

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 77 (1951)
Heft: 12

Artikel: Les voitures des Chemins de fer fédéraux montées sur pneumatiques "Michelin"
Autor: Guignard, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-58152>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les quinze jours

Abonnements :

Suisse : 1 an, 24 francs
Etranger : 28 francs
Pour sociétaires :
Suisse : 1 an, 20 francs
Etranger : 25 francs
Pour les abonnements
s'adresser à :
Administration
du « Bulletin technique
de la Suisse romande »,
Case postale Riponne 21,
Lausanne
Compte de chèques pos-
taux II. 5775, à Lausanne
Prix du numéro : Fr. 1,40

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

Comité de patronage — Président: R. Neeser, ingénieur, à Genève; Vice-président: G. Epitoux, archi-
tecte, à Lausanne; Secrétaire: J. Calame, ingénieur, à Genève — Membres, Fribourg: MM. P. Joye,
professeur; E. Lateltin, architecte — Vaud: MM. F. Chenaux, ingénieur; E. d'Okolski, architecte;
A. Paris, ingénieur; Ch. Thévenaz, architecte — Genève: MM. L. Archinard, ingénieur; Cl. Grosgrin,
architecte; E. Martin, architecte; V. Rochat, ingénieur — Neuchâtel: MM. J. Béguin, architecte;
G. Furter, ingénieur; R. Guye, ingénieur — Valais: MM. J. Dubuis, ingénieur; D. Burgener, architecte.

Rédaction: D. Bonnard, ingénieur. Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Conseil d'administration de la Société anonyme du Bulletin Technique: A. Stucky, ingénieur, président;
M. Bridel; G. Epitoux, architecte; R. Neeser, ingénieur.

Tarif des annonces

Le millimètre
(larg. 47 mm) 20 cts
Réclames: 60 cts le mm
(largeur 95 mm)

Rabais pour annonces
répétées

Annonces Suisses S.A.



5, Rue Centrale Tél. 22 33 28
Lausanne et succursales

SOMMAIRE : *Les voitures des C. F. F. montées sur pneumatiques « Michelin »*, par R. GUIGNARD, ing. dipl., Berne. — *Le barrage de Shasta en Californie*, par R. WALTHER, ingénieur civil. — Société suisse des ingénieurs et des architectes : *Extrait des procès-verbaux du Comité central.* — BIBLIOGRAPHIE. — LES CONGRÈS : *Huitième cours supérieur de photogrammétrie à Zurich.* — CARNET DES CONCOURS. — SERVICE DE PLACEMENT. — NOUVEAUTÉS, INFORMATION DIVERSES.

LES VOITURES DES CHEMINS DE FER FÉDÉRAUX MONTÉES SUR PNEUMATIQUES « MICHELIN »

par R. GUIGNARD, Ing. dipl., Berne

1. Introduction

Il y a un peu plus de vingt ans que les dirigeants de la Maison Michelin & C^{ie} demandaient à leurs services techniques d'étudier l'adaptation du pneu au rail. Le problème sembla, à cette époque, à peu près insoluble car le matériel roulant des chemins de fer est très lourd et la très faible largeur du rail limite singulièrement la charge que peut porter un pneu. Aussi, l'ingénieur chargé de résoudre ce problème déclara-t-il que faire rouler un pneu chargé sur un rail, c'était prétendre marcher pieds nus sur une lame de couteau.

Cependant, après de longues études et de nombreux essais, on pouvait inaugurer, en mars 1932, le premier service régulier assuré par un autorail de 24 places, dénommé « Michelin », sur le réseau de l'Est des Chemins de fer français. Depuis lors, de nombreux engins du même genre, mais de capacité toujours plus élevée, firent successivement leur apparition. Le dernier modèle, mis en service en 1937, était un véhicule équipé avec trois bogies de quatre essieux chacun et capable de transporter 100 voyageurs.

La preuve était donc faite que le pneumatique pouvait tenir sur le rail comme il avait tenu sur la route. L'expérience acquise avec les autorails montés sur pneumatiques avait permis de se rendre compte de l'accroissement de confort procuré par l'emploi du pneu gonflé à l'air comme organe de roulement d'un véhicule de chemin de fer transportant des voyageurs. L'augmentation de confort résulte essentiellement de la diminution du bruit. En effet, dans une voiture

ordinaire de chemin de fer, le bruit produit par le roulement des bandages métalliques et le passage sur les joints de rail est l'une des principales causes de fatigue du voyageur, surtout en été, lorsque les fenêtres sont ouvertes. L'utilisation du pneu-rail permet donc de construire des véhicules silencieux.

Jusqu'à la guerre, les applications du pneu-rail avaient été limitées aux autorails parce que les études étaient plus faciles à poursuivre sur un véhicule circulant isolément par ses propres moyens que sur un véhicule remorqué inclus dans un train. Il paraissait dès lors intéressant de faire bénéficier du confort dû au pneumatique des voitures à voyageurs destinées à former des trains pour assurer des relations rapides de choix.

En 1939, la Maison Michelin proposa donc de construire de véritables trains sur pneus. La S. N. C. F. s'intéressa immédiatement à ce projet dont la réalisation fut cependant entravée par les événements internationaux qui survinrent à cette époque. Pendant toute la durée de la deuxième guerre mondiale, les études furent néanmoins poursuivies de telle manière que le projet d'une rame sur pneus pouvait être exécuté dès que les conditions économiques et matérielles le permettraient. C'est ainsi que la S. N. C. F. commanda, au début de 1947, trois rames formées chacune de six voitures montées sur pneumatiques.

Chaque voiture est équipée avec deux bogies à cinq essieux chacun. En ce qui concerne la construction de la charpente des voitures, on a fait appel à trois techniques mettant

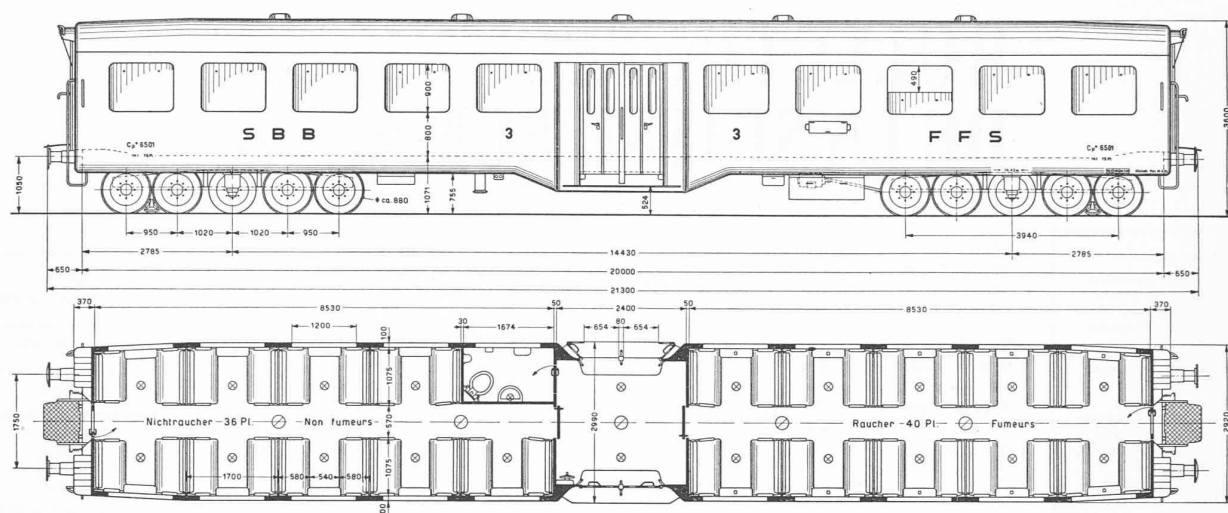


Fig. 1. — Diagramme de la voiture de 3^e classe Cp4 ü 6501, tare 14,2 t, 76 places.

en œuvre des matériaux différents, à savoir : l'acier inoxydable, les alliages légers et l'acier doux ordinaire. Ces trois rames, mises en service au cours de l'année 1949, assurent un service de trains rapides sur la ligne Paris-Strasbourg à la vitesse commerciale de 100 km/h.

