des moteurs de traction (voir Fig. 18), tout en étant des plus robustes, est telle que ceux-ci ont un poids relativement faible par rapport à leur puissance. Un moteur pèse, sans transmission ni engrenage, 4 860 kg, ce qui correspond, à la puissance unihoraire définie à 1 500 volts, selon les nouvelles prescriptions de la S.N.C.F., à 4,35 kg par ch.

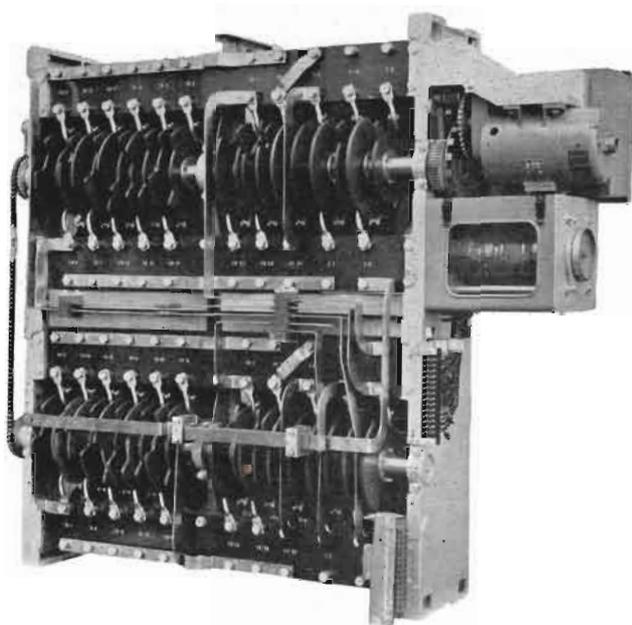
Le corps de l'induit, en acier moulé, est creux afin de laisser passer l'arbre intermédiaire de la transmission à disques Brown Boveri, décrite plus haut. Il est supporté par deux paliers à rouleaux largement dimensionnés, lubrifiés à l'huile. La partie active de l'induit porte un enroulement imbriqué, isolé au mica et à la soie, et relié à un collecteur de construction particulièrement robuste.

La carcasse en acier moulé porte 6 pôles principaux et 6 pôles auxiliaires. Les épanouissements polaires supportent l'enroulement de compensation calé et fixé très solidement. Les 6 porte-balais, avec chacun deux balais sont montés sur une couronne mobile, bloquée dans sa position de service, mais qui peut être facilement tournée pour la visite et le remplacement des balais.

Appareillage.

Les pantographes, le disjoncteur principal et leurs accessoires ainsi que divers autres appareils sont des appareils normalisés de la S.N.C.F. identiques à ceux utilisés sur les autres locomotives françaises.

Fig. 21. — Contrôleur de démarrage, vu du côté des arbres à cames.



Les appareils principaux de couplage ont été groupés au centre de la locomotive en un « bloc central » comprenant notamment :

— Un contrôleur principal, formé de 42 contacteurs manœuvrés par des arbres à cames, lesquels sont entraînés par un servo-moteur électrique (Fig. 21). Cet appareil permet l'élimination des résistances de démarrage et le couplage des moteurs en série-parallèle, puis en parallèle. Le passage d'un couplage à l'autre se fait par la méthode du pont, c'est-à-dire qu'il ne se produit pas de chute de l'effort de traction pendant cette manœuvre.

