

# L'ÉLECTRIFICATION

## DE LA LIGNE DE PARIS AU MANS

### I. — LES INSTALLATIONS FIXES

#### I. — CARACTÉRISTIQUES DE LA LIGNE

Partant de Montparnasse, la ligne s'élève d'une façon à peu près continue pour atteindre Versailles (km 17) desservant, jusqu'à Clamart, une agglomération très peuplée et, de Meudon à Versailles, des résidences de choix qui offrent de sérieuses possibilités d'extension (Fig. 1).

De Saint-Cyr à Rambouillet (km 48), la ligne traverse une grande banlieue en développement continu.

Au delà, les régions desservies (Beauce et Perche) à faible densité de population, n'ont qu'un trafic exclusivement agricole (chevaux, blé, paille, pommes, lait, viandes...).

La seule ville du parcours est Chartres (km 88) avec ses 27 000 habitants, réputée par sa cathédrale.

L'importance de la ligne Paris-Le Mans réside, en fait, dans son transit puisqu'elle permet d'accéder :

- à la Bretagne, par la ligne du Mans à Rennes;
- à la vallée de la Loire, par la ligne du Mans à Angers.

Au départ des fêtes ou des vacances, plus de

soixante express et rapides sont expédiés dans une journée.

Le service de la gare Montparnasse présentait de sérieuses difficultés. A certaines périodes, la circulation des omnibus de banlieue devait même être interrompue pour permettre le passage des trains des grandes lignes.

Le trafic marchandises est constitué normalement, en dehors du trafic local assuré par les trains de section, par les échanges entre Trappes, Chartres et Le Mans, entre Vaugirard, Le Mans et Thouars. Il s'y ajoute les trafics saisonniers : primeurs, denrées, marée, bestiaux, huîtres.

#### II. — ORIGINES ET CARACTÉRISTIQUES DU PROJET D'ÉLECTRIFICATION

Dans sa séance du 26 Octobre 1932, le Conseil Supérieur des Chemins de fer avait émis un avis tendant à l'électrification d'un certain nombre de lignes de Chemins de fer, parmi lesquelles figuraient : Paris-Le Havre et Paris-Le Mans.

Les études préliminaires ne firent pas apparaître un net avantage en faveur de l'électrification.

Mais la crise économique avait mis en évidence la nécessité de créer du travail pour lutter contre

le chômage, et en Mai 1934, un programme de grands travaux, le **Plan Marquet**, constituait un fonds de 10 milliards pour le financement de travaux présentant un intérêt général certain.

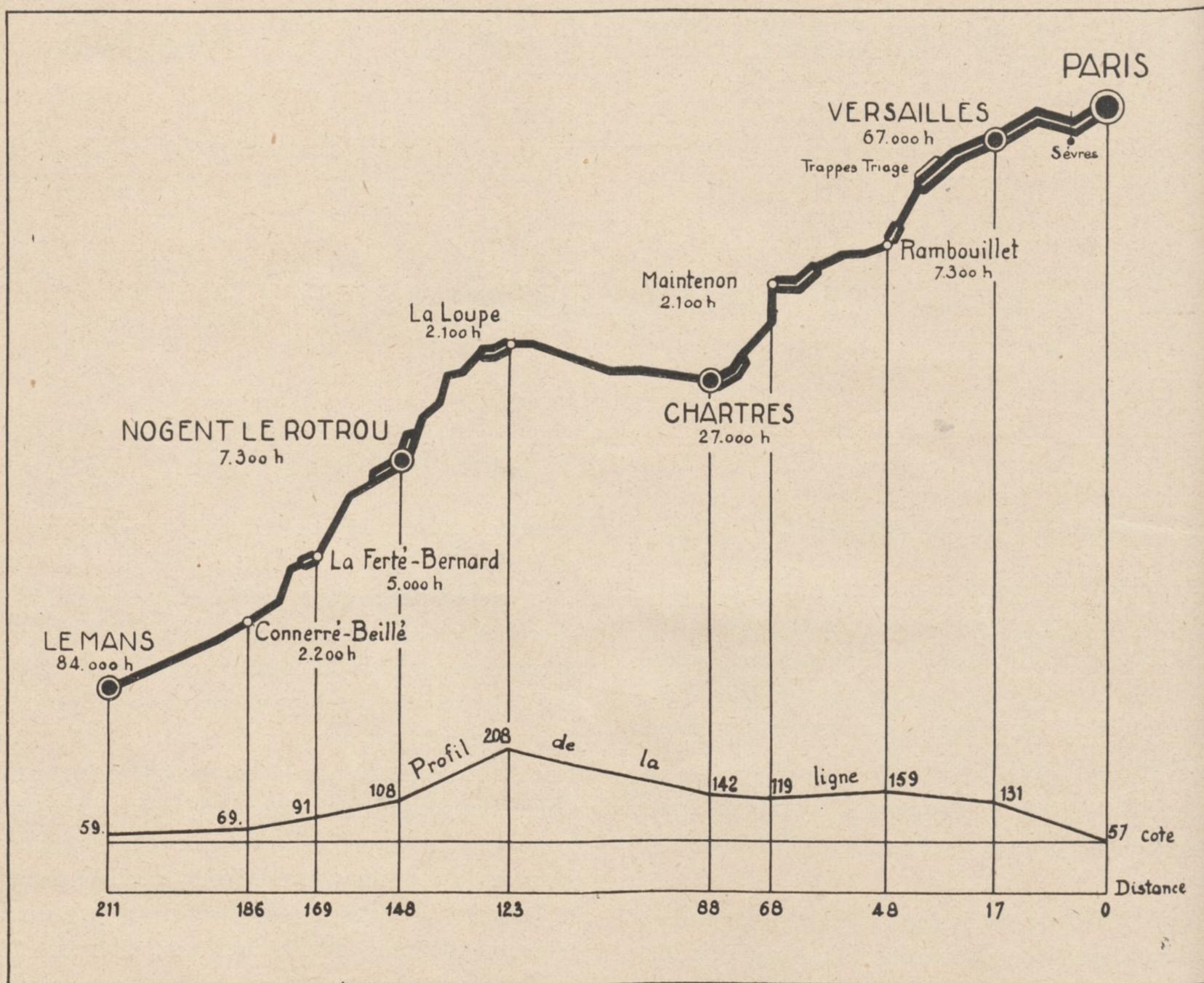
Ces travaux à entreprendre dans des délais très brefs, dans des régions où le chômage sévissait,

premier plan, en aidant à décongestionner la capitale.

La loi du 7 Juillet 1934 autorisa la participation des Chemins de fer à l'exécution des travaux contre le chômage.

Dès le 31 Août, le Réseau de l'Etat présenta le

Fig. 1. — Ligne de Paris au Mans. Principales localités desservies. Profil de la ligne.



devaient être rentables dans toute la mesure du possible.

Le bilan de la ligne du Mans était plus voisin de l'équilibre que celui de la ligne du Havre.

En amenant le courant H.T. dans une région qui en était encore dépourvue, on rendait possible le développement industriel d'une région riche en main-d'œuvre et encore peu équipée.

L'électrification de la banlieue Montparnasse, à la faveur de l'équipement de la grande ligne, permettait de réaliser une œuvre d'urbanisme de

projet d'électrification de la ligne Paris-Le Mans, qui fut approuvé par décision ministérielle du 21 Novembre 1934.

Le quadruplement des voies dans la banlieue de Montparnasse, lié à l'électrification, était entrepris dès le 3 Octobre 1934.

Au début de 1935, tout le matériel des sous-stations et toutes les locomotives étaient commandées et une grande partie des travaux d'installation était adjugée.

Au 15 Mai 1937, l'électrification était terminée.

Pour aller vite, donnée essentielle du problème, le Réseau s'est inspiré des réalisations des Chemins de fer du P.O.-Midi.

C'est ainsi qu'ont été adoptés immédiatement :

- le **courant continu 1 500 V**, courant unifié de traction sur les grandes lignes de France,
- les **caténaires** type « P.O. »,
- les **locomotives 2 D 2** pour express et rapides,
- les **locomotives BB** pour les trains de marchandises.

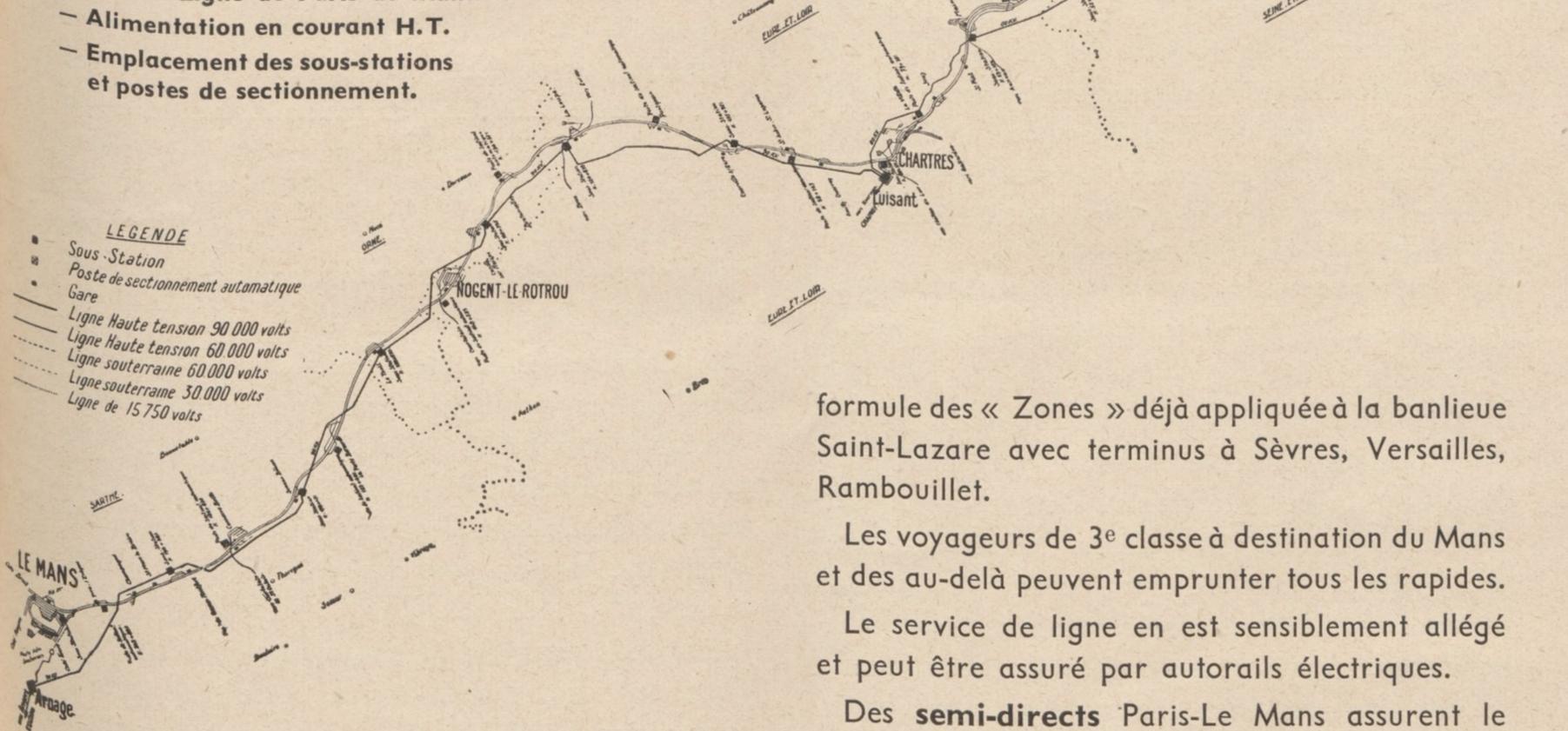
Pour l'équipement des **sous-stations**, le Réseau a utilisé systématiquement les redresseurs à vapeur de mercure, dont il avait fait l'expérience sur sa banlieue St-Lazare à 700 V.

Une innovation a été l'installation de la commande à distance de toutes les sous-stations de la ligne, à partir d'un poste de **commande**

Fig. 2. — Ligne de Paris au Mans.

- Alimentation en courant H.T.
- Emplacement des sous-stations et postes de sectionnement.

- LEGENDE**
- Sous-Station
  - Poste de sectionnement automatique
  - Gare
  - Ligne Haute tension 90 000 volts
  - - - Ligne Haute tension 60 000 volts
  - Ligne souterraine 60 000 volts
  - - - Ligne souterraine 30 000 volts
  - Ligne de 15 750 volts



**centralisée** placé à Paris, complément logique et économique de l'automatisme.

La signalisation ancienne a été remplacée par le block automatique à **signaux lumineux** de jour et de nuit.

Des autorails électriques ont été étudiés, capables d'assurer, soit un service de banlieue, soit des semi-directs jusqu'au Mans.

Aussi légers que possible, ils présentent des accélérations élevées, de grandes vitesses de plafond, un régime économique aux vitesses normales.

### III. — PROGRAMME D'EXPLOITATION

S'il faut assurer par des trains lourds, à destination de la Bretagne, les transports massifs vers les grands centres et vers les plages, les possibilités qu'offre la traction électrique, pour le fractionnement et la fréquence des circulations, apportent une solution heureuse au problème du Service des Voyageurs aussi bien de la banlieue Montparnasse que des campagnes desservies.

Le service Banlieue est organisé suivant la

formule des « Zones » déjà appliquée à la banlieue Saint-Lazare avec terminus à Sèvres, Versailles, Rambouillet.

Les voyageurs de 3<sup>e</sup> classe à destination du Mans et des au-delà peuvent emprunter tous les rapides.

Le service de ligne en est sensiblement allégé et peut être assuré par autorails électriques.

Des **semi-directs** Paris-Le Mans assurent le service des huit centres les plus importants de la ligne (1).

Des **Autorails** desservent les petites gares des trois zones :

- Rambouillet-Chartres,
  - Chartres-Nogent le Rotrou,
  - Nogent le Rotrou-Le Mans.
- Ces omnibus donnent correspondance avec les semi-directs.

Ainsi est réalisé, avec le maximum d'économie,

(1) Versailles, Rambouillet, Maintenon, Chartres, La Loupe, Nogent, La Ferté-Bernard, Conneré.

un excellent service de voyageurs sur l'ensemble de la ligne Paris-Le Mans.

Les pages qui suivent sont consacrées à la description des installations fixes; nous donnons dans la note suivant celle-ci quelques renseignements sur la construction et l'utilisation du matériel roulant et en particulier des automotrices électriques actuellement en cours d'essais.

#### IV. — SOUS-STATIONS

##### Fourniture de Courant H.T.

La ligne comporte 13 sous-stations.

Pour assurer leur alimentation, il était nécessaire de trouver :

d'une part, de l'énergie électrique à bon marché (d'origine hydraulique),

d'autre part, une grande sécurité d'alimentation.

En dehors de la Région Parisienne, avec ses usines thermiques interconnectées aux usines hydro-électriques du Massif Central et du Rhin, il existait, sur le parcours Paris-Le Mans, deux centres importants recevant de l'énergie électrique du Massif Central et des Pyrénées.

A Chartres, le poste de Luisant recevait de l'énergie à 90 000 V, en provenance d'Orléans.

Au Mans, le poste d'Arnage recevait de l'énergie à 90 000 V, en provenance de Saumur.

La Société d'Inter-Connexions de la Région Parisienne (dite Inter-Paris) s'est chargée des négociations avec les secteurs possesseurs des dits postes de manière à les relier entre eux et avec la Région Parisienne (à Élancourt) par une ligne desservant au passage toutes les sous-stations.

Cette ligne est donc alimentée en trois points, tels qu'un seul suffit pour alimenter l'ensemble : la sécurité d'alimentation est ainsi très grande.

Entre Luisant et Arnage, la ligne H.T. est à 90 000 V; entre Luisant et Élancourt, elle est à 60 000 V. En fait, la ligne est double sur pylônes uniques. Elle a été entièrement réalisée par les soins et aux frais d'Inter-Paris qui en assure l'exploitation et l'entretien (Fig. 2).

A peu près au milieu des intervalles Luisant-Arnage et Luisant-Élancourt, les lignes passent par un poste de sectionnement contigu à une sous-station (dite de sectionnement); en ces points, chaque section de ligne est munie d'un disjoncteur

permettant d'isoler volontairement ou automatiquement (en cas d'incident) la dite section de ligne. De la sorte, les répercussions d'avaries de lignes sont limitées à une soixantaine de km au maximum.