En 1938 déjà, les C. F. F. s'étaient vivement intéressés aux créations de la Maison Michelin. Lors d'une course de démonstration, effectuée par une automotrice électrique montée sur pneus, en octobre 1938, les délégués de la Direction générale avaient été frappés par le roulement silencieux et les courts chemins de freinage de ce nouveau véhicule. Les organes techniques des C. F. F. engagèrent alors des pourparlers avec la Fabrique suisse de wagons et d'ascenseurs S. A. à Schlieren et la Maison Michelin pour l'étude et la construction de voitures spéciales montées sur pneus. Ces études, interrompues par la deuxième guerre mondiale, ne purent reprendre qu'en 1946. Le 20 décembre 1947, la Direction générale approuve les projets qui lui sont présentés et signe la commande de deux voitures d'essai, l'une de 3^e classe, Cp 4 ü 6501, avec ossature de caisse en acier doux ordinaire, à la Fabrique suisse de wagons et d'ascenseurs S. A. à Schlieren, l'autre de 2^e classe, Bp 4 ü 2501, avec ossature de caisse en alliages d'aluminium, à la Société industrielle suisse à Neuhausen. Les deux voitures seront équipées avec deux bogies à cinq essieux, identiques à ceux des voitures des rames françaises, et fournis par les Etablissements Carel-Fouché & C^{ie}, à Paris.

Ces nouvelles voitures, terminées au cours de l'été 1950, ont été soumises à une série d'essais techniques portant notamment sur la détermination des chemins de freinage, le fonctionnement des appareils de sécurité et la mise au point de la suspension et des amortisseurs pour obtenir un roulement particulièrement allégé, sont destinées, d'une part, à éprouver la tenue des bogies à cinq essieux et de leurs pneus, du frein oléo-pneumatique et des deux modes de construction des caisses (acier et alliages légers) sur nos lignes très sinueuses et présentant de nombreuses déclivités et, d'autre part, à augmenter le confort des voyageurs en éliminant le bruit dû au passage des joints de rail et au roulement des bandages métalliques. C'est donc essentiellement l'amélioration du confort qui a incité la Direction générale des C. F. F. à construire deux prototypes de voitures sur pneus.

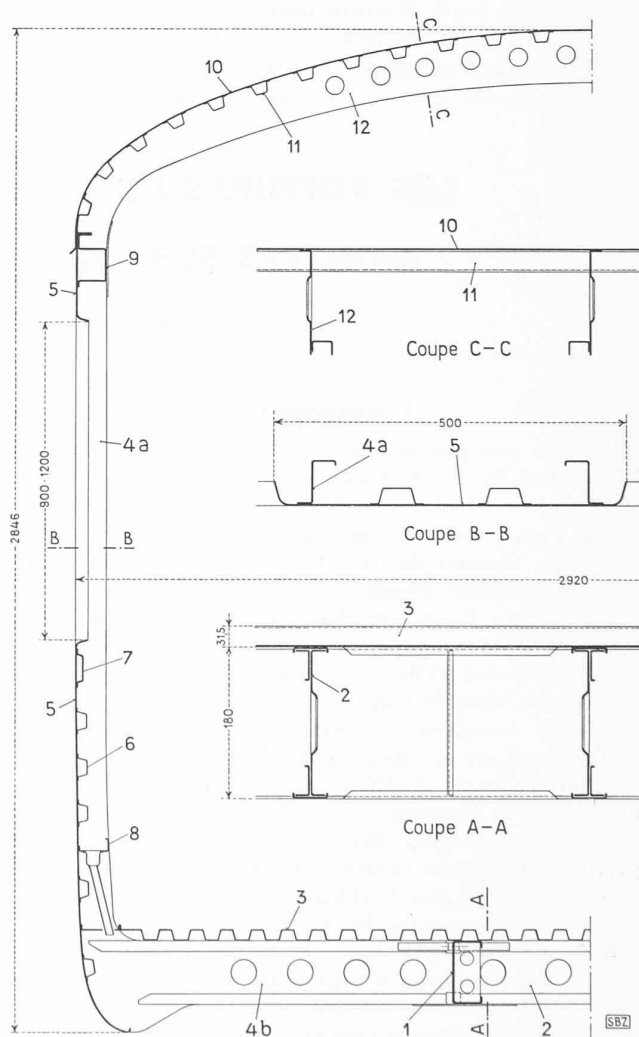


Fig. 3. — Demi-coupe transversale de l'ossature de caisse en acier, échelle 1 : 20, détails 1 : 10.

1, longrine; 2, traverse; 3, tôle de plancher; 4a, montant; 4k, traverse; 5, tôle de face; 6, raidisseur; 7, ceinture; 8, canal d'écoulement; 9, battant de pavillon; 10, tôle de pavillon; 11, raidisseur; 12, courbe de pavillon.

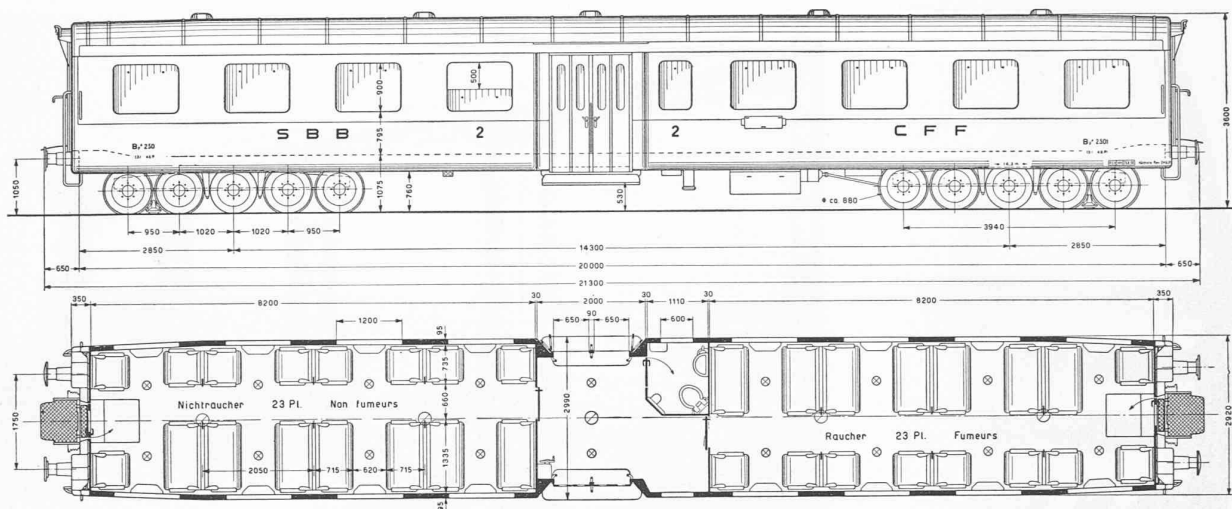


Fig. 2. — Diagramme de la voiture de 2^e classe Bp4 ü 2501, tare 12,7 t, 46 places.