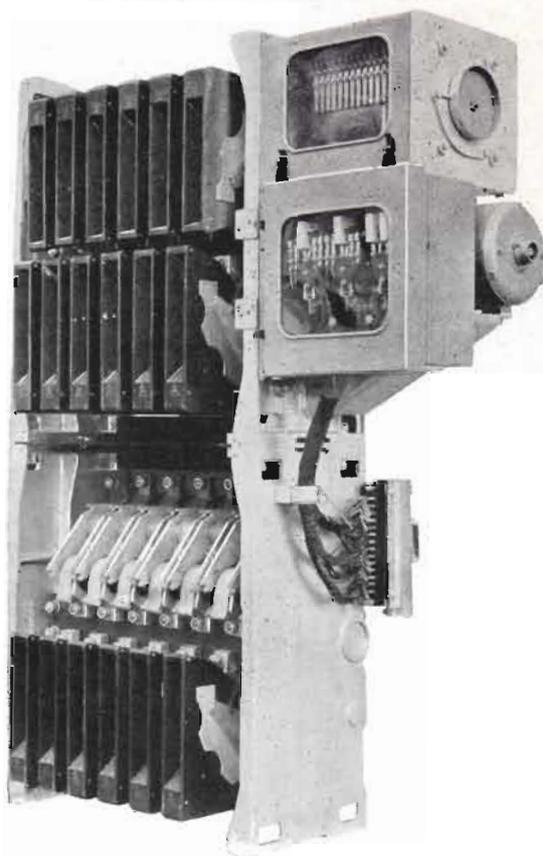
En couplage série-parallèle, les résistances sont éliminées en 20 crans, tous équilibrés à partir du septième, tandis qu'en couplage parallèle, l'élimination se fait en 8 crans, également tous équilibrés. A part les 7 premiers crans, il n'y a pas de positions du contrôleur pour lesquelles les moteurs de traction développent des efforts de traction différents les uns des autres.

— Un contrôleur d'affaiblissement de champ à 9 positions (Fig. 22), composé de 24 contacteurs manœuvrés également par arbres à cames, entraînés par un servo-moteur électrique. Le shuntage des moteurs de traction est réalisé par la mise en parallèle, avec les enroulements de champ, de résistances en série avec des shunts inductifs. Comme pour l'élimination des résistances, l'affaiblissement de champ ne comporte pas de cran déséquilibré.

Grâce aux deux appareils précédents, la locomotive possède 28 crans de démarrage et 18 crans de marche économique.

La construction même des contacteurs à cames a été spécialement étudiée pour en réduire le poids et en faciliter l'entretien. La visite des contacts principaux et des cheminées pare-étincelles se fait depuis les couloirs latéraux de la locomotive. Chaque élément peut être aisément démonté en enlevant deux vis

Fig. 22. — Contrôleur d'affaiblissement de champ, vu du côté des cheminées pare-étincelles.



servant à la fois de fixation et de borne. Les contacts de chaque élément sont fermés par l'action de ressorts et ouverts par une came agissant sur un levier. Les cheminées pare-étincelles comportent un certain nombre de chicanes provoquant un allongement de l'arc et contribuant à l'extinction rapide de celui-ci. Chaque contrôleur est formé de 4 rangées superposées de contacteurs commandés par deux arbres à cames reliés entre eux par une chaîne. Les arbres à cames de chaque contrôleur sont entraînés par un servo-moteur électrique à 72 volts et par l'intermédiaire d'un dispositif mécanique bloquant le contrôleur à chaque cran. Les servo-moteurs sont commandés par un jeu de 3 relais disposés à proximité immédiate des contrôleurs. Les dispositifs de commande et les relais sont identiques pour les deux contrôleurs : les différentes pièces de ces dispositifs sont donc interchangeableables. Les relais, en particulier, sont munis de broches et peuvent être aisément remplacés.

Le bloc central comporte encore :

— Un inverseur-sectionneur pour le changement du sens de marche de la locomotive et pour l'élimination éventuelle de deux moteurs de traction en cas d'avarie. Cet appareil est composé d'une série de robustes doigts de contact appuyant sur deux tambours actionnés par un servo-moteur électro-pneumatique. L'élimination d'un groupe de deux moteurs se fait à la main en bloquant l'un des deux tambours sur une position d'élimination.

— Un jeu de résistances de démarrage en rubans ondulés en chrome-nickel. Ces rubans sont tendus sur des isolateurs fixés dans des cadres en fers profilés. Tous ces cadres placés les uns sur les autres forment un double caisson aux parois étanches et doublement isolé. Ces caissons placés verticalement forment deux canaux dans lesquels passe l'air de refroidissement des résistances. Celles-ci peuvent sans dommage supporter des températures allant jusqu'à 600° C. Elles sont calculées pour pouvoir rester en service en permanence.