Toutes les autres sous-stations sont alimentées en dérivation sur chacune des deux lignes, mises ainsi en parallèle par le jeu de barres de la sous-station; chaque dérivation est protégée par un disjoncteur.

Le système de protection des lignes contre les incidents est réalisé de telle sorte que tous les disjoncteurs intéressant la section de ligne avariée s'ouvrent, tandis que tous les autres intéressant les sections de lignes saines restent fermés. La partie avariée est ainsi éliminée sans que l'alimentation des sous-stations soit interrompue. (Cette discrimination des disjoncteurs à maintenir fermés ou à ouvrir en cas d'incident est faite par des relais qui, suivant le sens du courant qui les traverse, verrouillent les disjoncteurs des parties saines ou font déclencher les disjoncteurs de la section avariée; la liaison entre les divers disjoncteurs et les divers relais est assurée par des fils pilotes placés dans le câble de télécommande et alimentés sous une tension de 48 V en courant continu).

A Chartres et au Mans, où il était difficile de faire passer des lignes aériennes à très haute tension, l'alimentation des sous-stations est faite en câbles armés à 30 000 V à partir, respectivement, de Luisant et d'Arnage qui fournissaient déjà cette tension pour les distributions rurales locales.

Les deux premières sous-stations au départ de Paris sont alimentées par le réseau de câbles souterrains à 15 750 V installé antérieurement pour leurs propres besoins par les Chemins de fer.

L'énergie est vendue aux bornes des sous-stations.

Le comptage de l'énergie est fait en Haute Tension à l'entrée des transformateurs de chaque groupe redresseur, sauf pour les services auxiliaires où le comptage est fait en Basse Tension (avec formule de correction pour tenir compte des pertes de transformation).

13 sous-stations assurent la transformation du courant alternatif H.T. en courant continu de traction.

L'intervalle moyen des sous-stations (17 km), est sensiblement plus faible que dans les réalisations antérieures à 1 500 V.

### Dispositions Générales

A part les deux premières sous-stations de la Région parisienne pour lesquelles on a prolongé les bâtiments existants, les autres sous-stations sont établies suivant les mêmes dispositions générales. Les postes Haute Tension sont extérieurs, tandis que les redresseurs, le tableau et l'appareillage sont installés dans un bâtiment comportant un rez-de-chaussée et un étage.

Les postes extérieurs, en charpente métallique, sont plus ou moins importants suivant la tension, le type d'alimentation ou le nombre de groupes prévu. La filerie de commande et de contrôle a été placée en caniveau.

A une extrémité du bâtiment se trouve une salle de décuve qui coiffe la voie d'accès à la sous-station. Cette voie a été constituée de manière à livrer passage aux camions, chaque sous-station pouvant être desservie par rail ou par route.

Un pont roulant, de 20 à 35 t suivant les sous-stations, balaye la salle de décuve; un monorail de 6 t la réunit à la salle des redresseurs, au 1<sup>er</sup> étage du bâtiment.

Enfin, un réseau de voies orthogonales, dont l'une pénètre dans la salle de décuve, dessert le poste extérieur; un lorry à galets pivotants permet de manutentionner transformateurs et disjoncteurs.

L'ensemble des constructions est édifié sur une vaste plateforme entourée d'une clôture métallique défensive.

Cet ensemble comprend, en général :

- le bâtiment de la sous-station placé à peu de distance et parallèlement aux voies.

- le poste extérieur placé en arrière du bâtiment de la sous-station.

- le pavillon pour loger l'agent chargé de la surveillance de la sous-station.

L'architecture des bâtiments a été conçue dans un style sobre et moderne (Fig. 3).

L'effet décoratif a été obtenu par la seule harmonie des volumes et la proportion des pleins et des vides.

L'architecte s'est appliqué dans la composition des façades, à exprimer les nécessités du plan en plaçant les châssis d'éclairage, les aérations, les entrées de câbles, aux points les mieux choisis pour la bonne exploitation de la sous-station.

Tout autour du bâtiment règne un soubassement à bossages, seule note décorative de la façade.

L'éclairage a été particulièrement étudié. Au 1<sup>er</sup> étage, il est du type indirect à foyers dissimulés,

ce qui donne un éclairage uniforme et doux du tableau de commande.

### Postes Haute Tension

Ils comprennent l'ensemble des appareils H.T. d'alimentation.

#### Sous-station d'Ouest-Ceinture (15 750 V). —

Un poste de sectionnement intérieur permet de réaliser les divers couplages nécessaires à l'exploitation du réseau entre les huit câbles aboutissant à ce poste.

Sur deux jeux de barres peuvent être prises, par l'intermédiaire de disjoncteurs :

- 2 alimentations pour la Traction;
- 2 alimentations pour Éclairage et Force;
- 2 alimentations pour le block lumineux.

L'ensemble de ce poste est constitué par du matériel semi-blindé constitué par des interrupteurs à huile montés sur chariot avec inverseur et pouvant être connectés par broches aux jeux de barres et aux câbles; des contacts auxiliaires permettent la commande à distance et la signalisation des interrupteurs et inverseurs. Des verrouillages mécaniques et des volets automatiques empêchent toute fausse manœuvre et mettent le personnel à l'abri de tout contact accidentel avec la H.T.

**Sous-stations à 60 000 ou 90 000 V — type dérivation.** — Les deux lignes H.T. passent, l'une à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure d'un portique.

Deux alimentations, constituées par un disjoncteur à huile de 750 000 kVA et un jeu de sectionneurs, peuvent être prises sur l'une ou l'autre des deux lignes; ces deux alimentations servent à la fois à la mise sous tension du jeu de barres de la sous-station et à la mise en parallèle des deux lignes.

**Sous-stations à 60 000 ou 90 000 V — type sectionnement.** — Chacune des deux lignes, de chaque côté, peut être connectée par l'intermédiaire d'un disjoncteur à huile de 750 000 kVA et d'un jeu de sectionneurs, sur un des deux jeux de barres de la sous-station disposés l'un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure d'un portique.

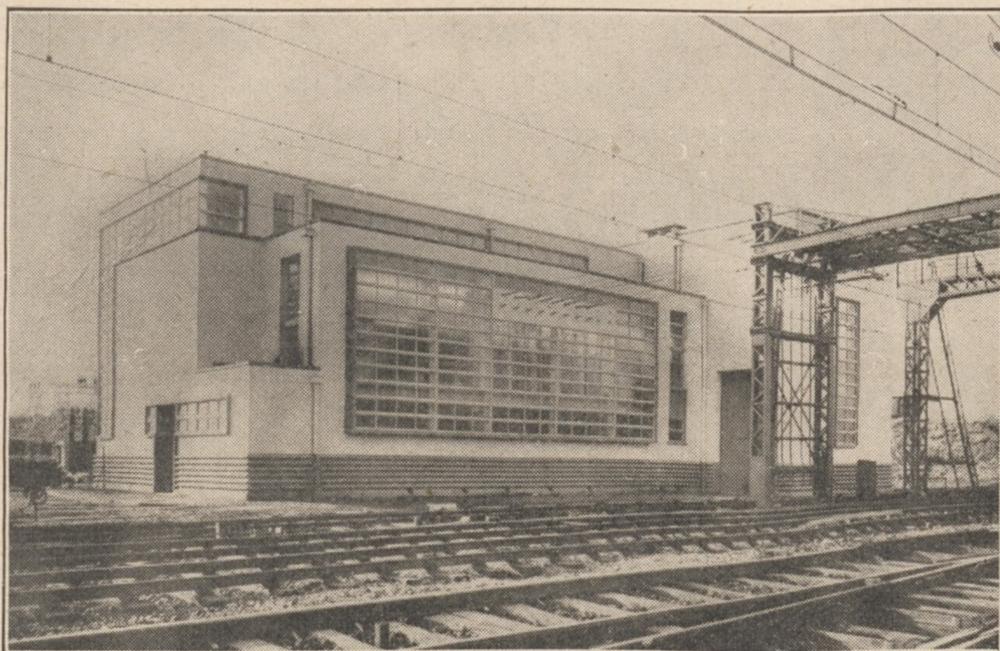
**Sous-stations à 30 000 V — Chartres et Le Mans.** — Les deux câbles aboutissent, par l'intermédiaire d'un disjoncteur à volume d'huile réduit de 350 000 kVA et d'un jeu de sectionneurs, directement sur le jeu de barres de la sous-station.

### Services Auxiliaires

Le courant nécessaire aux relais d'automatisme, à la commande des sectionneurs, disjoncteurs, contacteurs, ainsi qu'à l'éclairage, au chauffage et à la manutention des appareils est fourni soit en courant alternatif par des transformateurs spéciaux, soit en courant continu par une batterie d'accumulateurs.

Chaque sous-station comprend deux transformateurs branchés

Fig. 3. — Sous-Station de Chartres.



sur la H.T. fournissant du courant triphasé 200/115 V pour l'alimentation des services auxiliaires; un seul transformateur dont la puissance varie de 50 à 135 kVA est en service.

Dans les sous-stations à 30, 60 et 90 kV la mise sous tension des transformateurs se fait par la simple fermeture d'un sectionneur; la protection de ces transformateurs est assurée par **relais Buchlotz** faisant déclencher les disjoncteurs d'alimentation de la sous-station, dès le moindre dégagement gazeux à l'intérieur de la cuve.

Une batterie de 120 V 148 A en 1 heure, assure la permanence du courant continu dans la sous-station; cette batterie est chargée en permanence par un groupe rotatif; le courant de charge est réglé de manière à maintenir la batterie constamment à pleine charge, le groupe assurant la fourniture du courant nécessaire aux services auxiliaires; la batterie débite donc sur les services auxiliaires qu'en cas d'arrêt accidentel ou volontaire du groupe rotatif (marche en « floatting »).

Un réducteur de décharge automatique assure la régularité de la tension lorsque la batterie est seule; un réducteur de charge à commande manuelle complète l'installation,

### Tableau de la sous-station

Toutes les commandes des appareils sont faites à partir d'un tableau placé au 1<sup>er</sup> étage de la sous-station.

Elles sont disposées suivant un schéma signalétique du type éteint; chaque appareil commandé ou signalé est représenté par un commutateur à lampe centrale; la barrette du commutateur peut être placée suivant deux positions orthogonales dont l'une assure la continuité du schéma (appareil en position fermée); si la barrette est dans la position correspondant à la position réelle de l'appareil signalé, la lampe est éteinte; dans le cas contraire, la lampe est allumée et, éventuellement, une sonnerie retentit.

Les lampes doivent donc être normalement éteintes; un commutateur spécial permet à l'opérateur d'allumer toutes les lampes et par suite de vérifier, d'un seul coup d'œil, leur bon fonctionnement et celui de la sonnerie.

Pour commander le changement de position d'un appareil, on place la barrette dans la position désirée et on appuie sur celle-ci.

Le tableau comporte aussi tous les appareils de contrôle nécessaires à l'exploitation de la sous-station.

Certains appareils de mesure sont du type enregistreur; afin de synchroniser le déroulement de tous ces appareils, ceux-ci reçoivent des impulsions émises par un dispositif de distribution d'heure, une pendule mère à fonctionnement autonome par pile est synchronisée par le courant du secteur (qui est à fréquence contrôlée); celle-ci émet, par l'intermédiaire de relais pendulaires des impulsions en courant continu toutes les 1/2 secondes. Le déroulement des enregistreurs est donc synchrone dans toutes les sous-stations; par ailleurs, en cas de panne de courant alternatif, la pendule mère continuant à fonctionner avec sa régularité propre au moyen de la pile, les impulsions ne sont pas interrompues.

Un appareil nouveau enregistre la position des appareils, en cas de changement de position d'un appareil, l'heure exacte est inscrite et tous les appareils en position fermée sont inscrits sur la

bande au moyen d'un signe conventionnel; en comparant les lignes d'inscription successives, on reconnaît facilement l'appareil qui s'est ouvert ou fermé et on a très exactement l'heure à laquelle cette opération s'est produite.

### Groupes redresseurs

Ce sont les organes essentiels de la sous-station puisqu'ils transforment le courant alternatif H.T. fourni par le secteur en courant continu, à la tension de 1 635 V, nécessaire à la traction électrique des trains.

Toutes les sous-stations de la ligne Paris-Le Mans sont équipées avec des redresseurs à vapeur de mercure, qui ont l'avantage d'un bon rendement à toutes charges et d'un entretien facile, et sont particulièrement aptes, du fait de leur fonctionnement entièrement statique, à un service automatique.

Par lui-même, le redresseur présente une caractéristique shunt, c'est-à-dire que la tension du côté continu baisse au fur et à mesure qu'il débite (Fig. 4). Sur la ligne Paris-Le Mans, les redresseurs ont été munis d'un dispositif spécial, dit «à grilles commandées», permettant d'obtenir, comme pour les commutatrices, une tension constante côté continu, jusqu'à une charge appréciable du redresseur.

En dehors du système de commande des grilles, le redresseur comporte obligatoirement divers accessoires primordiaux pour son fonctionnement : un système de maintien du vide (de l'ordre de 1/1000 de mm de mercure) à l'intérieur de la cuve, et un système de réchauffage-réfrigération assurant à la cuve une température aussi constante que possible (40° environ).

Chaque groupe redresseur comprend :

- un disjoncteur,
- un transformateur,
- une bobine d'absorption, dont le point milieu constitue le négatif du courant continu,
- un redresseur métallique à vapeur de mercure à grilles commandées, avec ses accessoires,
- un dispositif de polarisation des grilles,
- un disjoncteur ultra-rapide à retour de courant sur le courant continu,

Dans les deux sous-stations de la région parisienne, 3 groupes de 2 750 kW sont installés.

Les 11 autres sous-stations comportent 2 groupes de 2 000 kW.

Toutefois, en vue d'un accroissement possible du trafic sur la section Paris-Chartres, les sous-stations de cette section

de ligne ont été prévues pour recevoir éventuellement un groupe supplémentaire. La sous-station terminale du Mans a la même disposition.

### Groupes de 2 000 kW (Alsthom)

Puissance continue :	2 000 kW
Puissance pendant 2 heures :	3 000 kW
Puissance pendant 5 minutes :	6 000 kW
Tension constante (1 635 V) entre	0 à 3 000 kW

Les transformateurs sont alternativement bobinés en triangle ou en étoile du côté primaire pour diminuer les harmoniques du côté Haute Tension; l'enroulement secondaire est double triphasé avec bobine d'absorption.

Le redresseur est à six anodes principales avec grilles commandées; trois anodes auxiliaires assurent l'entretien.

Les anodes sont en graphite; les introductions sont faites en mycalex qui permet un assemblage rigide, étanche, isolant et pouvant supporter des températures élevées.

Une température aussi constante que possible de la cuve est obtenue, d'une part, par des dispositifs réchauffeurs de cuve et d'anodes, d'autre part, par un aéro-réfrigérant placé dans le circuit d'eau de réfrigération du redresseur.

Le vide est entretenu par deux pompes: une pompe à diffusion à deux étages, constamment en service, et une pompe rotative à huile.

### Groupes de 2 750 kW (Electro-Mécanique)

Puissance continue :	2 750 kW
Puissance pendant 2 heures :	4 125 kW
Puissance pendant 5 minutes :	8 250 kW
Tension constante (1 635 V) entre	0 à 4 125 kW

Les transformateurs sont du type triangle au primaire, double hexaphasé avec point neutre sorti au secondaire.

Les redresseurs sont à douze anodes principales avec grilles commandées; trois anodes auxiliaires assurent l'entretien.

La réfrigération du redresseur est faite en circuit fermé par un groupe électro-pompe mis automatiquement en route à la mise en service du groupe; sur ce circuit, se trouve un aéro-réfrigérant à mise en route automatique en fonction de la température; en hiver, on peut insérer dans le circuit un dispositif réchauffeur à marche automatique et dont la mise en service entraîne celle du groupe électro-pompe de circulation.

Le dispositif d'entretien du vide, analogue à celui des redresseurs 2 000 kW est constitué par une pompe à diffusion à deux étages constamment en service.

**Dispositifs de commande des grilles.** — Les anodes d'un redresseur débitent successivement au fur et à mesure que leur tension est supérieure à celle des autres; la tension redressée a donc une forme ondulée, mais elle baisse quand la charge augmente.