2. Le problème posé aux constructeurs

La charge maximum que peut porter un pneu-rail étant de 1100 kg à la vitesse de 125 km/h, il en résulte que le poids de la voiture en charge, portée par 20 roues, ne devait pas dépasser 22 t. En admettant une charge utile de 6 t et sachant que le poids des bogies était estimé à environ 5 t, il restait donc 11 t pour la caisse munie de ses aménagements et équipements. Dans une voiture légère en acier, cette partie du véhicule pèse environ 21 t. Comme on le voit, il s'agissait donc d'obtenir un allègement de 50 % par rapport à une construction elle-même déjà allégée d'environ 30 % en regard des plus lourdes voitures métalliques du parc des C. F. F. Malgré cette réduction de poids massive, la charpente de caisse devait présenter une résistance aux charges statiques sinon égale du moins aussi voisine que possible de celle des voitures allégées. De plus, les C. F. F. exigeaient que les voitures soient munies des dispositifs de choc et de traction classiques, mais de construction allégée, pour qu'elles puissent être utilisées dans des trains formés de matériel léger.

Le problème à résoudre était donc essentiellement un problème d'allègement portant sur toutes les parties de la caisse, de ses aménagements et de ses équipements. Sa solution fut des plus ardues. Grâce à une étroite et intense collaboration entre les bureaux d'études des constructeurs et leurs ateliers de construction d'une part, et les organes techniques des C. F. F. d'autre part, ce problème a été résolu au-delà des espérances les plus optimistes comme nous le verrons dans ce qui va suivre.

3. Description des voitures

a) Généralités

La disposition générale et les dimensions principales ressortent des diagrammes représentés par les figures 1 et 2. Pour faciliter dans une certaine mesure la réduction de poids imposée par l'emploi du pneumatique, chaque voiture comprend une seule entrée, donnant accès à une plate-forme spacieuse, et un seul cabinet de toilette situés au centre. La voiture se trouve ainsi divisée en deux compartiments identiques. Par rapport aux voitures légères en acier, la longueur totale sur les tampons est réduite de 1,40 m et la hauteur totale au-dessus du rail de 10 cm.

La hauteur du plancher au-dessus du niveau du rail est constante sur toute la longueur ; elle est de 1070 mm, ce qui a permis de prévoir seulement trois marches d'escalier comme sur les voitures légères. Cette disposition a l'avantage de rendre plus rapide et plus aisée la montée et la descente de voiture. A chaque extrémité, une rampe de 12 cm de hauteur permet l'intercommunication avec les voitures normales.

Dans la voiture de 3^e classe, les dimensions des compartiments et des sièges sont les mêmes que celles des voitures légères en acier. Par contre, en 2^e classe, la distance d'axe en axe des sièges est de 2050 mm, soit environ 15 cm de plus que dans les voitures légères. La voiture de 3^e classe pèse 14,2 t et comprend 76 places assises. Cela fait 187 kg par place. Par rapport à la voiture légère en acier normale, pesant environ 28,5 t, l'allègement obtenu est donc de 50 %. La tare de la voiture de 2^e classe est seulement de 12,7 t pour 46 places assises. Cela donne 276 kg par place. Il en résulte donc, par rapport à la voiture légère en acier de 2^e classe, d'un poids de 29,5 t, un allègement considérable de 57 %.

b) Ossature de caisse en acier

Elle est construite comme poutre autoportante entièrement en tôles d'acier doux, décapées et laminées à froid, présentant une résistance à la rupture minimum de 37 kg/mm². Pour obtenir la réduction de poids demandée sur cette partie vitale de la voiture, il était indispensable d'employer des éléments en tôles très minces renforcés ou formés de manière à empêcher le voilement des grandes surfaces de tôle libre ou le flambage des pièces de grande longueur. Remarquons que la disposition de l'entrée au centre de la poutre est statiquement très favorable. En effet, bien que cette région soit le siège du moment fléchissant maximum dû au poids propre et à la charge verticale, l'effort tranchant y est pratiquement nul. Or, ce sont précisément les parois latérales, pourvues à cet endroit de larges ouvertures, qui sont le plus sollicitées par l'effort tranchant.

L'ensemble de l'ossature se décompose au point de vue de la fabrication en plusieurs éléments, fabriqués séparément sur des gabarits spéciaux, qui sont : la partie centrale du châssis, les deux parois latérales, le pavillon et les deux parois frontales. Chaque paroi latérale est à son tour divisée

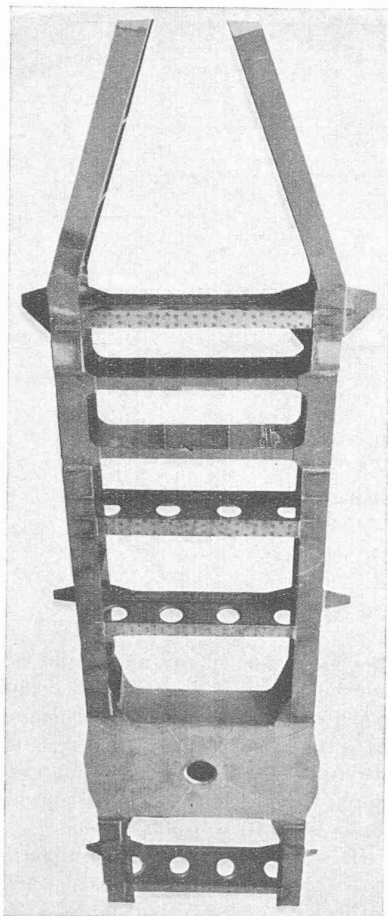


Fig. 4.
Extrémité du châssis
avec traverse de pivot.

en trois parties : la partie centrale englobant la porte d'entrée et allant jusqu'aux axes des baies voisines de celle-ci et les deux parois latérales proprement dites comprenant chacune quatre baies et demi. La figure 3 donne une demi-coupe transversale de l'ossature au milieu d'une baie et quelques coupes longitudinales partielles.

Le châssis se compose essentiellement de deux longrines 1 en tôle pliée de 1,5 mm d'épaisseur et reliées entre elles par des entretoises 2 formées d'éléments en tôles pliées et assemblées pour former une section en double T à grand moment d'inertie. La figure 4 représente l'extrémité de la partie centrale du châssis où l'on voit le caisson de construction soudée en tôles de 4 à 5 mm d'épaisseur destiné à recevoir le pivot de guidage du bogie. Les deux longrines sont soudées à la traverse de tête. Le plancher est formé par une tôle ondulée 3 de 0,9 mm d'épaisseur soudée sur les traverses et les longrines.

La paroi latérale est constituée par une tôle 5 de 1 mm d'épaisseur munie sur sa face intérieure de raidisseurs 6, en forme d'oméga, de 0,5 mm d'épaisseur. La ceinture 7 et le battant de pavillon 9 sont faits en tôle pliée de 1 mm d'épaisseur. Les montants 4 a, au nombre de deux entre deux baies consécutives, sont en tôle de 1,5 mm d'épaisseur pliée en forme de Z avec bord rabattu ; ils sont coudés à angle droit au pied de la face et se prolongent comme traverse 4 b jusqu'à la longrine du châssis. Cette disposition judicieuse a l'avantage de reporter la liaison entre paroi latérale et châssis, normalement exécutée dans la partie inférieure de la paroi, vers le centre du châssis où les sollicitations sont moins importantes. Cette liaison se fait ainsi sur les longrines 1 au moyen