Tous les appareils compris dans le bloc central reposent sur un fort châssis en acier et sont entourés de grillages de protection amovibles. Le châssis est muni de 4 crochets de suspension, si bien que le bloc complet peut être sorti sans difficulté par une trappe du toit de la locomotive. La figure 23 montre la mise en place du bloc central dans la locomotive.

Toutes les connexions entre les contrôleurs, l'inverseur du sens de marche et les résistances de démarrage et de shuntage font partie du bloc et n'ont pas besoin d'être démontées pour sortir le bloc de la locomotive. Ces connexions sont exécutées en barres de cuivre.

Électriquement, les appareils du bloc central sont reliés au reste de la locomotive par les câbles principaux allant aux moteurs de traction, l'amenée du courant à partir du disjoncteur principal et les câbles de retour de courant aux balais de mise à la terre. Enfin, trois accouplements multiples permettent la connexion ou la déconnexion rapide de tous les circuits de commande basse tension des appareils montés dans le bloc central.

L'appareillage de commande comporte, dans chaque

Fig. 23. — Mise en place du bloc central dans la locomotive.

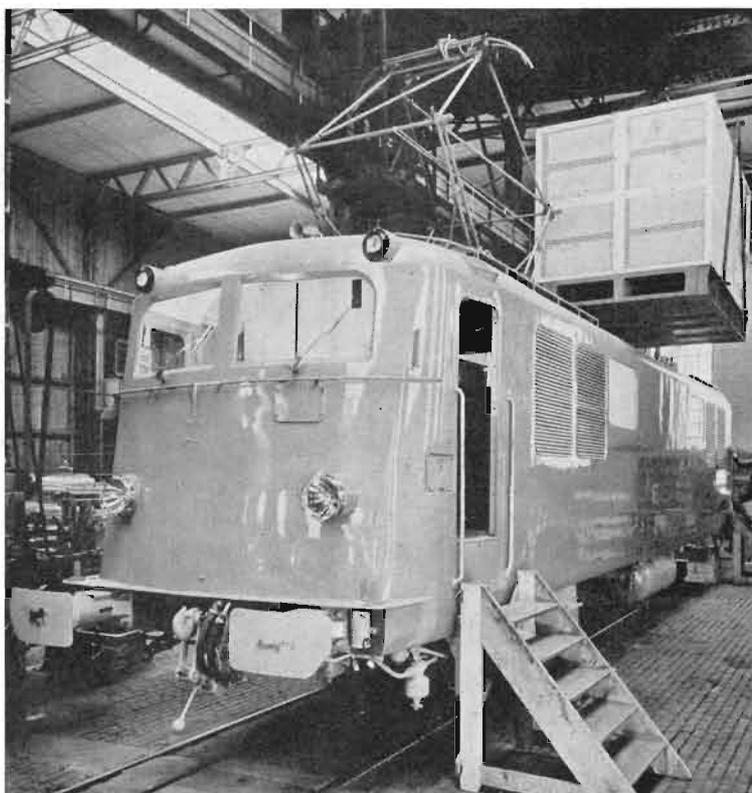
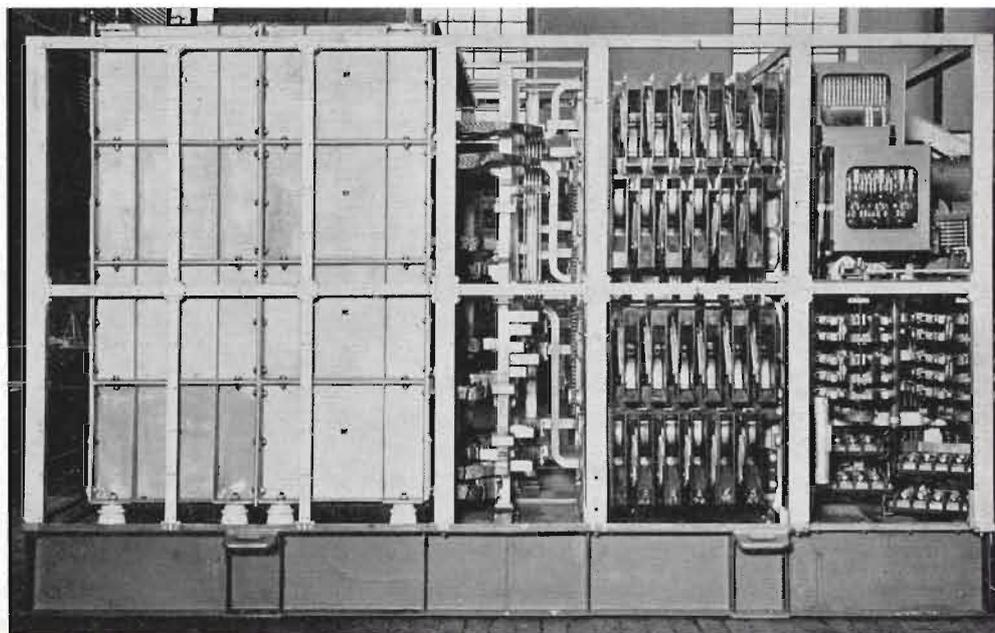