Si on interpose entre anode et cathode une grille négative, l'arc ne peut s'amorcer et l'anode ne peut débiter.

Il est donc possible de régler le débit d'une anode en laissant normalement sa grille négative et en appliquant à celle-ci une impulsion de tension positive au moment où l'on veut provoquer l'amorçage de cette anode.

La tension moyenne baisse au fur et à mesure qu'on retarde le point d'allumage des anodes. Si on règle ce retard en fonction de la charge, on a la possibilité de modifier à volonté la caractéristique tension-intensité de l'appareil.

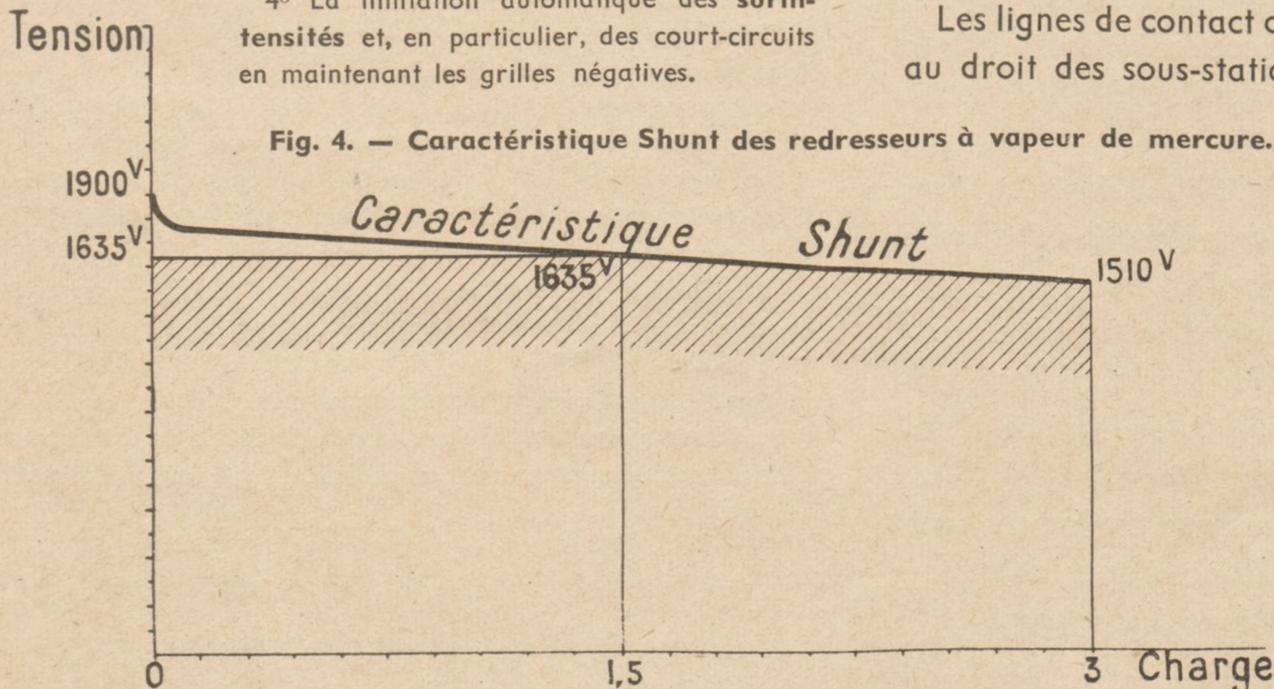
Cette propriété a été utilisée sur les redresseurs de la ligne du Mans, de manière à obtenir :

1° Une caractéristique de tension différente de la caractéristique « shunt » normale du redresseur; la caractéristique choisie correspond à une horizontale aux environs de 1 635 V depuis la charge critique jusqu'à 50% en plus de la charge normale; au delà, on retrouve la caractéristique shunt normale (1).

2° L'établissement progressif de la tension au couplage du redresseur sur les barres, ceci pour éviter un brusque à-coup de tension à la mise en service automatique d'un redresseur par baisse de tension en ligne;

3° La suppression de la remontée de tension à vide;

4° La limitation automatique des surintensités et, en particulier, des court-circuits en maintenant les grilles négatives.



**Automaticité.** — La mise en route et l'arrêt des groupes redresseurs sont automatiques, dans les conditions ci-après :

Des sous-stations « pilotes » sont chargées de maintenir en permanence la tension sur les lignes de contact qui se trouvent réunies de bout en bout par les barres des sous-stations ou des postes de sectionnement à mi-distance entre sous-stations. Un groupe est toujours en service dans ces sous-stations.

Dans les autres sous-stations, le premier groupe se met en route si la tension baisse au droit de la sous-station, ce qui est l'indication de l'approche d'un train; si le débit dépasse une certaine limite, le 2<sup>e</sup> groupe se met en route (dans la région parisienne, un 3<sup>e</sup> groupe peut se mettre en route). Lorsque le débit diminue, le 2<sup>e</sup> groupe, puis le 1<sup>er</sup>, sont retirés du service. Le 1<sup>er</sup> groupe peut également être mis en route à une heure donnée.

Dans les sous-stations « pilotes », le 2<sup>e</sup> groupe se met en route en cas de surcharge du premier et se retire du service si la surcharge disparaît.

Dans toutes les sous-stations, les groupes se substituent les uns aux autres en cas d'avarie.

(1) Pour plus de détails sur la construction et le fonctionnement de ces redresseurs voir notamment « Revue Générale d'électricité » 7 Mai 1938, p. 591 et suiv. une note de M. Garreau, Ing. ppal à la S. N. C. F.

Toute sous-station peut être choisie comme « pilote ».

En cas de déclenchement d'un groupe redresseur en service, le réenclenchement est tenté trois fois et ce n'est qu'au bout de trois tentatives restées infructueuses que le groupe est bloqué et remplacé par un autre.

### Alimentation des lignes de contact

Les lignes de contact de chaque voie sont coupées au droit des sous-stations et au droit des postes de sectionnement.

Chaque tronçon (entre sous-station et poste de sectionnement) est relié à ses extrémités par l'intermédiaire d'un disjoncteur **ultra-rapide**, aux bornes de la sous-station et aux bornes du poste.

Ces deux disjoncteurs sont enclenchés simultanément et l'ouverture de l'un provoque obligatoirement celle de l'autre. Toutefois, dans certains cas (avarie à l'un deux, mise hors service d'une partie de caténaire), un dispositif spécial permet alors de désolidariser les deux disjoncteurs et de les manœuvrer séparément.

Les disjoncteurs de postes sont commandés à partir du tableau de la sous-station correspondante mais peuvent également l'être sur place.

La liaison entre les disjoncteurs de sous-stations et de postes se fait par l'intermédiaire de fils pilotes placés dans un câble le long de la voie.

En marche normale, c'est-à-dire lorsque les disjoncteurs, sous-station et poste sont solidaires, l'ordre d'enclenchement des disjoncteurs n'est exécuté qu'après un test d'isolement de la ligne de contact à partir de la sous-station. Si l'isolement est bon, les disjoncteurs s'enclenchent; si le test donne un résultat négatif, il est recommencé trois fois et s'il est chaque fois négatif, les disjoncteurs sont bloqués; ces opérations se produisent automatiquement.

En cas de déclenchement automatique de ces disjoncteurs, le dispositif de test est mis en route comme ci-dessus et les disjoncteurs se réenclenchent ou se bloquent suivant le résultat des tests.

Les disjoncteurs d'alimentation des caténaires sont tous du type ultra-rapide Alsthom à bobine de maintien. Dans la région parisienne, ils sont du type 3 000 A, dans les autres sous-stations du type 2 000 A.

Dans les sous-stations, les bobines de maintien sont alimentées

par la batterie de la sous-station; par contre, dans les postes de sectionnement, les bobines de maintien sont alimentées par la tension de la ligne de contact. L'ouverture automatique de ces disjoncteurs se fait par surintensité circulant dans un sens bien déterminé (désexcitation de la bobine de maintien).

Dans les postes de sectionnement, la baisse de tension due à un appel exagéré d'intensité vient favoriser le déclenchement du disjoncteur correspondant au secteur à isoler.

L'ouverture d'un disjoncteur à maxima peut avoir lieu, soit sur montée lente d'intensité dépassant une limite fixée, soit par variation brusque d'intensité (cas du court-circuit).

Tous les disjoncteurs, dans les sous-stations ou les postes, sont du type blindé, mis au point à la sous-station d'Argenteuil; les disjoncteurs sont enfermés dans un caisson métallique mobile sur roues; leur déplacement horizontal permet de les raccorder par des broches et mâchoires aux pièces correspondantes d'une partie fixe, entièrement protégées par des tôles; des volets, à ouverture automatique à la mise en place du disjoncteur, masquent les pièces de contact.

La sécurité du personnel est ainsi complète et on a obtenu, d'autre part, un encombrement très réduit.

Les postes de sectionnement et de mises en parallèle comportent une batterie au cadmium-nickel de 100 V 35 A chargée « en floatting » par un redresseur sec; le courant alternatif est pris sur les distributions B.T. locales voisines.

#### Alimentation du block automatique

Le courant à 3 000 volts nécessaire aux installations de block est fourni par les sous-stations de traction.

Elles comportent une **alimentation normale** constituée par un transformateur 200/3 000 volts branché sur les barres à 200 V des services auxiliaires de la sous-station, barres qui sont alimentées elles-mêmes par transformation du courant H.T.

Pour obtenir, en cas de défaillance de cette source d'énergie normale, la substitution aussi rapide que possible (en moins de 5 secondes) d'une **source de secours**, il a été installé un moteur Diesel, conjugué, par l'intermédiaire d'un embrayage magnétique, avec le groupe convertisseur — 200 V alternatif/120 V continu — des services auxiliaires.

Les disjoncteurs d'alimentation et de départ 3 000 V sont constitués par du matériel blindé

spécialement étudié pour les sous-stations de la ligne du Mans.

Les disjoncteurs sont montés sur chariots, sur lesquels sont placés également les transformateurs d'intensité et de potentiel; un système de broches permet de connecter la partie mobile à la partie fixe; des volets à ouverture automatique à la mise en place du disjoncteur, masquent les parties sous tension.

Les connexions des transformateurs de puissance se font de la même façon.

#### V. — COMMANDE CENTRALISÉE DES SOUS-STATIONS

Les sous-stations ont été pourvues au maximum de dispositifs automatiques pour diminuer les interventions du personnel; cependant, on ne peut éviter que certaines manœuvres demandant du discernement soient faites par un agent. Ce sont, en particulier, l'isolement de tronçons de lignes H.T. ou de lignes de contact (pour travaux d'entretien ou en cas d'accident) et leur remise sous tension.

Au lieu d'avoir simultanément un agent dans chaque sous-station, la commande centralisée permet à un seul agent, pour toute la ligne Paris-Le Mans, d'effectuer ces manœuvres dans toutes les sous-stations.

Le fait même de n'avoir qu'un seul agent « le régulateur sous-stations », pour diriger l'exploitation des sous-stations et coordonner les manœuvres sur la ligne est déjà un sérieux avantage; mais, en lui donnant le moyen d'être renseigné instantanément sur ce qui se passe dans les sous-stations et d'y agir directement sans passer par l'intermédiaire de communications téléphoniques, toujours longues et sujettes aux erreurs de transmission, on facilite son travail et on le met à même de prendre des décisions rapides suivies immédiatement d'exécution, au grand avantage de l'exploitation.

Le but de la commande centralisée est donc de grouper entre les mains d'un seul agent tous les moyens de contrôle et de commande nécessaires pour assurer la surveillance et le fonctionnement de l'ensemble (lignes H.T., sous-stations, lignes de contact, alimentation du block lumineux) et pour en modifier, le cas échéant, les conditions d'exploitation.

### Bâtiment de la commande centralisée

Le bâtiment de la commande centralisée est situé à Paris, dans les emprises de la gare de Vaugirard-Marchandises, à l'angle des rues du Cotentin et Falguière.

La façade de l'édifice, d'une grande sobriété et d'une belle franchise, exprime exactement la distribution intérieure et s'apparente aux sous-stations dont la commande centralisée est en quelque sorte le cerveau.

La salle de commande centralisée proprement dite épouse la forme des tableaux de commande disposés en éventail autour du bureau de l'opérateur placé au centre.

Le chauffage est réalisé par un plancher chauffant.

L'éclairage de la salle est assuré de jour par un plafond en béton translucide et de nuit par un éclairage établi de façon à éviter tout éblouissement qui pourrait gêner la visibilité des tableaux.

Le bureau spécial de l'opérateur, la disposition et le ton des panneaux, le schéma de la ligne Paris-Le Mans qui forme une frise au-dessus des tableaux, tout a été conçu par l'architecte, M. Cassan, de façon à contribuer à l'effet décoratif de l'ensemble (Fig. 5).

### Principes du fonctionnement

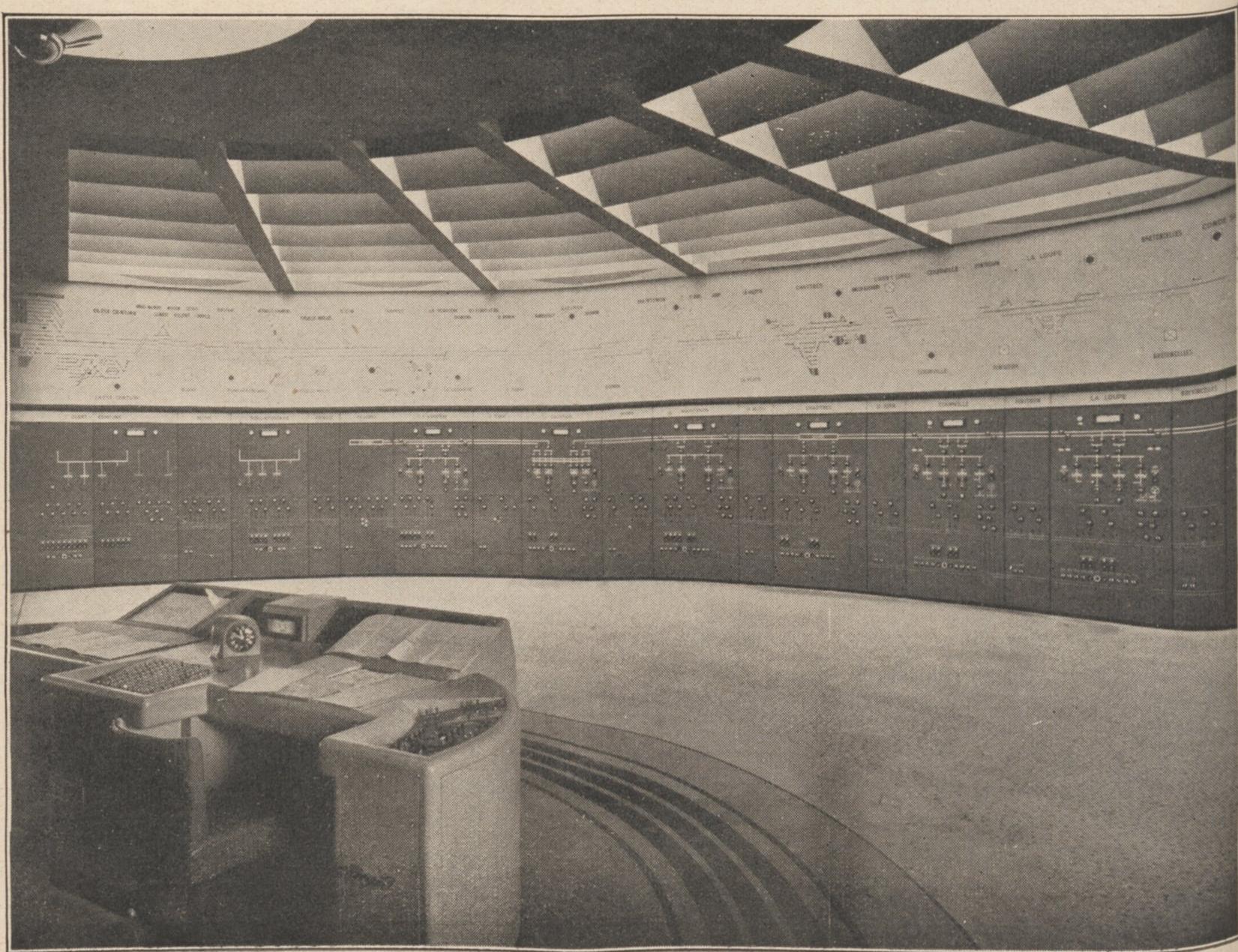
**Télécommande.** — Le tableau, du type « éteint » comme celui des sous-stations répète le schéma synoptique de toutes les installations Haute Tension, 1 500 V, 3 000 V et Basse Tension de la ligne Paris-Le Mans.