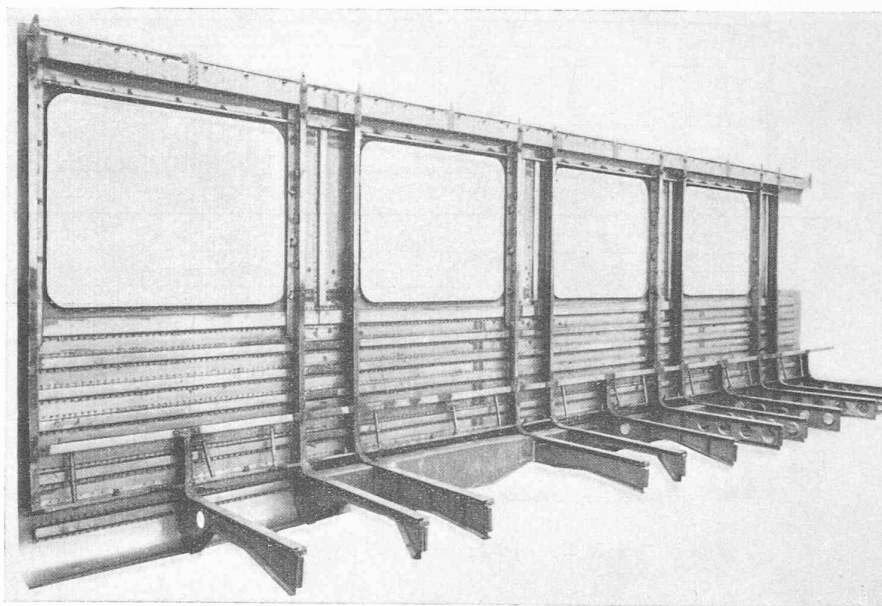


Fig. 5. — Vue intérieure d'une paroi latérale. Longueur 8000 mm, hauteur 2300 mm, poids 365 kg.

de boulons dans la partie supérieure et d'un gousset dans la partie inférieure. La tôle de face 5 est également renforcée, dans l'espace situé entre deux baies (coupes B-B), par des éléments en forme d'oméga disposés verticalement. Au bas de la face, un canal 8 sert à l'évacuation des eaux de pluie et de condensation pénétrant par la baie. Tous les éléments sont assemblés à l'aide de la soudure électrique par points. Quelques soudures à l'arc, très délicates à faire sur des tôles si minces, n'ont été faites qu'aux endroits inaccessibles avec la machine à souder par points.

La partie centrale de la paroi latérale comprend deux larges ouvertures pour les portes d'entrée séparées par un

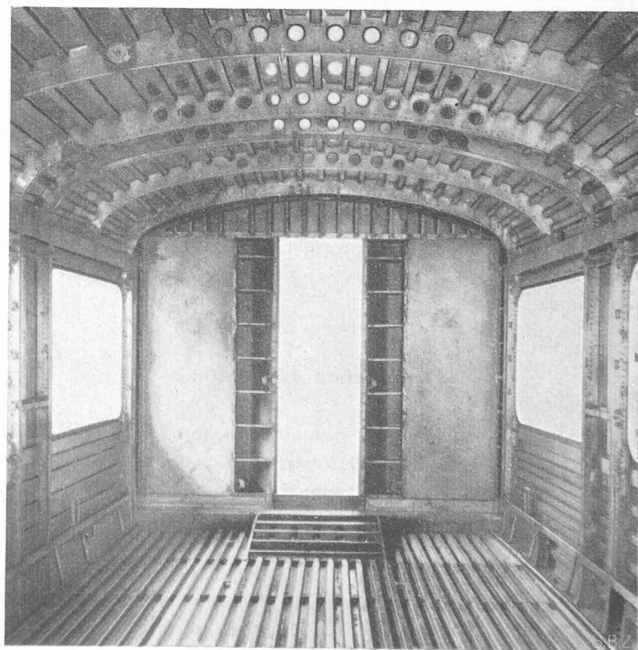


Fig. 6. — Vue intérieure de l'ossature de caisse en acier.

montant central. La partie inférieure de la paroi et le châssis présentent du fait de l'emplacement du marchepied un décrochement qui a nécessité le renforcement de cette partie par l'emploi de tôles plus épaisses et d'un plus grand nombre d'entretoises.

Le pavillon se compose des cintres 12 en tôle de 1 mm d'épaisseur sur lesquels est soudée la tôle de pavillon 10 formée de cinq bandes longitudinales de 0,7 mm d'épaisseur. Cette tôle est munie de raidisseurs 11, de 0,3 mm d'épaisseur, d'une seule pièce sur toute la longueur du toit. Les cintres sont échancrés pour laisser passer les raidisseurs. Toutes les liaisons ainsi que l'assemblage avec les parois latérales sont faites à la soudure par points.

La paroi frontale est constituée par une tôle emboutie de 1 mm d'épaisseur renforcée par un réseau de tôles pliées en nid d'abeille d'environ 30 cm de profondeur. Elle s'appuie à la partie inférieure sur la traverse de tête de construction soudée en tôles de 3 à 4 mm d'épaisseur. Elle est munie sur tout son pourtour d'un fer cornière recevant les boulons qui la lient aux parois latérales et au pavillon.

La figure 6 donne une vue intérieure en direction de la paroi frontale de l'ossature de caisse terminée pesant seulement 5000 kg. Ce poids se décompose comme il suit :

Châssis avec tôle de plancher et traverses de tête	1460 kg
Parois latérales	2060 »
Pavillon	680 »
Parois frontales	600 »
Vis, rivets, soudures, etc.	200 »
Total	5000 kg

L'ossature de caisse d'une voiture allégée pèse, dans les mêmes conditions, 10 400 kg; l'allègement obtenu est donc de 52 %.

c) Ossature de caisse en alliages légers

Elle est également construite selon les principes de la poutre tubulaire. Sa construction a été grandement facilitée par la fourniture de nouveaux profilés et d'éléments en tôle pliée en alliages d'aluminium exécutés tout spécialement par l'usine de Chippis de la S. A. pour l'Industrie de l'Aluminium. Tous les profilés sont en anticorodal B. Les tôles des parois latérales, du pavillon et des parois frontales ainsi que les éléments du plancher sont en anticorodal A.

Dans cette construction, le constructeur avait pour tâche principale de mettre en évidence les avantages dus à l'emploi des alliages légers au lieu de l'acier par une importante réduction de poids. C'est pourquoi nous avons demandé l'exécution de profilés et éléments spéciaux dont l'épaisseur varie entre 0,8 et 3 mm. La fabrication de ces éléments a présenté de nombreuses difficultés techniques et matérielles qui ont pu être surmontées grâce à la ténacité et à la volonté de réussir qui animaient les dirigeants de l'usine de Chippis. A notre connaissance, c'est la première fois que des pièces filées à la presse sont obtenues dans des épaisseurs aussi faibles.