Fig. 24. — Bloc central prêt à être mis en place.

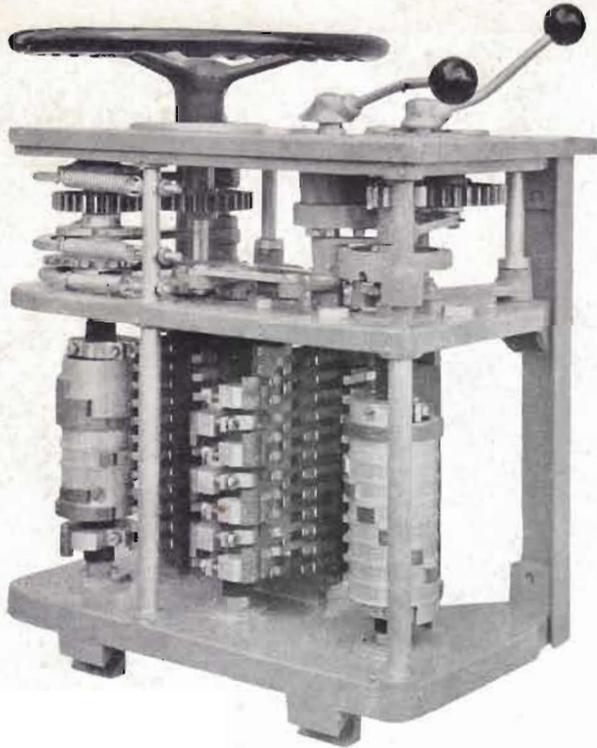


cabine, un manipulateur muni d'un volant pour la commande du contrôleur de démarrage et de deux poignées, l'une pour la commande de l'inverseur du sens de marche, l'autre pour la commande du contrôleur de shuntage (Fig. 25). La poignée de l'inverseur est amovible dans sa position zéro. Lorsqu'elle est enlevée, le manipulateur est bloqué sur sa position zéro. Le volant possède en dehors de la position zéro deux positions bien marquées :

« série-parallèle » (SP) et « parallèle (P). De chacune de ces positions fondamentales, il est possible de déplacer le volant, dans un sens vers une position « d'avance cran par cran » (marquée +) ou une position « d'avance rapide » (marquée r), dans l'autre sens vers une position de « régression » (marquée -).

Pour démarrer on avance avec le volant de la position zéro à la position SP+; le contrôleur de démarrage avance alors d'un cran. On laisse ensuite revenir le volant à SP (sous l'effet d'un

Fig. 25. — Manipulateur.



ressort de rappel) puis on avance encore une fois à SP+, on passe alors au cran suivant et ainsi de suite jusqu'au vingtième cran, fin du couplage série-parallèle plein champ. De même, en manœuvrant le volant entre P et P+ on passe par les 8 crans du couplage parallèle. Pour revenir en arrière, on n'a qu'à placer le volant sur une des positions de régression P— ou SP—. La régression se fait d'une manière continue et non pas cran par cran.