Dès qu'un appareil dans une sous-station change de position, une lampe s'allume dans le schéma du tableau; pour l'éteindre, il faut que le régulateur rectifie sur le schéma la position de l'appareil. Toutefois, certaines lampes signalant les avaries restent allumées pendant toute la durée de l'avarie.

Pour exécuter une manœuvre dans une sous-station, le régulateur dispose sur le schéma l'appareil dans la position qu'il veut lui faire prendre, puis actionne un bouton ou une tirette. Une lampe s'allume dès le début de l'opération; elle ne s'éteint qu'après confirmation de l'exécution de l'ordre.

Des dispositifs spéciaux avertissent le régulateur de tout incident dans l'équipement de commande

Fig. 5. — Salle de la commande centralisée des sous-stations.



à distance ou dans la liaison par câble entre Paris et les sous-stations.

Le régulateur peut, de Paris, **pour chaque sous-station** :

- Mettre « en service » ou « hors service » :
- a) les alimentations Haute Tension,
- b) un groupe redresseur quelconque,
- c) les services auxiliaires,
- d) les disjoncteurs qui alimentent les caténaies,
- e) les disjoncteurs de départ des câbles d'alimentation du block lumineux.

— Vérifier le fonctionnement du groupe de secours d'alimentation du block lumineux (voir plus loin).

Le régulateur est tenu au courant de toute avarie temporaire ou permanente des groupes de traction ou du groupe de secours du block, du mauvais état des batteries d'accumulateurs, de la présence de personnel dans les sous-stations ou postes de voie.

**Télémesure.** — Sur chaque panneau propre à une sous-station se trouve un wattmètre, donnant le débit instantané de la sous-station.

Sur le bureau du régulateur, un wattmètre donne le total de la puissance débitée par les sous-stations.

Vis-à-vis du tableau de commande un tableau groupe tous les appareils enregistreurs des sous-stations : maxigraphes à période d'intégration de 5 minutes permettant de connaître la puissance moyenne débitée par chaque sous-station et par l'ensemble des sous-stations.

### Réalisation

**Liaisons avec les sous-stations.** — La commande et la signalisation à distance s'effectuent par l'intermédiaire de deux fils par sous-station ; de plus, la télémesure nécessite également deux fils par sous-station, soit au total pour les 13 sous-stations 26 paires au départ de Paris, placées dans un câble spécial qui comporte également des circuits téléphoniques.

**Télécommande.** — Chaque équipement, pour une sous-station, comprend :

- une armoire avec sélecteurs et relais dans la sous-station ;
- une armoire avec sélecteurs et relais à Paris ;
- deux batteries de 60 V (I de 10 A, I de 73 A) dans la sous-station ;

— à Paris des batteries (I de 22 A, I de 508 A) sont communes à l'ensemble des équipements.

Les batteries de faible capacité, seules en liaison directe avec les câbles, sont isolées pour 2 000 V, par crainte des surtensions pouvant être induites dans le câble ; cet isolement est également prévu pour le relais récepteur d'impulsion placé dans chaque armoire et pour les contacts du relais émetteur.

Les courants circulant dans les câbles sont de l'ordre de 2/1 000 d'ampère.

En principe, la batterie des sous-stations débite en permanence dans le circuit terminé par le relais d'impulsion de Paris (courant de **garde** permettant d'avoir l'assurance que le circuit n'est ni interrompu ni en court-circuit).

Les impulsions de la sous-station consistent dans l'inversion momentanée du courant de garde.

Les impulsions du poste de Paris consistent dans la mise en opposition des deux batteries de Paris et de la sous-station pour annuler pendant de courts instants le courant de garde.

Un code d'impulsion permet de discriminer les diverses commandes de signalisation ; ce code comprend un numéro de série (de 1 à 9) et un numéro d'ordre (de 1 à 33). Pour le contrôle et par sécurité chaque numéro est suivi du numéro complémentaire (à 10 pour les numéros de série, à 34 pour les numéros d'ordre).

Un ordre n'est exécuté que si le poste récepteur a reçu correctement les impulsions complémentaires, soit donc au total 44 impulsions.

Ces impulsions sont émises au rythme de 10 par seconde ; les numéros sont obtenus par espacement des impulsions pendant 2/10 de seconde.

L'envoi d'un ordre est suivi immédiatement de la signalisation d'exécution de l'ordre ; le temps total est de 10 à 20 secondes suivant la durée d'exécution de l'ordre.

On ne peut envoyer qu'un seul ordre à la fois et le circuit reste occupé jusqu'à exécution de l'ordre ; si cette exécution tarde ou ne se fait pas, un relais temporisé libère le circuit.

Dans le sens sous-station - Paris plusieurs signalisations peuvent être émises simultanément.

Les impulsions reçues sont transmises à un certain nombre de relais et sélecteurs qui ont pour but de contrôler la transmission et d'aiguiller l'ordre d'exécution sur le relais final auquel il doit aboutir.

L'émission des impulsions est obtenue par un système de relais et sélecteurs mis en marche soit par la manœuvre d'une tirette ou d'un poussoir du tableau de Paris, soit par le changement de position d'un appareil dans la sous-station.

**Télémesure.** — Dans chaque sous-station est placé un compteur mesurant l'énergie débitée sous 1 500 V par la sous-station ; ce compteur émet des impulsions dont la fréquence est proportionnelle au débit.

Ces impulsions sont reçues par un compteur spécial au poste de Paris ; celui-ci tourne avec une vitesse proportionnelle à la fréquence des impulsions reçues. Ce compteur enregistre donc l'énergie débitée par la sous-station et actionne le maxigraphe correspondant.

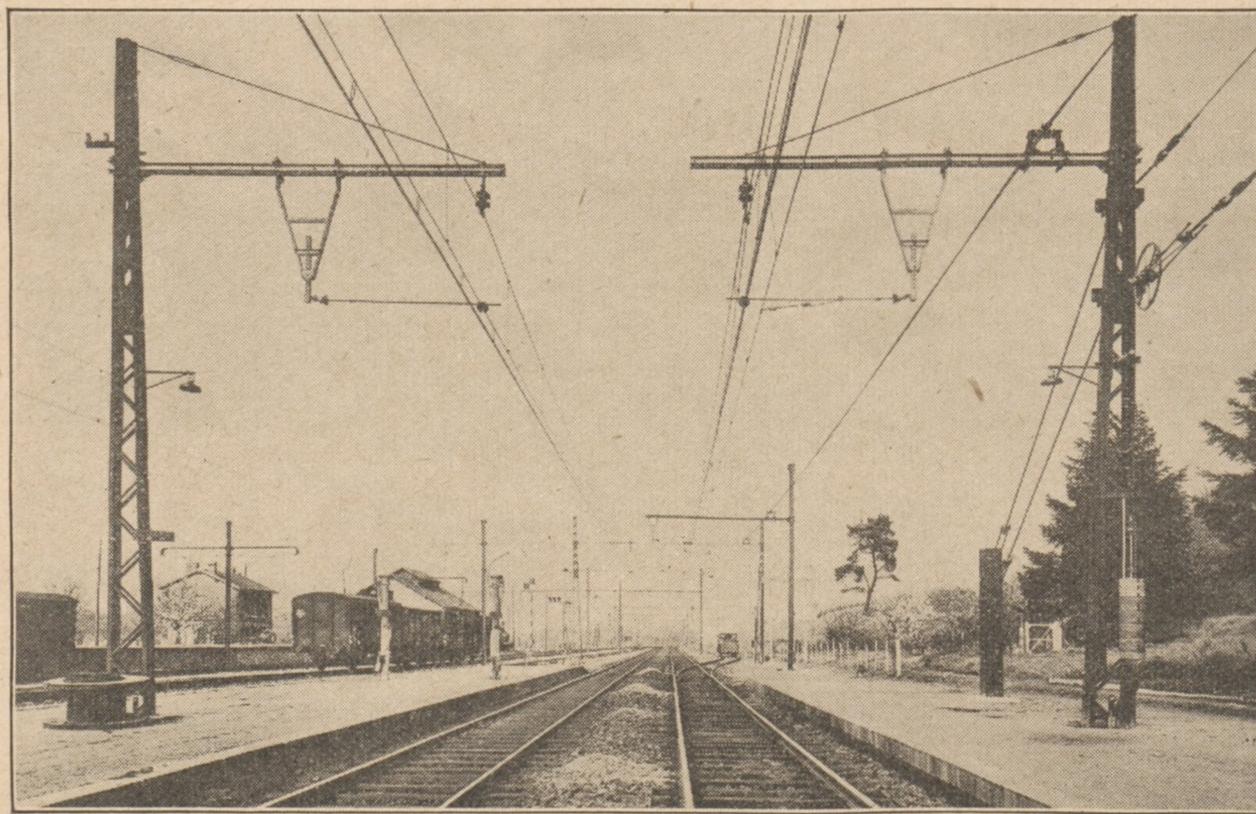
Les impulsions reçues agissent également sur un autre dispositif relié au wattmètre du tableau, de telle sorte que la déviation de l'aiguille est proportionnelle à la fréquence des impulsions.

**Liaisons téléphoniques du régulateur sous-stations.** — Le régulateur sous-stations est relié par une ligne téléphonique à toutes les sous-stations; cette même ligne lui permet également d'entrer en communication avec les gares, dépôts, équipes d'entretien des lignes et sous-stations, pour obtenir certains renseignements, faire exécuter des manœuvres de sectionneurs ou des réparations.

Le « régulateur sous-stations » est de plus en contact permanent avec les régulateurs Exploitation de Paris et du Mans.

C'est au régulateur sous-stations qu'aboutit également la ligne des téléphones d'alarme placés tout le long de la voie, environ tous les 500 m. Ces téléphones sont utilisés, en principe, pour obtenir les coupures de courant d'urgence sur une portion de ligne de contact; ils peuvent servir également de liaison entre les équipes d'entretien des lignes et le régulateur sous-stations.

Fig. 6. — Vue de la ligne caténaire dans une petite gare.



Enfin, le régulateur sous-stations est relié téléphoniquement par fil direct au dispatching du fournisseur de courant, rue de Messine, ainsi qu'aux postes de Luisant et d'Arnage. Toutes les manœuvres concernant les lignes H.T. et l'alimentation des sous-stations sont réalisées après accord entre le régulateur sous-stations et le dispatcher d'Inter-Paris; en cas d'incident sur la H.T. les deux régulateurs peuvent prendre, en connaissance de cause, les décisions les plus favorables à un prompt

retour à une alimentation correcte des sous-stations.

## VI. — LIGNES DE CONTACT

### Choix de la caténaire et constitution

Le courant continu à 1 500 V est distribué sur la voie par une ligne aérienne à suspension caténaire identique, à quelques détails près, à celle de la Compagnie d'Orléans, c'est-à-dire à une caténaire semi-rigide Compound à deux fils de contact.

Cette caténaire comporte :

- 1 câble porteur en bronze de 116 mm<sup>2</sup>,
- 1 porteur auxiliaire en cuivre de 104 mm<sup>2</sup>.
- 2 fils de contact en cuivre de 102 mm<sup>2</sup>.

L'ensemble de ces quatre conducteurs équivaut à une section de cuivre de 400 mm<sup>2</sup>.

Dans la zone de la banlieue où l'intensité des circulations et des démarrages fréquents peuvent entraîner des appels de courant importants, cette

caténaire est complétée par un feeder en câble de cuivre de 262 mm<sup>2</sup> qui est supporté par les mêmes suspensions que le porteur principal.

### Matériel — Supports

Le principe de l'indépendance des voies qui a été appliqué très largement a conduit à utiliser, en règle générale, des poteaux avec console pour chaque voie.

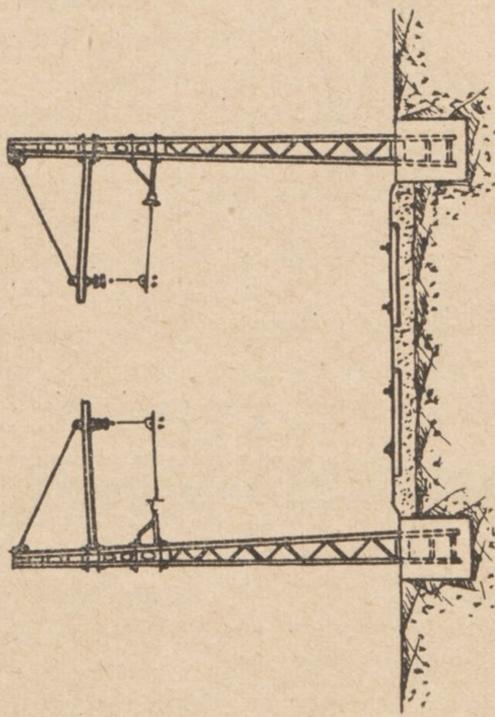
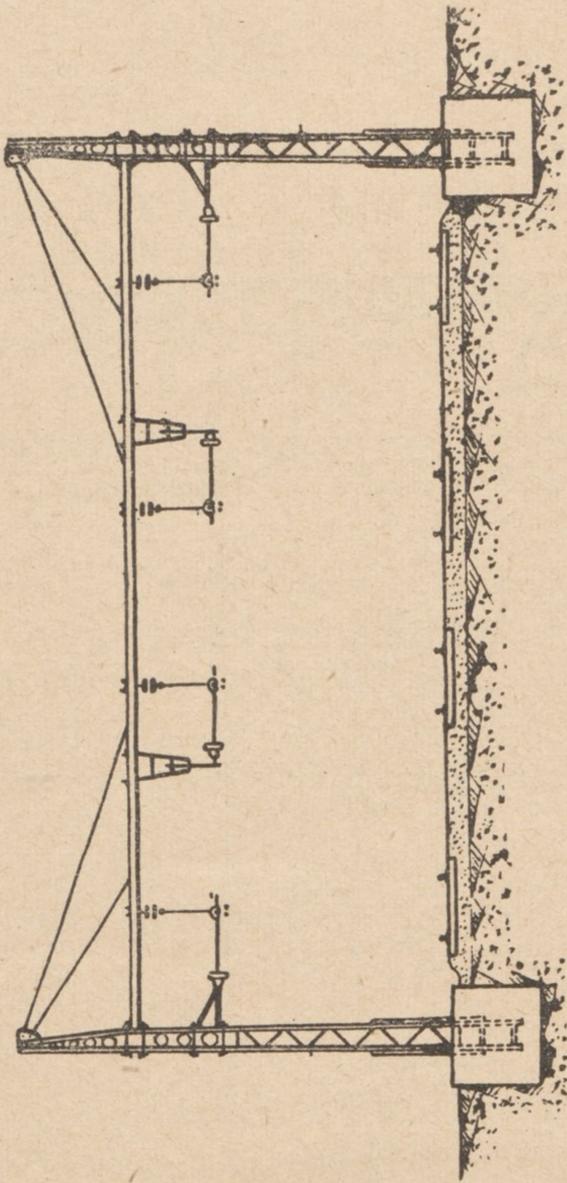
Pour la constitution des pylônes, on a utilisé des U spéciaux, à âme très mince et à faces paral-

lèles, dont la mise au point et le laminage ont été spécialement étudiés, ceci permet l'assemblage, sans forgeage, des barres de treillis sur les faces internes des ailes.

Les pylônes et leurs éléments constitutifs ont été rattachés à un petit nombre de types, de manière à simplifier les approvisionnements et abaisser le prix de revient de la construction.

L'aspect des pylônes a été particulièrement soigné. Leur base élargie a permis de leur donner

Fig. 7. — Supports courants — Support-console — Portique à poutre haubannée.