Le mode de construction de la caisse ressort de la figure 7 qui en donne une demi-coupe transversale et quelques coupes longitudinales partielles. L'une des particularités

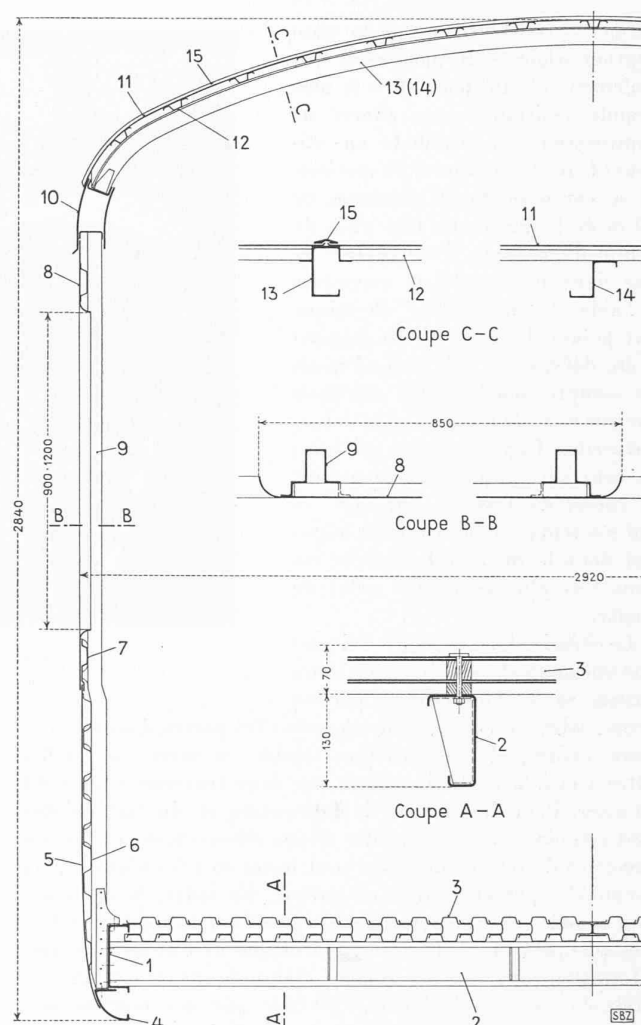


Fig. 7. — Demi-coupe transversale de l'ossature de caisse en alliages légers; échelle 1 : 20, détail 1 : 10.

1, longeron; 2, traverse; 3, élément de plancher; 4, longeron auxiliaire; 5, tôle de face inférieure; 6, tôle ondulée de raidissement; 7, ceinture; 8, tôle de face supérieure; 9, montant; 10, battant de pavillon; 11, tôle de pavillon; 12, raidisseur; 13, courbe principale; 14, courbe auxiliaire; 15, couvre-joint.

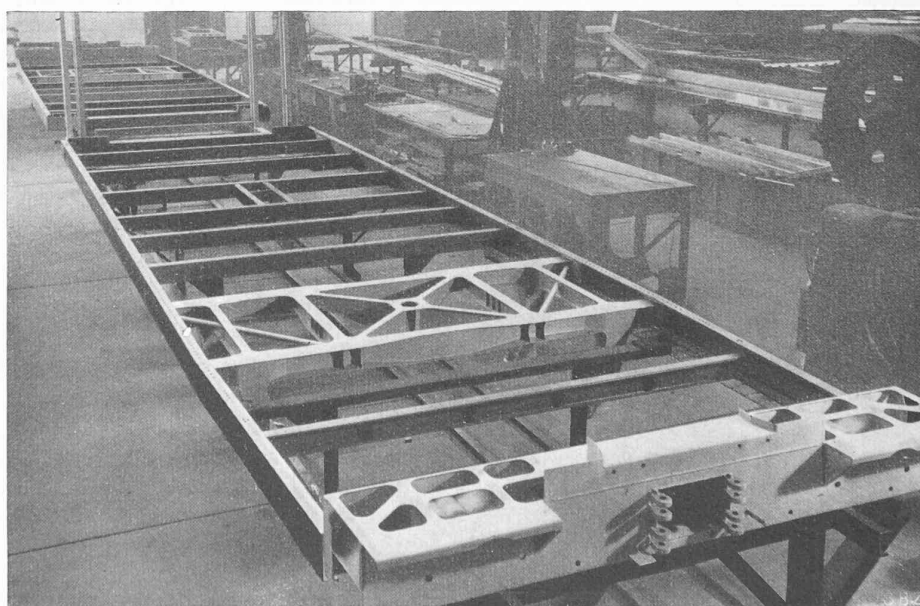


Fig. 8. — Vue générale du châssis prêt au montage du plancher.

de cette construction est la conception originale du plancher 3 spécialement étudié pour offrir la plus grande résistance aux efforts de compression longitudinale en utilisant le poids minimum de matière. Il se compose de 30 éléments de 20 m de longueur, en tôle pliée de 1 mm d'épaisseur, s'emboîtant les uns dans les autres et assemblés à l'aide de la soudure électrique par points. La forme d'un élément a été déterminée à la suite d'essais de compression statique effectués sur une série de modèles en grandeur naturelle. Dans la forme adoptée, la contrainte de flambage atteint la valeur de 1660 kg par cm², ce qui est remarquable pour un matériel dont le module d'élasticité est trois fois plus petit que celui de l'acier.

Le châssis, dont la figure 8 donne une vue générale, est divisé en deux parties semblables réunies par les deux cadres verticaux qui entourent les portes d'entrée. Ces deux cadres, de construction soudée en acier, sont reliés entre eux à la partie inférieure par deux traverses également en acier. Pour des raisons de fabrication et du fait qu'elles sont soumises en service à des efforts relativement élevés, les traverses de tête et de pivot sont faites en tôles d'acier doux assemblées par la soudure électrique. En outre, la construction soudée était plus rationnelle pour ces éléments aux formes quelque peu compliquées. Les longerons 1 et les traverses intermédiaires 2 sont en alliages d'aluminium et assemblés à l'aide de rivets. Le plancher est fixé par des boulons aux traverses comme le montre la coupe A-A de la figure 7. La liaison entre le plancher et les traverses de tête a été tout particulièrement soignée de manière à assurer une répartition aussi uniforme que possible des efforts de compression accidentels sur tous les éléments du plancher. Elle est faite par une double rangée de boulons prenant appui sur des pattes soudées à la traverse de tête. Pour empêcher la corrosion entre les parties en alliages légers et les parties en acier, ces dernières ont été soigneusement zinguées avant le montage.

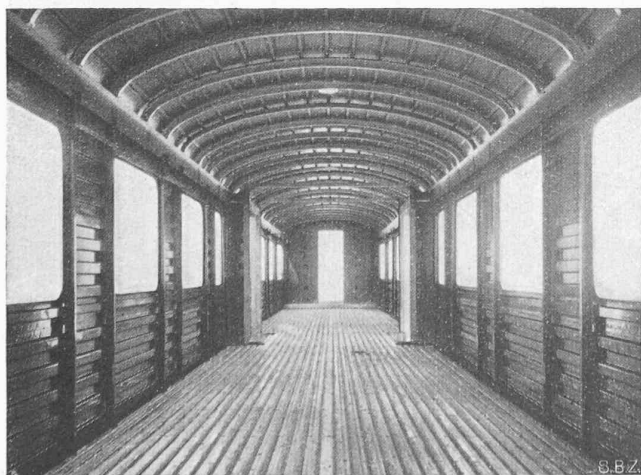


Fig. 10. — Vue intérieure de l'ossature de caisse en alliages légers.

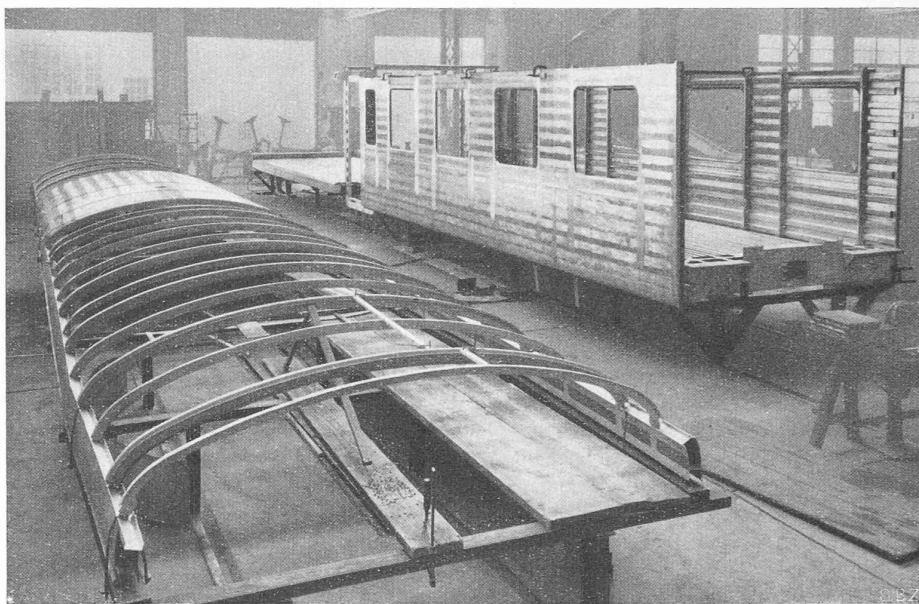


Fig. 9. — Montage du pavillon et des parois latérales.