Les positions d'avance rapide SP_r et Pr permettent de passer rapidement les crans de démarrage, par exemple lors de reprises en pleine vitesse. Le contrôleur de démarrage avance alors non plus cran par cran mais sans interruption jusqu'au moment où l'on revient à une des positions fondamentales SP ou P. Sur ces positions « rapides », cependant, l'élimination des résistances est suspendue automatiquement dès que le courant des moteurs de traction atteint une valeur trop élevée. La poignée pour la commande du contrôleur de shuntage peut être manœuvrée dès que les résistances sont éliminées, soit en couplage série-parallèle, soit en couplage parallèle; elle revient automatiquement à sa position N (normal, c'est-à-dire plein champ), lorsqu'on manœuvre le volant.

Un renvoi mécanique indique en permanence au conducteur, sur un cadran placé à côté du manipulateur, la position du contrôleur de démarrage. Ce même renvoi permet la commande de secours à main du contrôleur, au moyen d'un volant ad hoc, que l'on place alors devant le conducteur.

L'appareillage est complété par l'équipement usuel de protection, de mesure, de chauffage des cabines et du train, d'éclairage, etc.

Divers contacteurs, relais et fusibles commandent et protègent les circuits des services auxiliaires.

Sur une locomotive du type BB d'une puissance de 4 000 ch et plus et ayant un poids par essieu de 20 tonnes au maximum, on atteint, en période de démarrage surtout, la limite de l'adhérence. Un dispositif anti-patinage est donc indispensable. Pour cela, les locomotives 9001 et 9002 sont équipées d'un

frein anti-patinage Brown Boveri. Il s'agit d'un dispositif permettant d'appliquer légèrement les sabots de frein aux roues de la locomotive, empêchant ainsi l'emballement des essieux. Ce dispositif agit extrêmement rapidement et est commandé par un bouton-poussoir placé sur le pupitre du mécanicien. Dès que le conducteur remarque, au démarrage ou en vitesse, que la locomotive a tendance à patiner, il lui suffit d'appuyer momentanément sur le bouton-poussoir pour enrayer le patinage. Ce dispositif a été appliqué avec le plus grand succès sur de nombreuses locomotives modernes et permet de supprimer pour ainsi dire la consommation de sable.

La ventilation, très énergique, est fournie par deux groupes-ventilateurs entraînés par des moteurs à demi-tension branchés en série. Le courant de ces groupes est utilisé pour la charge de la batterie au cadmium-nickel, de 72 volts, alimentant les circuits de contrôle et d'éclairage. Chaque groupe est muni de deux ventilateurs qui aspirent l'air extérieur par des jalousies disposées dans les parois latérales de la caisse. Après avoir traversé une chambre de décanation, l'air est amené aux ventilateurs par une canalisation dans laquelle sont disposés les shunts inductifs. Un des ventilateurs débitant environ 4 m³/s fournit l'air nécessaire au refroidissement des deux moteurs de traction placés dans le bogie se trouvant juste au-dessous du groupe; l'autre, débitant environ 4,5 m³/s fournit la moitié de l'air nécessaire au refroidissement des résistances de démarrage. Cet air est amené au bloc central par de courtes canalisations qui aboutissent sous les deux caissons de résistances. L'air est refoulé à travers les résistances et s'échappe par le toit de la locomotive. La caisse de la locomotive est mise sous une légère pression afin d'éviter les entrées de poussière.

L'air comprimé est fourni par deux groupes compresseurs, entraînés par des moteurs à 1 500 volts commandés directement ou automatiquement par un régulateur de pression.

On remarquera qu'il n'y a, en tout, dans la locomotive, que 4 moteurs de groupes auxiliaires, dont deux à demi-tension seulement.

Avec ces deux locomotives N^{os} 9001 et 9002, la S.N.C.F. possède des machines modernes particulièrement bien adaptées à la remorque de trains rapides desservant à partir de Paris les grandes villes françaises.

Les constructeurs suisses de ces deux prototypes ont mis à la base de leurs études leur longue expérience dans la construction de locomotives et ont fait profiter ces machines de tous les progrès réalisés ces dernières années dans le domaine de la traction électrique. Il faut également relever la fructueuse collaboration avec les Services d'études de la S.N.C.F.

Il faut espérer que ces nouvelles locomotives donneront entière satisfaction à la S.N.C.F. et lui permettront, par la suite, de les faire construire en série **par l'industrie française.**

DUNOD Editeur - Paris, pour le texte
LECRAM Imprimeur - Paris, pour la couverture