— Portique souple —

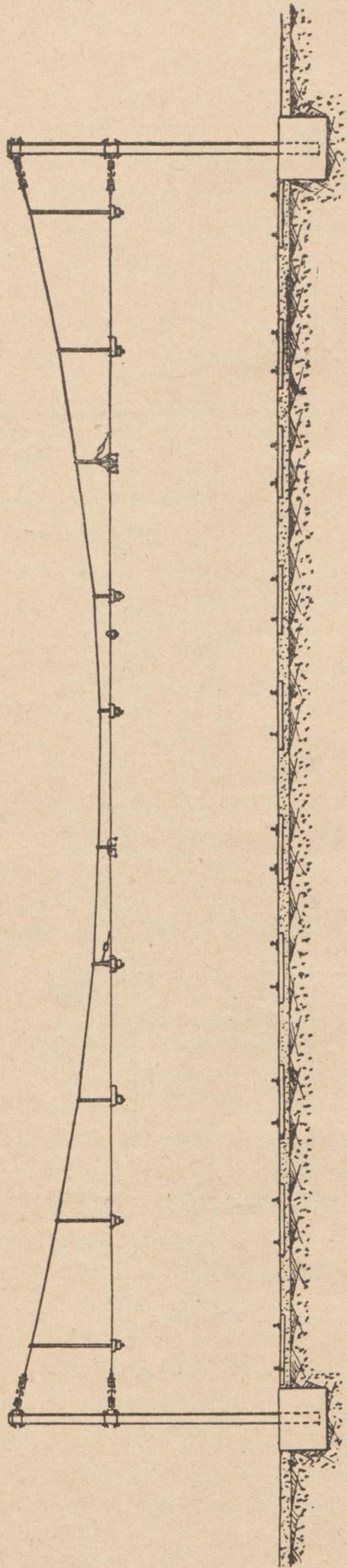
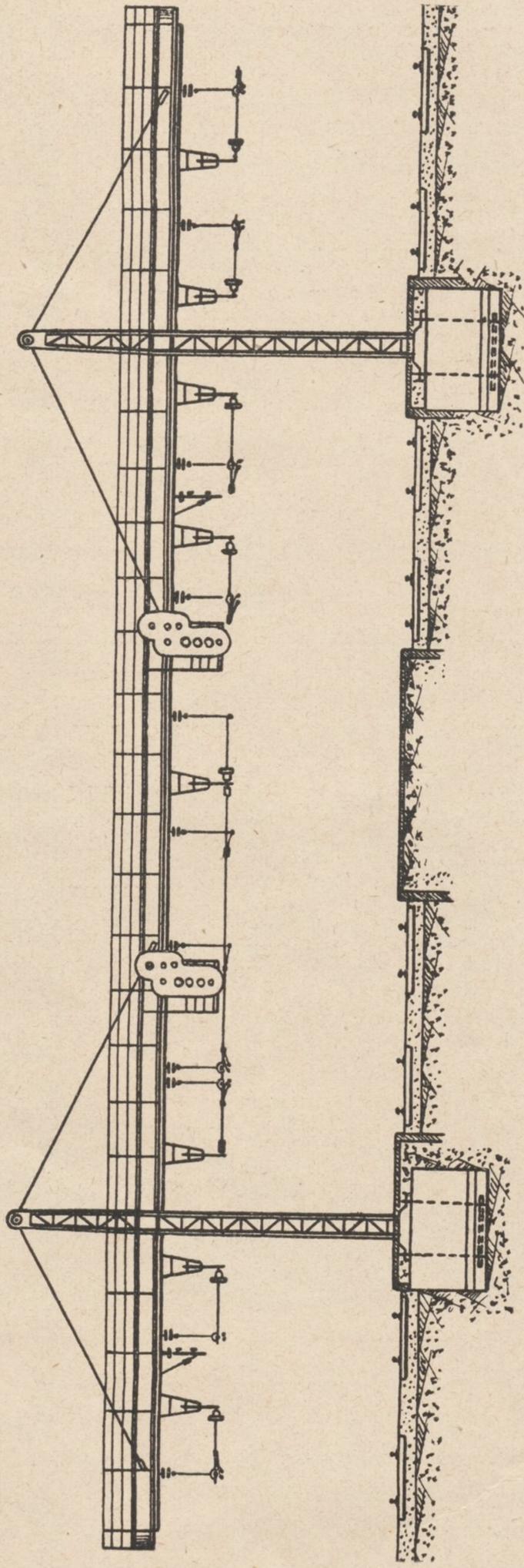
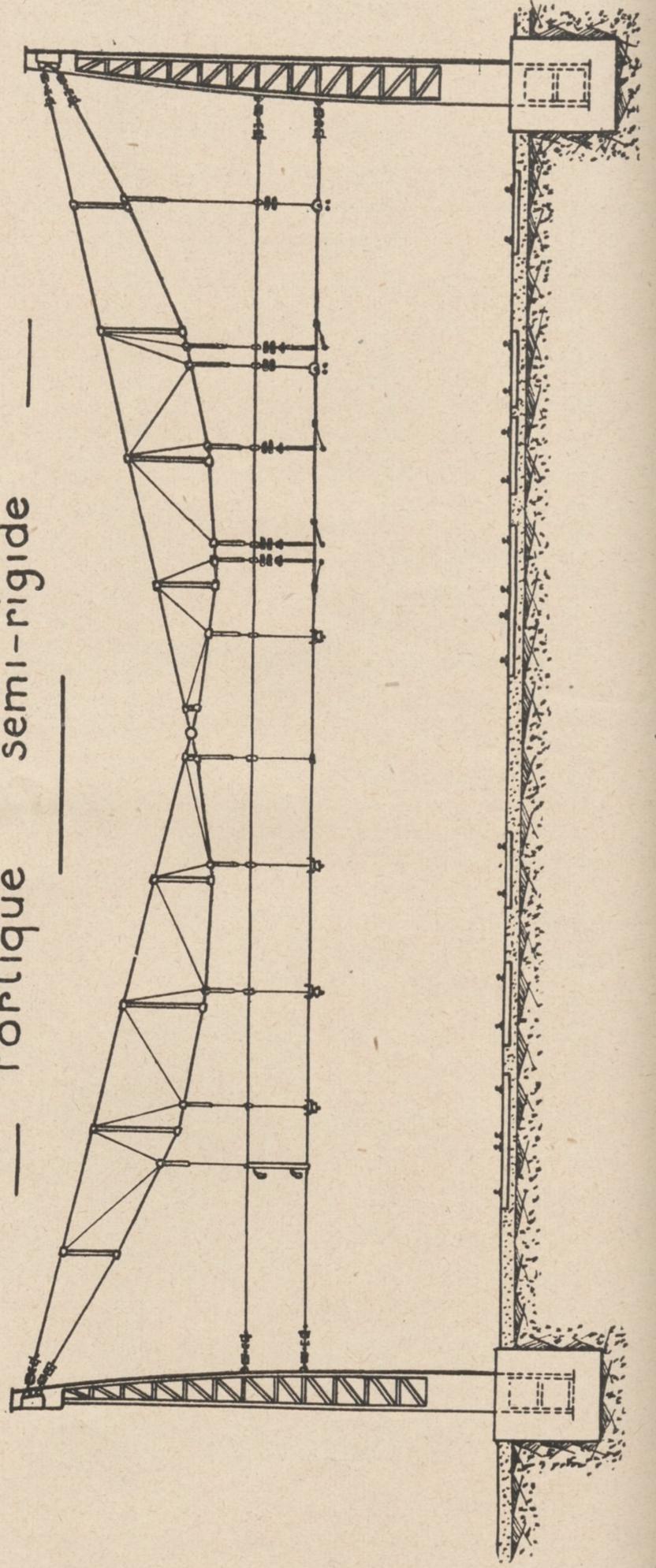


Fig. 8. — Supports spéciaux. — Portique mixte pour caténaires et signaux.



— Portique semi-rigide —



un fruit important, qui concourt à la légèreté de l'ensemble.

Le problème des grandes portées a été résolu de manières différentes.

A Versailles-Chantiers, on a utilisé des portiques semi-rigides, composés de deux funiculaires doubles en câble entretoisés par des barres de compression.

Les portées réalisées sont de l'ordre de 60 m. Les poteaux de 15 m, fortement galbés, ont une section triangulaire et ont été réalisés entièrement par soudures au moyen de tôles pliées et de cornières.

Au Mans, on a combiné les supports des lignes caténaires avec ceux nécessités pour les panneaux de signalisation ; cela a conduit à utiliser de grands portiques à consoles haubannées avec partie médiane en cantilever. Les portées sont de l'ordre de 50 m.

Les différents types de supports (normaux et exceptionnels) sont représentés sur les fig. 6, 7 et 8.

### Matériel caténaire

Le principe du double isolement des parties sous tension a été rigoureusement respecté.

Les isolateurs employés sont des isolateurs type Hewlett pour les suspensions de caténaire, cap et cône pour les fils tramway et des noix de 9 et 12 t pour les ancrages.

Tous ces isolateurs sont en porcelaine et leurs brides d'assemblage sont des pièces rigides en bronze d'aluminium.

Pour assurer la position correcte en plan de la caténaire, le porteur auxiliaire est relié à chaque support par des antibalancants et dans les courbes les fils de contact sont rappelés par des bras isolés fixés sur l'antibalançant.

Les variations de tension mécanique des fils de contact sont compensées par des tendeurs espacés d'environ 1 200 m. Cette compensation est automatique dans une étendue de 20°, soit par l'emploi de treuils différentiels qui amplifient 5 fois la course des fils de contact et supportent un contrepoids de 500 kg, soit par des ressorts dont la tension est régularisée par des cames spécialement étudiées.

Les solutions de continuité électrique sont réalisées sur les voies principales au moyen de sectionnements à lame d'air et sur les voies de service parcourues à faible vitesse au moyen d'isolateurs de section.

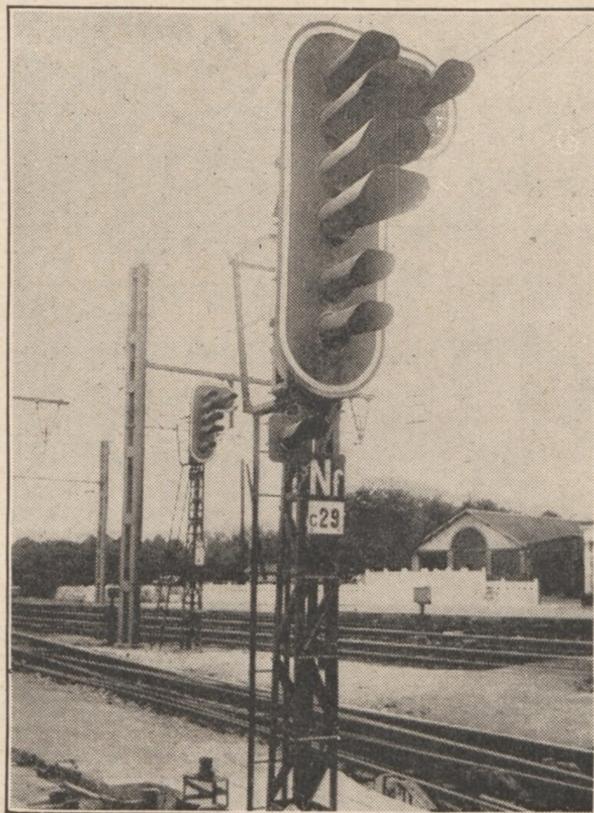
Ces sectionnements sont également pontés par des sectionneurs à manœuvre manuelle. Cependant dans les gares de Montparnasse et du Mans, la manœuvre des différents sectionneurs se fait à partir des postes d'aiguillages commandant la zone intéressée au moyen de moteurs électriques. Deux feeders, dont l'un de secours, alimentent chaque zone par l'intermédiaire de disjoncteurs. Lors d'un incident électrique, les aiguilleurs peuvent ainsi dans un minimum de temps, isoler la section défectueuse et rétablir le courant sur les autres sections de leur zone d'action.

### VII. — BLOCK AUTOMATIQUE

Le block lumineux assure, dans les conditions de sécurité optima, l'écoulement rapide des circulations à grande vitesse.

Les conditions nouvelles du trafic justifiaient un tel équipement et il y avait le plus grand intérêt à effectuer simultanément les travaux de block et ceux d'électrification, de manière à poser en même temps et dans les meilleures conditions les différentes canalisations, tout en évitant des modifications délicates dans des installations en service.

Fig. 9. — Panneaux de block automatique à signaux lumineux.



La traction étant assurée à l'aide de courant continu à 1 500 V, le courant de signalisation des circuits de voie est nécessairement alternatif, de fréquence 50 (normalisée en France). Les circuits de voie successifs sont séparés par des joints isolants ; des connexions inductives, à chaque extrémité des zones isolées, permettent le passage du courant continu de traction tout en opposant l'obstacle de leur impédance à la transmission du courant alternatif de signalisation.

Les panneaux de block (Fig. 9) ont été utilisés également pour assurer la protection des sectionnements principaux de la caténaire, de manière à arrêter une circulation avant qu'elle ne s'engage sur une section privée de courant. Les panneaux correspondants sont équipés pour pouvoir pré-

senter le signal carré (celui-ci étant commandé de la gare la plus voisine).

**Alimentation normale du block.** — La régularité de fonctionnement d'une installation de block à courant alternatif dépend de la sécurité et de la stabilité de son alimentation générale. Des soins particuliers ont été pris en vue d'assurer celle-ci avec le maximum de garanties.

L'énergie nécessaire à l'alimentation du block automatique est prélevée dans chacune des sous-stations de traction de manière à bénéficier des installations montées dans celles-ci et des sources de courant à très haute tension, ainsi que de la surveillance correspondante.

La source normale est constituée par le courant à H.T. alimentant la sous-station (90 000 ou 60 000 V) provenant des grands centres d'alimentation d'Elancourt, de Luisant et d'Arnage.

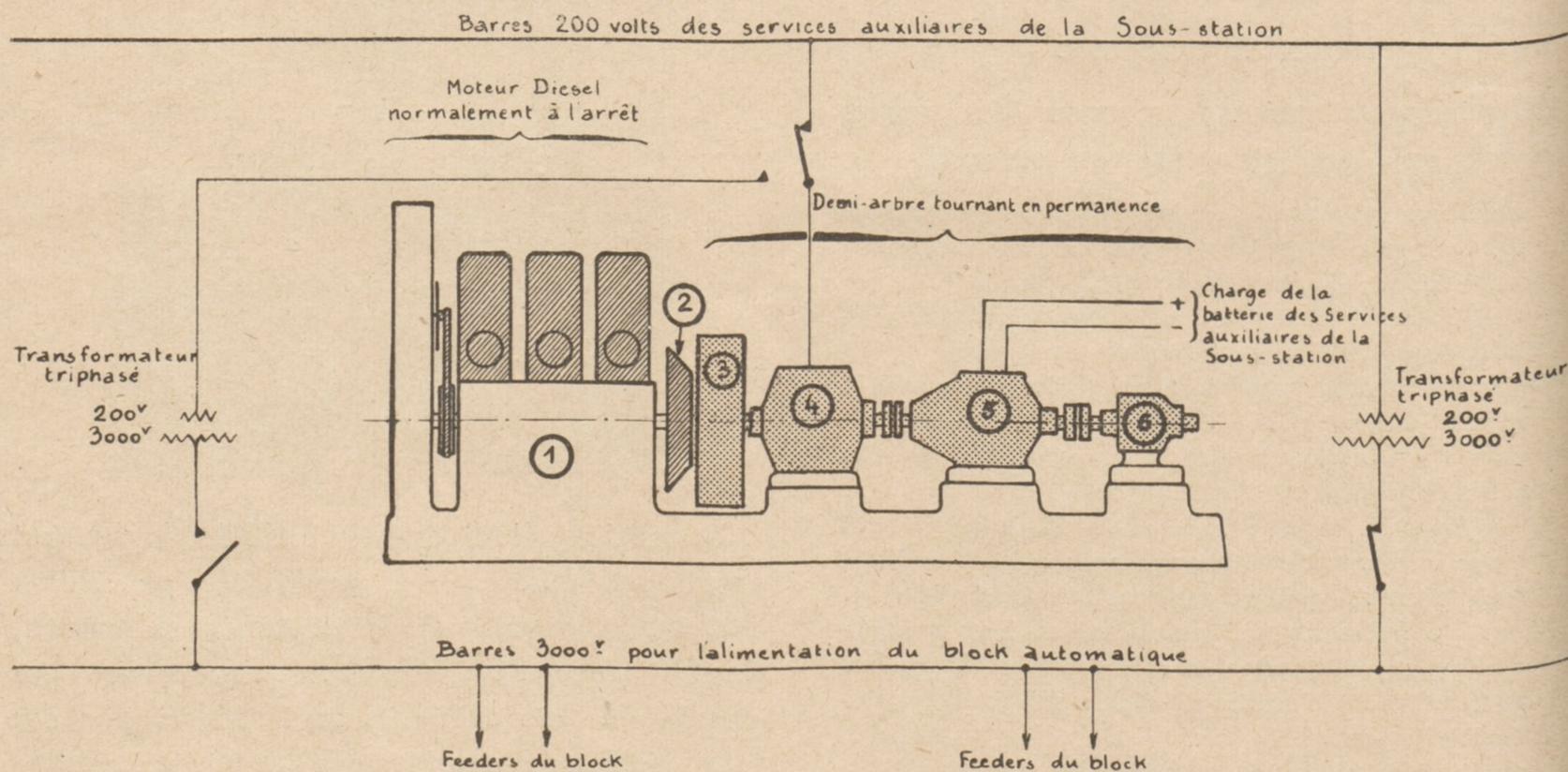
Les transformateurs de signalisation situés dans les sous-stations produisent le courant triphasé

3 000 V qui est distribué en campagne entre les sous-stations à l'aide de deux feeders constamment en charge.