La tôle de face est divisée en deux parties 5 et 8 assemblées sur le profilé de ceinture 7. L'épaisseur est de 1,2 mm pour la partie inférieure et de 1,5 mm pour la partie supérieure, à cause des ouvertures de baie. Cette tôle est renforcée sur sa face intérieure par une tôle ondulée 6 de 0,8 mm d'épaisseur. Les montants 9 sont assemblés aussi bien à la tôle principale qu'à celle de renfort. Ils sont munis d'ouvertures pour le passage de la tôle ondulée. Toutes les liaisons sont faites à la soudure électrique par points. Les parois latérales sont fixées au châssis au moyen de goussets en tôle d'acier rivés, d'une part aux pieds des montants et d'autre part aux longerons.

Le pavillon est constitué par deux battants 10 de forme tubulaire, en tôles de 2 mm d'épaisseur assemblées par la soudure par points, reliés par les cintres principaux 13 et auxiliaires 14. La tôle de recouvrement est formée de bandes transversales de 1 mm d'épaisseur assemblées par des rivets et un couvre-joint 15 sur les courbes principales 13 de manière à obtenir une étanchéité parfaite. Elle est encore renforcée par des raidisseurs 12 soudés par points.

Les parois frontales sont formées de tôles de 1,5 mm d'épaisseur largement renforcées par des entretoises horizontales et verticales. Elles sont rivées avec les parois latérales, le pavillon et les traverses de tête. L'ossature terminée représentée par la figure 10, qui en donne une vue intérieure, ne pèse que 3250 kg. Ce poids se décompose comme il suit :

Châssis, parties en acier	1000 kg
Châssis, parties en alliages légers	770 »
Parois latérales	630 »
Pavillon	550 »
Parois frontales	250 »
Rivets, pièces de liaisons, etc.	50 »
Total	3250 kg

L'allégement obtenu est donc de 69 % par rapport à l'ossature de la voiture allégée normale. La différence de poids entre cette ossature et celle en acier est de 1750 kg, ce qui représente une réduction de 35 %.

d) Essais de charge statiques

Les ossatures de caisse des deux voitures ont été soumises, dans les ateliers de leurs constructeurs respectifs et sous la

direction de la Division de la traction et des ateliers des C. F. F., aux essais statiques suivants :

a) Charge verticale uniformément répartie sur toute la surface du plancher ;

b) effort de compression longitudinale appliqué sur les traverses de tête à la hauteur des tampons.

La charge verticale était exercée par des cylindres à air comprimé placés verticalement sur le plancher de la caisse à raison d'une paire dans l'axe de chaque ouverture de fenêtre ou de porte d'entrée. Les pistons de chaque paire de cylindres prenaient appui sur des balanciers reliés à des blocs de lestage posés sur le sol à côté de la caisse. Connaissant la pression de l'air et le nombre des cylindres, on évalue facilement, par un simple étalonnage, la charge totale appliquée sur la caisse. L'effort de compression était obtenu par deux vérins hydrauliques placés entre la traverse de tête et le cadre métallique entourant la voiture.

Les contraintes qui se produisent dans les éléments de la charpente de caisse sous l'action des charges extérieures ont été mesurées, en 150 points différents, à l'aide d'extensomètres à fil résistant. Elles ont été enregistrées graphiquement sur des disques à l'aide d'appareils électriques automatiques. Les déformations d'une section de la caisse ainsi que les flèches du châssis ont été relevées au moyen de comparateurs.

La charge verticale a été appliquée en deux paliers de 10 et 20 t ; pour l'effort de compression, on a choisi les trois paliers de 20, 40 et 60 t. Les mesures de déformations et de contraintes ont été faites à toutes ces charges afin de vérifier la proportionnalité entre les accroissements de la charge et ceux des déformations ou des contraintes. Voici les principaux résultats de ces essais :

Dans la caisse en acier, sous une charge verticale de 20 t, les contraintes maxima sont de 350 kg/cm² dans les longrines du châssis, 320 kg/cm² dans la partie inférieure de la face et 250 kg/cm² dans le pavillon. Cette répartition remarquablement homogène prouve que la matière est bien répartie sur l'ensemble de la section. La plus grande contrainte se produit dans un angle de baie ; elle est de 490 kg par cm². Pour un effort de compression de 60 t, la fatigue moyenne dans la tôle de plancher est de 800 kg/cm². Les taux de travail maxima sont de 1100 kg/cm² dans les longrines, 1050 kg/cm² dans la partie inférieure de la face et 200 kg/cm² dans le pavillon.

La répartition et la valeur des contraintes sont sensiblement différentes pour l'ossature en alliages légers. Cela s'explique par le mode de construction et par la présence d'éléments en acier dans le châssis. Sous la charge verticale de 20 t, les contraintes maxima sont de 800 kg/cm² dans le cadre formant la traverse de pivot, 640 kg/cm² dans les traverses inférieures de l'encadrement des portes d'entrée, 200 kg/cm² dans la face et de 265 kg/cm² dans le pavillon. La plus grande fatigue dans les angles de baie est de 355 kg/cm². A la compression de 60 t, la contrainte dans le plancher varie de 210 à 530 kg/cm² ; elle est de 240 kg/cm² dans la face. Par contre, le pavillon ne transmet pratiquement aucun effort. Les plus grandes contraintes se produisent dans les cadres de porte, à l'endroit où le plancher 4 prend appui. La valeur maximum est de 1300 kg/cm².

Les flèches mesurées au milieu de la voiture sous une charge verticale de 20 t sont de 5,5 mm pour la caisse en acier et de 10,9 mm pour celle en alliages légers.

Nous avons pu appliquer sur chaque caisse une charge verticale de 25 t et des efforts de compression de 70 t sur la caisse en acier et de 80 t sur la charpente en alliages légers, sans provoquer, en aucun point, de déformation permanente. Dans l'ensemble, en tenant compte du faible poids de deux caisses, on peut considérer ces résultats comme très satisfaisants.

Ces essais ont été réalisés en étroite collaboration avec la section spécialisée dans ce genre de recherches de la S.N.C.F., qui a mis gratuitement à notre disposition son personnel et ses appareils de mesure.

e) Aménagements intérieurs et équipements

Bien que ce domaine présente un intérêt technique moindre que celui que nous venons de traiter, il a cependant dû être examiné avec beaucoup de soin, pour réaliser une réduction de poids importante. Les allègements obtenus, pris individuellement, peuvent paraître sans grande importance ; il n'en demeure pas moins que leur somme donne un résultat très appréciable.