**Alimentation de secours du block.** — En dehors de la source normale, constituée par les transformateurs ci-dessus, il existe dans chaque sous-station une source de secours constituée par un groupe électrogène à démarrage automatique dont le moteur Diesel comporte une chemise réchauffée avec thermostat.

Afin d'obtenir, en cas de coupure du courant normal, une substitution presque instantanée du courant de secours, l'installation comprend un volant de grande inertie, tournant en permanence. Quand l'alimentation est normale, ce volant est entraîné par un moteur synchrone (à démarrage asynchrone) claveté sur le même arbre que le volant. En cas de défaillance de la source normale, un embrayage magnétique rend cet arbre solidaire de celui d'un moteur Diesel, qui démarre aussitôt.

Fig. 10. — Schéma du groupe de secours d'alimentation du block.



(1) Moteur Diesel normalement à l'arrêt.

démarre automatiquement en cas de panne de courant par l'intermédiaire de l'embrayage magnétique (2) qui le réunit au volant (3) tournant en permanence.

(2) Embrayage magnétique excité en cas de panne de courant assure la liaison entre le Diesel (1) et le volant (3).

(3) Volant tournant en permanence entraîné normalement par le moteur synchrone (4) ou par le Diesel (1), en marche de secours.

(4) Moteur synchrone = Alternateur

tourne en permanence soit normalement en moteur synchrone avec alimentation par le courant triphasé 200 volts des services auxiliaires, soit en marche de secours comme alternateur entraîné par le moteur Diesel (1) par l'intermédiaire de l'embrayage magnétique (2) et du volant (3).

(5) Génératrice utilisée en permanence pour la charge de la batterie d'accumulateurs des services auxiliaires de la sous-station (y compris embrayage magnétique) entraînée par le demi-arbre en rotation permanente.

(6) Excitatrice du Moteur synchrone — Alternateur (4).

Le moteur synchrone fonctionne alors en alternateur. Le courant de celui-ci est transmis aux feeders dès que sa tension et sa fréquence sont normales. La durée totale de coupure dans ces conditions n'excède pas **cinq secondes**.

**Feeders.** — Les deux feeders assurant la distribution en ligne du courant de signalisation depuis les sous-stations jusqu'aux appareils de block automatique, sont des câbles armés, isolés sous papier imprégné et logés dans deux des alvéoles de la canalisation multitubulaire disposée en terre le long de la ligne. Cette conduite souterraine reçoit aussi les différents câbles électriques à basse tension (110 V) du block, les câbles de téléphonie et de la commande à distance des sous-stations.

Pour les dérivations de courte longueur et les branchements entre la sortie de la canalisation multitubulaire et des appareils, il a été fait usage de caniveaux d'un type nouveau, en amiante-ciment, de faible poids, de pose facile et assurant une protection satisfaisante des câbles, notamment de ceux à basse tension du block, constitués par des conducteurs isolés et protégés par une gaine de caoutchouc « extra-nerveux ».

Normalement, les deux feeders à 3000 V (triphase) qui alimentent une section de block automatique comprise entre deux sous-stations voisines de Traction sont branchés sur les sources de la sous-station située côté Paris, sans liaison avec les sources de la sous-station côté Le Mans. Toutefois, si pour une raison quelconque (incident ou visite d'entretien), les sources d'énergie de la sous-station côté Paris ne sont plus disponibles, il est possible de brancher par des opérations manuelles très rapides les deux feeders sur les sources de la sous-station côté Le Mans. Bien entendu, ces opérations manuelles, qui ne sont effectuées qu'exceptionnellement, sont protégées par des enclenchements, de sous-station à sous-station qui s'opposent à toute manœuvre incorrecte ou dangereuse des appareils.

Ce dispositif d'alimentation, d'un type nouveau sur les installations de block automatique, procure le maximum de ressources en cas d'incident sur l'alimentation (sous-station, transformateur général, câblerie, etc...) tout en assurant à tout moment la parfaite sécurité du personnel qui doit travailler sur les installations à 3000 V.

Sur le terrain, à chaque panneau de block ou groupe de panneaux voisins, chacun des deux feeders aboutit à un transformateur qui abaisse la tension à 110 V. Le courant à 110 V est utilisé sous cette tension dans les différents circuits de ligne et, après abaissement convenable, pour l'alimentation des lampes des panneaux lumineux et des circuits de voie qui fonctionnent à très basse tension.

Le montage des relais contacteurs de commande de l'alimentation en campagne est tel qu'en cas de défaillance de l'alimentation par le feeder utilisé normalement pour un panneau déterminé, un appareillage automatique assure instantanément l'alimentation par le second feeder toujours sous tension.

Les deux feeders 3000 V étant constamment en charge, les armoires Haute Tension utilisées normalement ont pu être réparties sur les deux feeders, ce qui a permis de réduire au minimum les chutes de tension en ligne.

Un voyant, perceptible de la voie, indique que l'armoire correspondante est bien alimentée par le feeder normal, ce qui permet, en cas de défaillance, d'alerter aussitôt un agent de tournée.

**Enclenchements.** — Ainsi qu'il a été indiqué déjà, des enclenchements réalisent les conditions de sécurité et de protection sur les installations à 3000 V. Ils sont assurés à partir des disjoncteurs de départ des feeders dans les sous-stations. A chaque feeder correspond un transmetteur électrique de clé d'enclenchement qui ne permet de fermer le disjoncteur situé à une extrémité du feeder que si le disjoncteur de l'autre extrémité est ouvert et immobilisé à l'ouverture par emprisonnement de sa clé dans le transmetteur de la sous-station correspondante.

En outre, les armoires des postes de transformation 3000/110 V ont leurs portes enclenchées par serrures, de telle sorte qu'il est impossible d'ouvrir la porte d'une armoire et d'accéder aux installations intérieures, sans qu'au préalable les deux disjoncteurs situés aux extrémités du feeder correspondant aient été ouverts et enclenchés à l'ouverture par emprisonnement de leur clé dans le transmetteur ou dans la serrure centrale.

L'agent qui veut visiter une armoire de poste de transformation en campagne, doit aller chercher à la sous-station d'alimentation située

côté Paris, une clé normalement prisonnière sur une serrure centrale, qui lui permet d'ouvrir l'armoire avec toutes les conditions de sécurité requises.

### VIII. — LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES ET TÉLÉPHONIQUES

**Dispositions générales adoptées.** — La voie ferrée était encombrée de chaque côté par des nappes de fils téléphoniques et télégraphiques importantes.

L'obligation de laisser une distance minimum de 1 mètre entre les pylônes de la caténaire et les fils les plus proches des nappes téléphoniques aurait nécessité le déplacement des artères sur la presque totalité du parcours, et, par conséquent, des dépenses importantes d'acquisition de terrains et de travaux.

Cette solution n'aurait pas évité les effets d'induction sur les circuits téléphoniques, d'autant plus à craindre que l'alimentation du courant de traction était envisagée au moyen de redresseurs à grille polarisée qui fournissent des harmoniques de fréquence audible.

Il a été jugé préférable de placer tous les conducteurs voisins de la voie ferrée dans des câbles.

Les circuits à encâbler comportaient :

— Des circuits téléphoniques à grande distance des P.T.T. ;

— Des circuits téléphoniques à grande distance du Réseau ;

— Des circuits téléphoniques à moyenne distance du Réseau ;

— Des conducteurs de télécommande ou de télémesure pour les sous-stations ;

— Des fils télégraphiques des P.T.T. ;

— Des circuits téléphoniques de gare à gare.

Ces circuits ont été groupés dans trois câbles distincts :

1<sup>o</sup> Un câble de circuits à **longue distance**.

Tous ces circuits ont dû être pupinisés pour corriger les effets de la capacité des conducteurs entre eux.

Ce câble, mixte, est affecté à la fois aux communications téléphoniques du Réseau et à celles des P.T.T.

2<sup>o</sup> Un câble affecté à la **télécommande** et à la **télémesure** ainsi qu'à certaines relations téléphoniques à moyenne distance.

Les circuits correspondant à ce dernier sont seuls pupinisés.

3<sup>o</sup> Un câble pour les **relations locales** des gares.

Quant aux relations télégraphiques des P.T.T. elles ont été reconstituées en télégraphe harmonique dans un câble à longue distance que cette Administration possédait déjà entre Paris et Le Mans.

La mise en câble des circuits intéressant l'exploitation et la signalisation constitue une mesure de sécurité contre la plupart des incidents affectant les circuits aériens.

**Conduites multitubulaires.** — Le Réseau de l'État a tenu à donner à ses câbles une sécurité aussi absolue que possible en les logeant dans des conduites souterraines. Il a adopté, à cet effet, des conduites multitubulaires d'un type monolithe moulées à même le sol au moyen d'un système spécial.

Ce système, utilisé sur les routes par l'Administration des P.T.T. consiste à construire une canalisation enterrée en béton comportant plusieurs alvéoles servant au logement des différents câbles.

Le mode de fabrication permet d'obtenir des monolithes de grandes longueurs. Le béton est coulé sur place dans une tranchée creusée à l'avance ; le vide des alvéoles est ménagé dans le béton au moyen de tuyaux en caoutchouc gonflés avec de l'air de manière à obtenir le diamètre voulu de 8 cm. Lorsque le béton a terminé sa prise, on dégonfle les tuyaux et on les retire soit en les retournant comme un doigt de gant, au moyen d'une corde intérieure, soit simplement en tirant sur leur extrémité libre. On obtient ainsi un bloc monolithe percé d'alvéoles cylindriques, absolument lisses, d'une longueur qui ne dépend que de celle des tuyaux utilisés. On peut, en recommençant l'opération et en laissant l'extrémité des tuyaux engagés dans la partie déjà faite, exécuter une canalisation de la longueur que l'on veut.

Pour placer tous les câbles, une canalisation comportant 9 alvéoles a été prévue en trois rangées superposées de 3 alvéoles (fig. 12).

7 alvéoles ont été utilisés, deux autres sont restés en attente, soit pour de nouveaux câbles, soit pour remplacer facilement un câble en cas d'avarie.

Lorsque l'état du sol ou la présence d'obstacles empêchait l'établissement de la conduite, on a posé des caniveaux à plusieurs compartiments.

Pour les canalisations sur routes, on utilise les

accotements ou les trottoirs, on dispose ainsi d'un terrain peu accidenté où le piquetage est très simplifié. Sur une ligne de chemin de fer la plateforme, en dehors des voies, ne présente que peu de largeur, et le problème se complique par la

Fig. 11. — Block multitubulaire en cours de coulage.



Fig. 12. — Coupe du block multitubulaire. Répartition des aléoles.

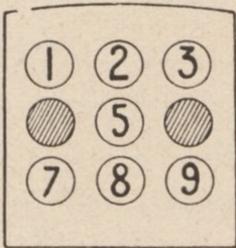
1 et 3 : Block H.T.

2 et 5 : Block B.T.

7 : Commande

8 : Omnibus

9 : P.T.T. et Réseau



présence des massifs de fondation des poteaux des caténaires. Ces massifs ne laissent généralement libre que l'emplacement de la piste dont il a fallu se contenter dans certains cas.

En réalité, on s'est efforcé de mettre la canalisation multitubulaire en dehors des massifs de caténaires, mais on s'est heurté à tous les accidents du terrain naturel. Il a fallu monter en crête des déblais, passer au pied des talus de remblais, franchir les obstacles : cours d'eau et routes. Il fallait en outre observer certaines règles pour

éviter que le tirage soit impossible dans une canalisation trop tourmentée, en particulier veiller à ce que les raccordements, soit en plan, soit en profil, se fassent par des courbes d'au moins 50 m de rayon.

Les chantiers qui avaient exécuté jusqu'à présent des canalisations multitubulaires, construisaient 60 à 90 m de conduite par jour et ne travaillaient qu'à la belle saison.

Pour rester dans les délais fixés pour l'ensemble des travaux, il a fallu prévoir une cadence de 1 000 m par jour, ce qui représentait environ 300 m<sup>3</sup> de terrassement et 125 m<sup>3</sup> de béton mis en œuvre quotidiennement et nécessitait un personnel nombreux, non entraîné au début des opérations.

On a d'abord commencé par organiser un chantier, puis dès que l'on a disposé du personnel entraîné, ce chantier a été doublé, puis quadruplé.

Chaque chantier travaillait entre deux gares et était alimenté en béton par un train spécialement aménagé à cet effet. Afin d'assurer le plein rendement du train, chaque chantier était scindé en deux, l'un travaillant sur les parties de canalisation situées du côté impair de la voie, et l'autre sur le côté pair. Ainsi, à chaque allée et venue entre les deux gares, le train pouvait approvisionner un demi-chantier.

Les travaux commencés le 10 Octobre 1935 ont été entièrement achevés le 5 Septembre 1936.

**Mise en place des câbles.** — 180 km de canalisation multitubulaire ont été construits. La longueur moyenne exécutée ressort à 735 m par jour ouvrable et elle a atteint, dans une semaine 1 746 m.

La distance entre bobines Pupin consécutives a été fixée à 1 840 m, avec une tolérance de  $\pm 1$  m.

L'intervalle entre guérites Pupin a été partagé en 8 tronçons, dont 4 de 247,50 m et 4 de 212,50 m; les tronçons de conduite monolithe des longueurs ainsi définies étaient jonctionnés entre eux par l'intermédiaire de chambres de 1,50 m de long, à parois de béton, à l'intérieur desquelles étaient confectionnées les boîtes d'épissure des câbles.

Enfin, tous les 60 m environ, la conduite a été coupée par des chambres analogues aux chambres d'épissures, destinées plus spécialement à servir de regards et à faciliter le tirage. Les câbles les traversent purement et simplement, sans y être supportés.

Pour faciliter le tirage des câbles, dans chaque alvéole était placé, au moment de la confection de la conduite, un fil de fer auquel était substitué un câble de traction au moment de la mise en place du câble téléphonique. Le câble téléphonique était solidarisé avec le câble de traction à l'aide d'un grip qui le coiffait sur 1 m environ. Il était tiré dans l'alvéole à l'aide d'un treuil actionné par un moteur à essence.

Avant confection des épissures, les paires téléphoniques à raccorder entre elles étaient judicieusement déterminées par la mesure précise des capacités des conducteurs de façon à réduire au minimum les écarts de capacités des paires par rapport à la valeur moyenne des capacités.

**Câbles téléphoniques.** — Les caractéristiques les plus importantes des câbles téléphoniques sont les suivantes :

- Résistance de claquage des câbles entre fils et terre : 2 000 V continus ;
- Résistance d'isolement: 10 000 mégohmskm ;
- Charge des circuits pupinisés : cette charge lourde correspond à une self de 177 millihenrys pour les bobines placées sur les circuits réels et à une self de 63 millihenrys pour les bobines des circuits combinés.

Les câbles sont armés en feuillards ou en fil d'acier, ce dernier mode d'armure s'étant révélé supérieur pour la tenue des petits câbles pendant les opérations de tirage en conduite.

**Diaphonie.** — Pour les circuits à longue distance, 1,17 népers par 100 km. Pour les circuits à moyenne distance, 2,4 népers par 100 km. Pour les circuits à petite distance, 5 népers par 100 km.

Il convient d'ajouter que les fréquences vocales supérieures à 2 860 périodes par seconde ne seront pas écoulées dans les câbles à moyenne et longue distance.

**Dispositions spéciales.** — Pour combattre les tensions induites dans les conducteurs des câbles par les lignes à H. T. voisines on a veillé à ne jamais interrompre la continuité des armures de plomb et de feuillard.

Pour se prémunir contre les dangers de propagation par l'armure de courants importants (des courants de court-circuit, par exemple), on a intercalé, tous les 5 km environ, sur les armures des câbles, des fusibles de 25 A — 1 500 V.

Enfin, pour lutter contre la corrosion électrolytique que provoquerait la circulation de courants vagabonds dans les enveloppes des câbles, non seulement on les a armés et, au moment de la pose, vaselinés, mais encore on a adopté, pour revêtir l'âme des câbles, un alliage de plomb avec 2 % d'étain. La teneur en étain a même été élevée à 3 % pour les câbles franchissant les ponts métalliques où, en raison des trépidations qu'ils auront à supporter, ils seront plus sujets à la corrosion cristalline.

**Circuits téléphoniques spéciaux à l'électrification.** — Pour les demandes urgentes de coupure du courant de traction, des téléphones « d'alarme » ont été installés sur la voie, tous les 500 m environ. Ils sont alternativement branchés sur deux circuits du câble pupinisé à conducteurs de 13/10.

Les deux circuits d'alarme aboutissent dans la salle du régulateur des sous-stations de traction. Pour appeler celui-ci, il suffira de décrocher le combiné d'un téléphone.

Plus de 475 postes d'alarme ont été ainsi installés.

Toutes les sous-stations de traction, les gares et les dépôts de la ligne Paris-Le Mans seront reliés au même régulateur par un circuit spécial du type Dispatching. Les appareils téléphoniques de ce circuit sont d'un type nouveau ; les appels des postes satellites sont, en effet, effectués par le régulateur au moyen de l'envoi de « trains de courants » à fréquence vocale. Les appels sont sélectionnés par la combinaison des fréquences des courants d'appels et du rythme de leur succession. Étant donné le grand nombre des postes Dispatching — près de 80 — le circuit qui les dessert est un « circuit 4 fils » dont deux conducteurs servent à converser dans un sens, les deux autres étant empruntés pour répondre dans le sens opposé.

Enfin, une paire de câbles téléphoniques omnibus a été utilisée pour constituer un circuit « omnibus » qui dessert toutes les sous-stations, les postes de sectionnement intermédiaires et les gares voisines des dits postes.

**Table de mesures.** — Les deux câbles pupinisés passent, à leur arrivée à Paris, en coupure dans une table de mesures qui a été équipée avec un pont de Wheastone, un hypsomètre pour la mesure des niveaux de transmissions, un kerdomètre pour la mesure des affaiblissements, un psophomètre pour la mesure des tensions de bruit induites dans les circuits, un pont d'impédance, etc...

## II. — LE MATÉRIEL ROULANT ÉLECTRIQUE

Le matériel roulant électrique comprend :

- les locomotives 2. D. 2. utilisées pour les Rapides ;
- les locomotives BB utilisées pour les Express ne dépassant pas 95 km/h et les trains de marchandises de toutes natures ;
- les locomotives BB utilisées pour les trains de banlieue ;
- les éléments automoteurs (une motrice et une remorque) pour la petite banlieue (148 places assises) ;
- les automotrices doubles (Budd) destinées en principe au service de grande banlieue (132 places assises) ;
- les automotrices pour le service omnibus de Chartres au Mans (78 places assises).

Le Tableau ci-après (p. 102) donne les caractéristiques essentielles de ces divers matériels.

### I. — CHOIX DU MATÉRIEL

Le problème de la traction des trains de voyageurs rapides et express et des trains de marchandises avait déjà été résolu dans d'excellentes conditions par les Réseaux du Midi et du P.-O., qui possédaient des types de locomotives donnant entière satisfaction. Il fut décidé de ne pas étudier de nouveaux types de locomotives et de faire construire des machines sensiblement identiques à celles utilisées par ces deux réseaux.

Compte tenu des résultats d'exploitation obtenus avec les différents types de locomotives en service en 1934 et du fait que l'électrification de la

ligne Paris-Le Mans était réalisée au compte du Plan Marquet qui imposait une répartition des travaux entre les divers constructeurs français au prorata de leur capacité de production, il fut décidé que le Réseau de l'Etat adopterait, pour ses 23 locomotives à grande vitesse, des 2.D.2. analogues à celles construites pour le P.-O. par la Compagnie Electro-mécanique et la Compagnie de Fives-Lille et pour ses 35 machines de marchandises, des BB dérivant du modèle le plus récent du Midi, étant entendu d'ailleurs que ces machines seraient également capables d'assurer le service de trains express à des vitesses moyennes de 85 km/h.

Le Réseau de l'Etat possédait déjà d'autre part trente locomotives BB, à faible puissance, construites en 1924, qui assuraient le service des trains de grande ligne partant de Paris-Invalides jusqu'à Versailles-Chantiers. Ces machines n'avaient circulé que sur des lignes équipées en courant continu 600 V avec 3<sup>e</sup> rail, mais avaient été prévues pour marcher éventuellement à 1 500 V. Le départ de trains de grande ligne ayant été supprimé à Paris-Invalides et reporté à Paris-Montparnasse, la majorité de ces locomotives était devenue disponible. Il fut donc décidé, pour réduire les dépenses d'acquisition de matériel moteur, de moderniser ces machines de façon à leur permettre d'assurer avec une sécurité entière un service normal à 1 500 V, tout en gardant la possibilité de les faire circuler sur les lignes de la petite banlieue restées équipées avec du courant continu 600 V et 3<sup>e</sup> rail.

Les moteurs furent rebobinés pour augmenter leur puissance et l'appareillage en fut modernisé.

Tableau des Caractéristiques

DESIGNATION	LOCOMOTIVES			AUTOMOTRICES		
	2D2	BB	BB.0	Budd	Elément Automot.	S.O.M.U.A Als-Thom
Longueur hors tampons	17 <sup>m</sup> .780	12 <sup>m</sup> .870	12 <sup>m</sup> .140	40 <sup>m</sup> .710	45 <sup>m</sup> .680	23 <sup>m</sup> .760
Nombre de caisses.	1	1	1	2	2	1
Longueur de caisse	16 <sup>m</sup> .590	11 <sup>m</sup> .470	11 <sup>m</sup> .000	39 <sup>m</sup> .210	44 <sup>m</sup> .720	22 <sup>m</sup> .260
Largeur de caisse	2 <sup>m</sup> .980	2 <sup>m</sup> .910	2 <sup>m</sup> .820	2 <sup>m</sup> .920	2 <sup>m</sup> .904	2 <sup>m</sup> .952
Nombre total d'essieux	8	4	4	6	8	4
Nombre d'essieux moteurs	4	4	4	6	4	4
Nombre de bogies.	2 <sup>(a)</sup>	2	2	3	4	2
Empattement total.	14 <sup>m</sup> .400	8 <sup>m</sup> .950	8 <sup>m</sup> .800	34 <sup>m</sup> .800	18 <sup>m</sup> .800	18 <sup>m</sup> .800
Entr'axe des bogies	11 <sup>m</sup> .740	6 <sup>m</sup> .000	6 <sup>m</sup> .100	16 <sup>m</sup> .000	16 <sup>m</sup> .000	16 <sup>m</sup> .000
Diamètre des roues motrices.	1 <sup>m</sup> .750	1 <sup>m</sup> .400	1 <sup>m</sup> .200	0 <sup>m</sup> .950	0 <sup>m</sup> .925	0 <sup>m</sup> .900
Poids adhérent à vide.	80 <sup>T</sup>	80 <sup>T</sup>	64 <sup>T</sup>	74 <sup>T</sup>	56 <sup>T</sup>	37 <sup>T</sup> .5
Poids total à vide.	129 <sup>T</sup> .5	80 <sup>T</sup>	64 <sup>T</sup>	74 <sup>T</sup>	99 <sup>T</sup>	37 <sup>T</sup> .5
Poids total en charge.	-	-	-	91 <sup>T</sup>	121 <sup>T</sup> .5	46 <sup>T</sup> .5
Poids de la partie mécanique.	80 <sup>T</sup>	47 <sup>T</sup>	37 <sup>T</sup> .6	52 <sup>T</sup>	84 <sup>T</sup>	25 <sup>T</sup> .1
Poids de la partie électrique.	48 <sup>T</sup>	32 <sup>T</sup>	26 <sup>T</sup> .4	22 <sup>T</sup>	15 <sup>T</sup>	12 <sup>T</sup> .4
Nombre de moteurs.	4	4	4	6	4	4
Puissance continue.	3320 <sup>CV</sup>	1640 <sup>CV</sup>	832 <sup>CV</sup>	1200 <sup>CV</sup>	800 <sup>CV</sup>	600 <sup>CV</sup>
Puissance unihoraire	3740 <sup>CV</sup>	1760 <sup>CV</sup>	1000 <sup>CV</sup>	1410 <sup>CV</sup>	940 <sup>CV</sup>	800 <sup>CV</sup>
Rapport d'engrenage.	2.31	3.273	3.19	2.85	3.55	3.05
Vitesse maximum en service normal.	130 Km/h	95 Km/h	90 Km/h	130 Km/h	100 Km/h	140 Km/h
Places offertes {	.	.	.	132	128	78
				242	324	130

(a) porteurs.

Ces locomotives assurent la remorque de trains de banlieue reversibles, composés de voitures à étage.

Accouplées, elles peuvent également remorquer des trains de marchandises sur la ligne Paris-Le Mans dans d'aussi bonnes conditions qu'une locomotive BB moderne.

Pour la banlieue, concurrencée par les transports en commun de la Région Parisienne, il fallait, pour soutenir la lutte, obtenir des vitesses commerciales élevées. Ceci nécessitait des accélérations importantes au démarrage et au freinage qui entraînent des consommations de courant par tonne très grandes. Il fallait donc, pour rester dans des consommations totales acceptables, réduire l'importance des masses à mettre en mouvement et à freiner, d'où la nécessité d'un allègement poussé du matériel. C'est vers cette voie que s'est orienté le Réseau de l'Etat ; nous verrons plus loin les procédés qu'il a employés pour résoudre le problème sur ses automotrices doubles de grande banlieue.

Toujours dans le but de faire des économies, on décida d'utiliser 18 automotrices construites en 1910, qui avaient fait le service de la ligne des Invalides et avaient été retirées de la circulation par suite de la défaillance de leur équipement électrique arrivé à limite d'usure après près de 20 ans de service intensif. De ces 18 automotrices on fit, dans les conditions exposées plus loin, 9 éléments automoteurs composés chacun d'une motrice et d'une remorque.

La ligne Paris-Le Mans comporte 9 centres importants desservis par des express. Entre ces centres, existent des localités dont le trafic nécessitait un service susceptible de s'intercaler entre les rapides et express sans gêner la circulation de ceux-ci.

On réalisa donc une automotrice à grandes accélérations, à vitesse de plafond très élevée, ce qui pouvait être envisagé du fait de l'écartement assez grand entre stations, et munie de moyens de freinage puissants. Pour obtenir des conditions économiques acceptables, ce véhicule devait être allégé au maximum.

L'exposé qui va suivre donne la description de chacun de ces types de matériel avec leurs particularités essentielles.

## II. — LES LOCOMOTIVES

### 1° Locomotives 2. D. 2. (Fig. 1)

Les locomotives ont été construites par la C<sup>ie</sup> Electro Mécanique assistée de la C<sup>ie</sup> Fives-Lille pour la partie mécanique proprement dite.

La différence principale entre les locomotives du Réseau de l'État et celles du Réseau d'Orléans consiste dans la modification de la forme extérieure étudiée par M. Pacon, dans la suppression du freinage électrique inutile sur une ligne à profil facile comme la ligne du Mans, dans l'unification de certains appareils de détail avec les appareils des autres séries de locomotives du Réseau de l'État et, en particulier, avec les locomotives BB 101.

La suppression de la récupération, ainsi qu'une étude plus poussée du châssis principal a permis un allègement important de la locomotive ne portant d'ailleurs que sur la charge appliquée sur les bogies de façon à ne pas diminuer la valeur du poids d'adhérent.

**Partie mécanique.** — La locomotive est constituée par une caisse faisant corps avec un châssis rigide qui repose, à chaque extrémité, sur un bogie directeur à 2 essieux, et au centre sur 4 essieux moteurs indépendants.

La suspension se fait en quatre points : un point sur le pivot de chaque bogie, un point de chaque côté de la machine par la conjugaison des balanciers des ressorts des 4 essieux moteurs.

Le châssis est formé de deux longerons principaux intérieurs aux roues et convenablement entretoisés de chaque côté de la machine.

Un longeronnet, solidarisé avec le longeron adjacent, supporte les paliers des roues dentées d'entraînement des essieux moteurs.

La caisse est composée de trois compartiments : une cabine de conduite à chaque extrémité et un compartiment central renfermant les moteurs de traction, les résistances de démarrage et l'appareillage électrique, celui-ci réparti dans des armoires situées dans les 4 angles du compartiment central.

Les essieux moteurs sont à fusées intérieures ; les deux essieux médians possèdent un déplacement latéral de 25 mm de part et d'autre de leur position normale pour permettre l'inscription de la machine dans des courbes de 80 m de rayon

Les moteurs étant situés à l'intérieur de la caisse sont complètement suspendus ; la transmission du couple aux essieux moteurs se fait bilatéralement au moyen d'un accouplement déformable à biellettes du type Büchli.

Les bogies directeurs, du type P.O., ont un déplacement latéral de 163 mm de part et d'autre de la machine.

Le dispositif de rappel de ce bogie, constitué par des tenailles et des ressorts en volutes, a pour caractéristiques essentielles :

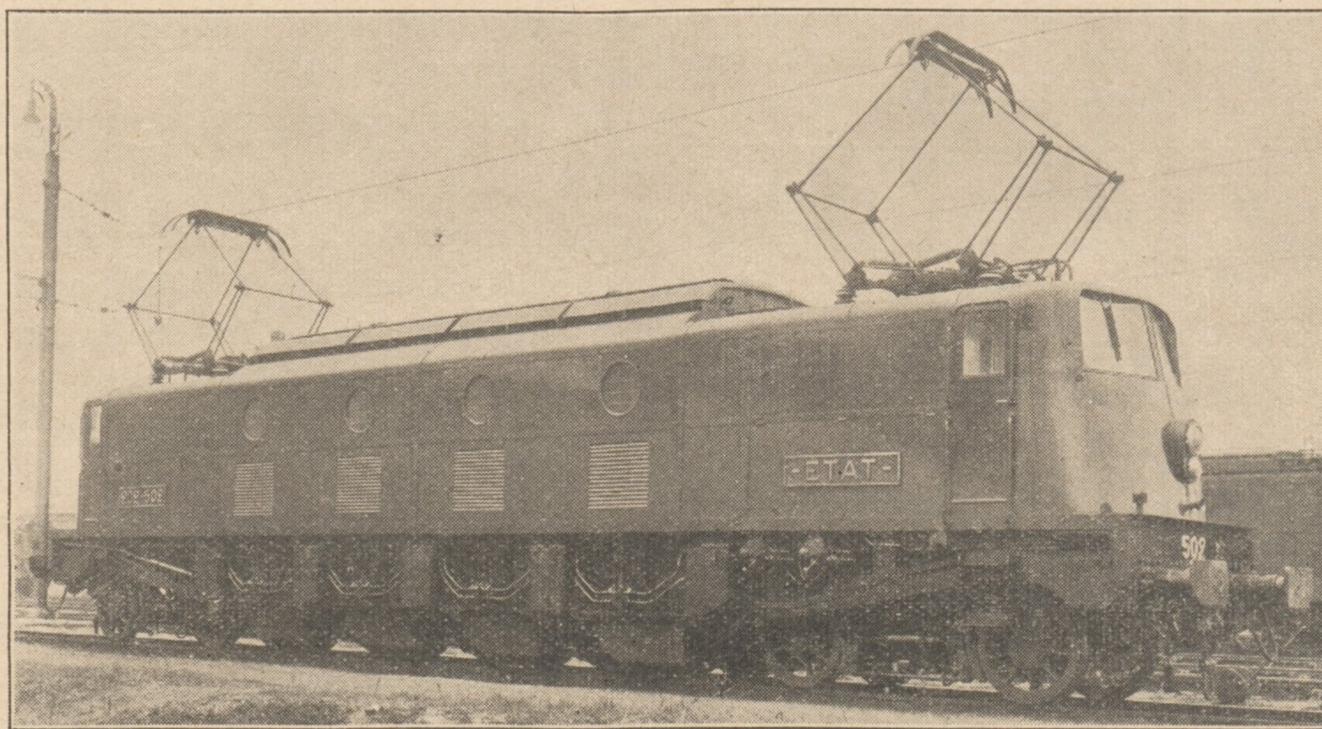
d'exercer un couple de rotation à peu près constant quand le bogie tourne autour du pivot et de s'opposer ainsi aux mouvements de rotation qu'il amortit rapidement dans le cas où ils se sont amorcés.

d'exercer sur le bogie un effort de rappel variant seulement de 4,5 t pour un déplacement nul à 5,8 k pour le

la puissance unihoraire de 935 ch pour une intensité de 560 ampères, la tension d'alimentation étant de 1.350 V.