Les parois latérales, frontales et le pavillon sont recouverts, sur leur face intérieure, d'une couche isolante à base d'amiante appliquée au pistolet et ayant environ 6 mm d'épaisseur. Cette couche constitue une excellente isolation thermique et contribue à rendre insonore les grands panneaux de tôle. De plus, elle protège très efficacement l'ossature contre les effets de la corrosion. Pour gagner du poids, son

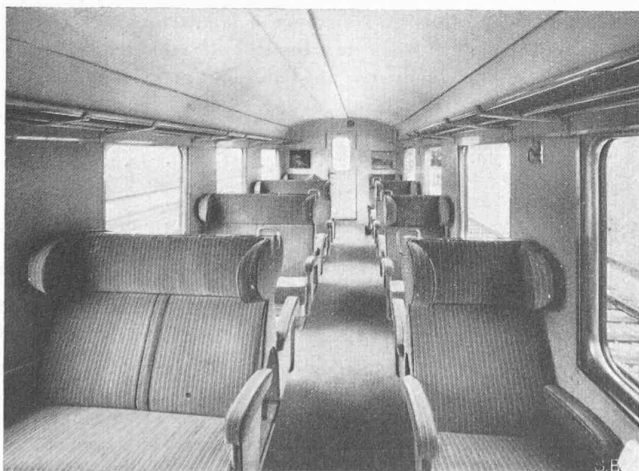


Fig. 11. — Compartiment, de 2^e classe.

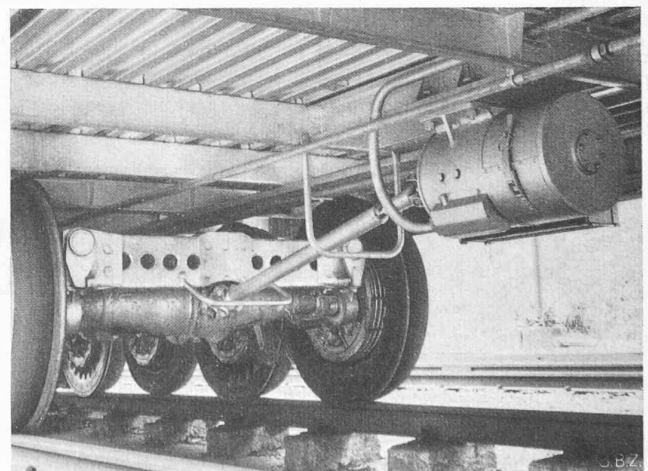


Fig. 12. — Dynamo d'éclairage (Brown Boveri, Baden) et dispositif d'entraînement.

épaisseur a été réduite de moitié par rapport aux voitures normales.

Les revêtements du plancher, des parois latérales et du plafond sont constitués par des panneaux en ébonite-mousse (caoutchouc-mousse vulcanisé) dont la densité varie entre 0,08 et 0,16 kg/dm³ suivant les épaisseurs. Ces panneaux sont recouverts, en 3^e classe, de cuir artificiel et, en 2^e classe, de plaque en Textolite, matière plastique à base de résine synthétique.

Dans toutes les parties de l'aménagement intérieur : ossatures des sièges, porte-bagages, encadrement des baies, portes d'entrée, etc., il a été fait un très large emploi de l'aluminium. Les sièges de la voiture de 3^e classe sont légèrement rembourrés et recouverts de simili-cuir. Le siège à quatre places pèse 29 kg. En 2^e classe, les formes du siège ont été spécialement étudiées pour donner au voyageur le maximum de confort. Le dossier, les appuis-tête et les accoudoirs sont rembourrés avec du caoutchouc-mousse et recouverts d'un velours gris bleu à rayures rouges d'un très bel effet (fig. 11). Un siège à quatre places pèse 76 kg.

Le chauffage et l'éclairage électriques sont en principe identiques à ceux des voitures normales. Pour diminuer la longueur des câbles, tous les interrupteurs sont réunis sur un même tableau placé sur la plate-forme. On a également renoncé aux thermostats pour le réglage automatique du chauffage. La dynamo d'éclairage, placée sous le châssis, est entraînée par le dernier essieu d'un bogie à l'aide d'une boîte d'engrenages et d'un arbre à cardan (fig. 12). La ventilation est assurée par deux ventilateurs statiques par compartiment placés dans le toit et à commande mécanique par câble.

Comme nouveauté, chaque compartiment est pourvu de deux haut-parleurs placés au-dessus des portes d'entrée et pouvant servir à la diffusion de musique ou de commentaires lorsque les voitures sont utilisées pour des voyages de société. A cet effet, un microphone, un tourne-disques et un amplificateur peuvent être installés sur la plate-forme. Ces appareils sont alimentés en courant alternatif par un petit groupe convertisseur branché sur la batterie d'éclairage.

f) Appareils de choc et de traction

Pour gagner du poids, nous avons fait un large appel aux alliages d'aluminium et renoncé au système des tampons compensés, c'est-à-dire reliés entre eux par un balancier de manière à maintenir, dans les courbes, les tampons de deux véhicules accouplés toujours en contact. Ce balancier a donc été supprimé et, de ce fait, les tampons sont indépendants l'un de l'autre. Le boisseau et le plongeur sont en anticorodal B ; ces pièces sont obtenues par matriçage à chaud à la presse. Ce procédé de fabrication présente l'avantage de fournir des pièces d'une parfaite homogénéité et ne nécessitant

que très peu d'usinage. Les plateaux de tampons sont forgés en Perunal 15, nouvel alliage à résistance élevée dont nous donnons les caractéristiques ci-après. Pour en faciliter le remplacement à la limite d'usure, ils sont rivés sur le plongeur. Le ressort de choc est constitué par une série de 23 couches d'anneaux en caoutchouc séparées entre elles par des disques en aluminium et formées chacune de trois anneaux concentriques. Chaque tampon a été soumis à un essai de compression sous une charge de 50 t, à laquelle correspond une flexion du ressort de 135 mm. La course maximum possible est de 150 mm. Un élément de sécurité constitué par un tube en anticorodal est dimensionné de manière à se rompre sous une charge de 65 t environ. Le ressort en caoutchouc permet de grandes flexions aux faibles charges jusqu'à environ 12 t et est capable d'absorber une quantité d'énergie importante. Le tampon complet pèse 42 kg seulement.

L'appareil de traction (fig. 13) se compose du crochet, du ressort formé de rondelles en caoutchouc, de l'articulation centrale et du joug de liaison avec la traverse de tête. Le dispositif complet pesant seulement 24 kg est logé dans une ouverture pratiquée au centre de la traverse de tête et maintenu en place par deux tourillons passant dans les trous du joug de liaison et ceux des pattes soudées à la traverse de tête qui sont bien visibles au premier plan de la figure 8. Des quatre jougs équipant les deux voitures, deux sont en Alufont-3 et deux en alliage de magnésium M 4 A. Ces pièces coulées ont été fournies par les aciéries Georg Fischer S. A. à Schaffhouse. Elles ont été essayées à une charge de 50 t dans les mêmes conditions qu'en service. L'un des jougs en magnésium, pesant 7 kg, a été chargé jusqu'à la rupture qui a été obtenue pour un effort de 70 t.

La figure 14 montre le crochet de traction 1 et l'attelage à vis formé du tourillon 2, des bielles 3, des écrous 4, de la vis 5 et de l'étrier 6. Toutes ces pièces, à l'exception du tendeur à vis avec ses écrous qui sont naturellement en acier, sont forgées en Perunal 15 dans les mêmes dimensions que les pièces correspondantes de l'attelage des voitures allégées normales. Les articulations sont munies de bagues en acier. Nous avons renoncé à munir les parties du crochet et de l'étrier qui sont continuellement soumises au frottement mutuel de plaques de protection en acier pour en diminuer l'usure. Seules les expériences faites en service nous permettront de juger si le degré d'usure atteint, dans un laps de temps relativement court, des proportions telles que cette protection devienne indispensable.

Le crochet de traction et les éléments de l'attelage ont été soumis à des essais de résistance à la traction très complets exécutés par les soins de l'Institut de recherches de la Société suisse pour l'industrie de l'aluminium à Neuhausen. A titre de comparaison, nous avons essayé simultanément

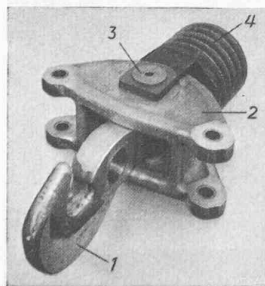


Fig. 13. — Appareil de traction.
1, crochet ; 2, joug ; 3, articulations ;
4, ressort. — Poids : 24 kg.

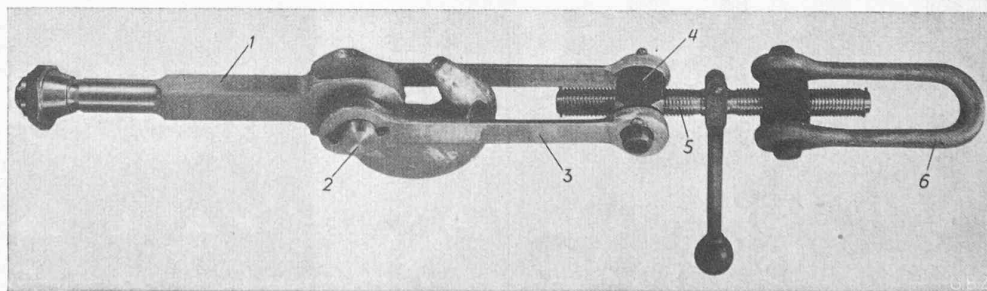


Fig. 14. — Crochet de traction et attelage à vis.
1, crochet ; 2, tourillon ; 3, bielle ; 4, écrou ; 5, vis ; 6, étrier. — Poids du
crochet : 7 kg ; poids de l'attelage : 15 kg.

les éléments semblables, en acier, de l'attelage d'une voiture légère standard. Il a été fabriqué au total dix crochets de traction, dont sept en perunal et trois en avional, et quelques bielles et étriers supplémentaires. Le Perunal 15 est un alliage d'aluminium à haute résistance contenant principalement 1,6 % de cuivre, 2,4 % de magnésium et 6 % de zinc. L'avional S contient 4,1 % de cuivre et 1 % de magnésium. Le tableau 1 donne les charges de rupture en t des éléments de l'attelage obtenues aux essais.

Charges de rupture en t des éléments de l'attelage TABLEAU 1

Elément	perunal	avional	acier
Crochet de traction.	78,2	53,5	90
Etrier.	67,5	—	81,5
Bielle.	21,5	—	27,6

Propriétés mécaniques des alliages utilisés pour les éléments de l'attelage TABLEAU 2

	perunal	avional
Limite élastique (0,2 %) . . kg/mm ²	53,0	32,0
Limite de rupture kg/mm ²	59,8	45,7
Allongement (S 5) %	10,0	15,6
Dureté Brinell kg/mm ²	181	131

Ce tableau montre que les bielles constituent l'élément le plus faible de l'attelage qui détermine sa résistance à la traction. Cette résistance est donc de 43 t pour l'attelage en alliages légers et de 55 t pour celui en acier. Il va sans dire que le premier chiffre pourrait être relevé sans difficulté en augmentant légèrement la section des bielles. Au cours des essais, nous avons également mesuré les déformations des pièces en fonction de l'effort appliqué.

Les propriétés mécaniques des alliages utilisés ont été déterminées sur des éprouvettes prélevées dans les crochets de traction essayés jusqu'à la rupture. Elles sont données dans le tableau 2.

Ces valeurs, en particulier celles de l'alliage perunal, peuvent être considérées comme excellentes pour des pièces forgées.

En ce qui concerne la résistance à la traction, nous pouvons dire que les différents éléments de l'appareil de traction et de l'attelage en alliages légers répondent aux conditions imposées. Il reste à voir comment ces éléments se comporteront en service au point de vue de l'usure par frottement à laquelle le crochet de traction et l'étrier sont plus spécialement exposés.

(A suivre.)

LE BARRAGE DE SHASTA EN CALIFORNIE

par R. WALTHER, ingénieur civil

L'état de Californie, le second en étendue des Etats-Unis, a environ la longueur de l'Italie, des Alpes à la Sicile, exactement neuf degrés et demi de différence de latitude entre le nord et le sud, soit 1050 km et une superficie d'environ 370 000 km², soit les quatre cinquièmes de la France. C'est dire que son climat est assez différent du nord au sud, de tempéré sous le 42^e degré, à chaud au 32^e. Ceci explique un régime de cultures assez divers qui a conduit à une organisation d'irrigation intéressante.

En gros, la Californie est constituée par une grande vallée centrale, comprise entre la Sierra Nevada à l'est, avec des pics neigeux de plus de 4400 m d'altitude et une chaîne côtière allant de 2000 m de hauteur près de Los Angeles au sud à 900 m plus au nord.

Dans cette longue vallée coulent, en sens inverses, deux fleuves qui aboutissent au golfe appelé la baie de San Francisco : au nord la Sacramento River, au sud la San Joaquin River. Assez sauvages et sujets à de grosses crues, on les a régularisés par deux grands barrages : au nord, le Shasta Dam et au sud le Friant Dam. Mais ce qu'il y a de curieux, c'est que les eaux du nord étant surabondantes pour l'irrigation de la vallée du Sacramento, on les repompe dans quatre installations à leur aboutissement à la baie, à 40 m de hauteur, pour les utiliser dans un canal de 75 km de longueur destiné à l'irrigation de toute la partie basse de la San Joaquin Valley qui, elle, en a besoin et draine aussi les marais adjacents à la baie. L'eau du Friant Dam, le barrage du sud, est alors employée partiellement dans la partie méridionale assez désertique du sommet de la vallée. Ce sont des travaux gigantesques et qui ont déjà atteint une partie de leurs résultats, bien qu'encore en cours actuellement. Même en 1950, on a signalé des dégâts considérables au confluent des vallées, provenant de crues non encore captées par ces travaux (fig. 1).

Les graphiques de débits indiquent pour une station un peu à l'amont du Shasta Dam des crues ayant atteint entre 1926 et 1937 un maximum (en 1937) de 3430 m³/sec (avec pointe momentanée de 4650 m³/sec), tandis qu'au même moment on enregistrait à Red Bluff (bassin versant de 24 000 km², à une cinquantaine de kilomètres en aval du barrage, 7900 m³/sec (avec pointe de 9300 m³/sec). Ces

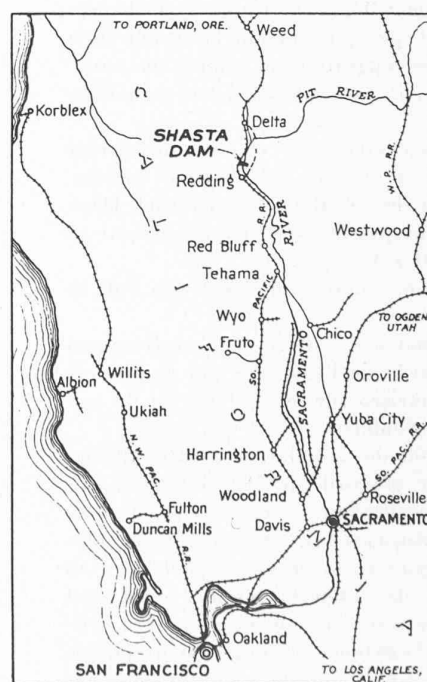


Fig. 1.