Un groupe moteur-ventilateur débitant 120 m<sup>3</sup> par minute à la pression de 100 mm d'eau assure le refroidissement de chaque moteur ; l'air s'échappant des moteurs va ensuite refroidir les résistances de démarrage situées à la partie supérieure du compartiment central, dans son

Fig. 1. — Locomotive à grande vitesse type 2 D 2



déplacement total de 163 mm quand le bogie se déplace latéralement par rapport au châssis principal.

de tendre uniquement à ramener le bogie dans sa position médiane sans entraver sa rotation quand la machine passe dans une courbe provoquant à la fois un déplacement latéral du bogie et sa rotation.

La locomotive est munie du frein Westinghouse automatique-voyageurs-marchandises avec robinet H 7 et du frein modérable.

#### Partie électrique. — Moteurs de traction. —

Les moteurs de traction, rigoureusement identiques aux moteurs des locomotives P.O., sont du type compensé et à ventilation forcée ; leur shuntage peut atteindre 61 % en parallèle et même 74 % sur le couplage série et sur le couplage série-parallèle.

La puissance continue de chaque moteur est de 830 ch pour une intensité de 500 ampères et

lanterneau. Le moteur de chaque groupe ventilateur est alimenté sous la tension de 1.500 V.

**Circuits principaux.** — Le courant est capté sur la ligne de contact au moyen de 2 pantographes Faiveley-État ; un disjoncteur ultra-rapide Oerlikon assure la protection générale de la machine contre les surcharges et les courts-circuits.

L'appareillage de contrôle comprend :

— un combinateur commandé par un servo-moteur électro-pneumatique qui permet de coupler les 4 moteurs soit en série, soit en série parallèle, soit en parallèle.

— un contrôleur principal, également à servo-moteur électro-pneumatique pour éliminer les résistances de démarrage et shunter les inducteurs des moteurs de traction.

Une commande de secours à main permet, depuis chaque cabine, de manœuvrer le combinateur et le contrôleur en cas de défaillance des servo-moteurs de chacun de ces appareils.

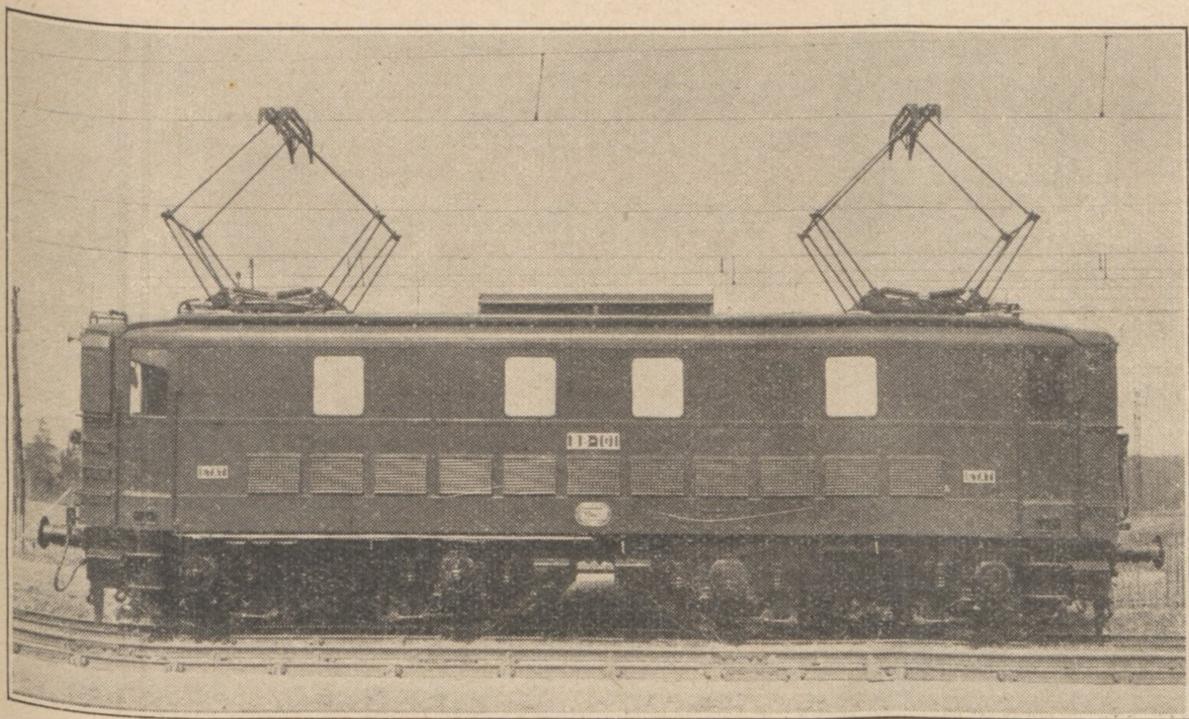
L'air nécessaire au freinage et à l'équipement est fourni par

2 compresseurs Jourdain Monneret type CH3 d'un débit de 1 600 l à la pression de 7-9 kg; chaque compresseur est entraîné par un moteur à 1 500 V Oerlikon.

Les circuits de commande à basse tension sont alimentés par une batterie d'accumulateurs au cadmium-nickel de 85 AH sous 72 V qui est rechargée par le courant de retour des moteurs des ventilateurs des moteurs de traction.

La locomotive est munie dans chaque cabine d'un système de lampes de signalisation qui indique au conducteur électricien, en cas de fonctionnement du disjoncteur ultra-rapide, celui des circuits qui est responsable de l'incident.

Fig. 2. — Locomotive BB pour trains de voyageurs et de marchandises



## 2<sup>o</sup> Locomotives BB (Fig. 2)

Les locomotives BB dérivent des dernières séries BB de la Compagnie des Chemins de Fer du Midi.

A part quelques modifications de détail, elles n'en diffèrent que par la suppression du freinage électrique par récupération. Toutefois, cette suppression n'a pas conduit à un allègement de la machine car on désirait posséder le même poids adhérent, soit 80 t.

Ces locomotives ont été construites par la Sté Alsthom qui avait déjà exécuté toutes les locomotives BB des Chemins de Fer du Midi.

**Partie Mécanique.** — La caisse de la locomotive repose sur les deux bogies par des pivots sphériques inverses; la stabilité de la

caisse est assurée au moyen d'équilibreurs latéraux constitués par des ressorts à lames suspendus par des biellettes de façon à former « un triangle de Robert ».

Ce type de construction permet aux équilibreurs, sur lesquels repose une fraction importante du poids de la caisse, de ne pas entraver, en courbe, la rotation du bogie.

Les deux bogies sont attelés entre eux au moyen d'un dispositif constitué par des tampons secs et d'une barre d'attelage rendue élastique par des ressorts à boudin.

Une barre de sécurité complète l'attelage; la tension de l'attelage principal est de 15 t en alignement droit.

Ce système d'attelage s'oppose au mouvement de lacet de la machine en alignement et n'entrave pas la rotation des bogies en courbe, tout en assurant un rappel efficace.

Les organes de choc et de traction de la machine sont portés par les bogies et non par la caisse; pour éviter que tout effort de traction se transmette par l'intermédiaire du châssis de caisse, l'un des pivots des bogies est pourvu d'un déplacement longitudinal.

Les essieux, munis de fusées extérieures sont équipés avec des boîtes Athermos à obturation centrifuge et graissage automatique; chaque essieu est entraîné bilatéralement par le moteur de traction correspondant au moyen d'engrenages droits; les couronnes dentées sont fixées sur chaque centre de roue uniquement par serrage. Les moteurs, du type à suspension par le nez, reposent d'une part sur l'essieu et d'autre part sur le châssis du bogie au moyen d'un système isostatique à ressorts à lames; ce système, entièrement nouveau, a donné en service d'excellents résultats; étant amorti il évite tout danger de résonance entre l'oscillation propre du moteur et les débattements de l'essieu dûs aux joints de la voie.

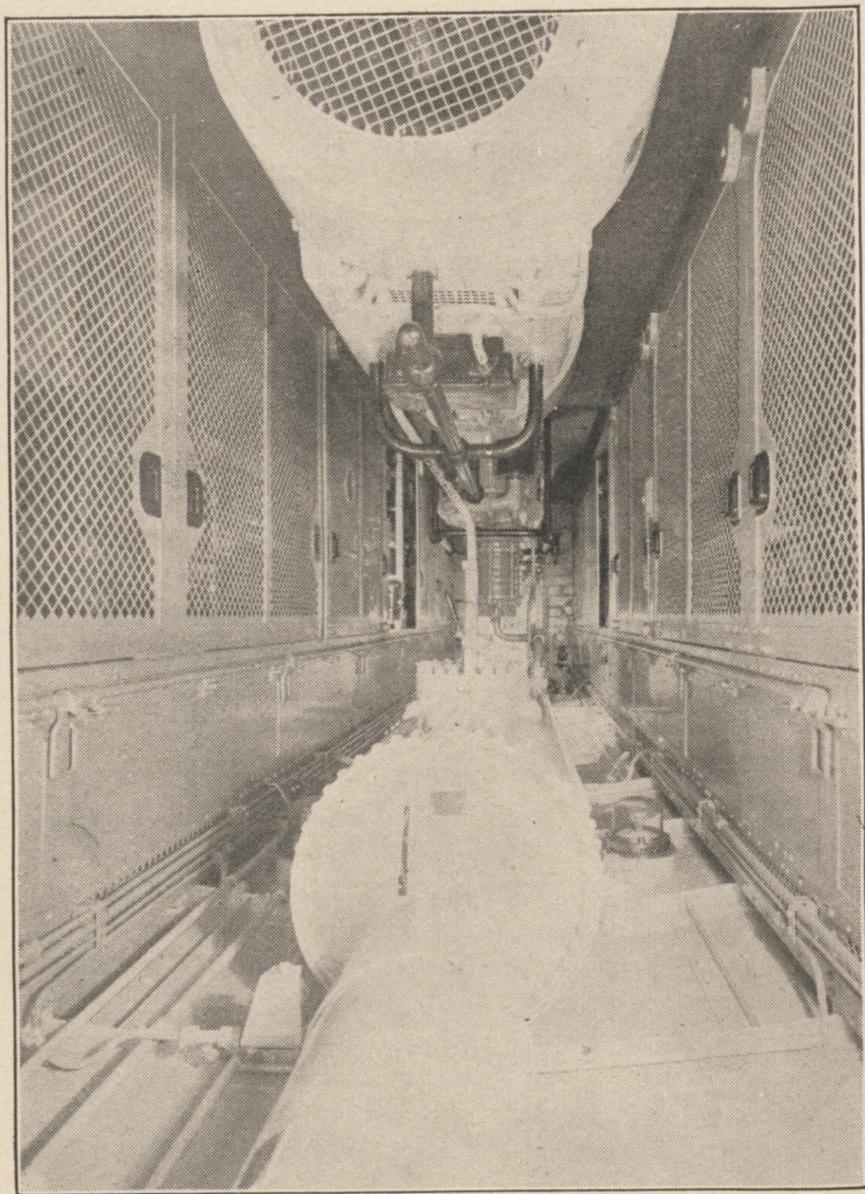
La caisse, entièrement métallique en acier au chrome-cuivre, est divisée en trois compartiments: une cabine de conduite à chaque extrémité, un compartiment central renfermant l'appareillage dans deux armoires bilatérales et les groupes moteurs-ventilateurs et moteurs-compresseurs dans l'axe du couloir central existant entre les armoires (Fig. 3).

La machine est munie du frein Westinghouse automatique avec robinet H 7 et du frein modérable.

**Partie Electrique. — Moteurs de traction. —**

Les moteurs de traction sont du type MIE dérivé des moteurs des locomotives Midi ; ils sont toutefois bobinés pour donner leurs caractéristiques sous 1350 V au lieu de 1500 V. Ces moteurs sont à ventilation forcée, l'air étant

Fig. 3. — Compartiment central d'une locomotive BB



fourni par des groupes moteurs-ventilateurs soufflant  $80 \text{ m}^3$  par minute dans chacun d'eux. La puissance continue théorique d'un moteur MIE est de 410 ch pour une intensité de 247 ampères et la puissance unihoraire est de 440 ch pour une intensité de 265 ampères.

Aux essais, la puissance unihoraire s'est révélée égale à 510 ch, ce qui donne pour la locomotive une puissance totale de 2040 ch.

**Circuits à 1500 V. —** Le courant est capté sur la ligne par deux pantographes Faiveley-Etat identiques à ceux des locomotives 2.D.2. Un disjoncteur ultra-rapide assure la protection générale de la machine contre les surintensités et les courts circuits.

L'équipement est du type électro-pneumatique à contacteurs individuels, cependant les appareils de transition et de shuntage sont du type à cames.

**Groupes auxiliaires à 1500 V. —** La ventilation des moteurs de traction est assurée par deux groupes moteurs-ventilateurs composés chacun d'un moteur et de deux ventilateurs qui débitent directement dans les moteurs de traction.

Deux groupes compresseurs identiques à ceux des locomotives 2.D.2. fournissent l'air nécessaire au freinage et au fonctionnement de l'équipement.

**Circuits à basse tension. —** Les circuits de commande sont alimentés par une batterie d'accumulateurs au Cadmium-Nickel identique à celle des locomotives 2.D.2. et chargée par le courant de retour des ventilateurs et des compresseurs.

Des lampes indicatrices, situées dans les cabines suivant une disposition semblable à celle des 2.D.2, renseignent le conducteur électricien sur les incidents qui peuvent se produire en cours de route.

**Dispositif d'anti-patinage. —** Un des inconvénients des locomotives BB consiste dans le fait qu'en marche la répartition des charges entre les deux essieux d'un même bogie n'est pas la même qu'à l'arrêt. L'essieu avant dans le sens de marche est déchargé et l'essieu arrière est surchargé d'autant.

La différence de charge entre les deux essieux peut atteindre 17 %, fait qui présente des inconvénients importants au point de vue de l'adhérence du premier essieu.

Pour remédier à cette situation, on a appliqué sur les locomotives BB un système d'antipatinage électrique, analogue d'ailleurs à celui utilisé sur les locomotives Midi, qui a pour but, quel que soit le couplage des moteurs, de permettre de diminuer le couple moteur sur l'essieu déchargé et de l'augmenter sur l'essieu surchargé. Ce résultat est obtenu par un shuntage convenable des inducteurs des moteurs de traction.

Pratiquement les charges remorquées par une locomotive BB munie de ce dispositif d'anti-patinage sont supérieures de 12 % environ à celles que pourrait remorquer une locomotive BB ordinaire de même poids.

### 3° Locomotives BB.O

Ces locomotives BB.O proviennent de la transformation des 30 locomotives, construits en 1924 pour le service des lignes électrifiées en courant continu 600 V avec troisième rail, qui avaient été prévus pour la tension de 1 500 V, la prise de courant devant alors se faire sur ligne aérienne par un pantographe.

En fait, ces machines n'avaient jamais été mises sous tension à 1 500 V et n'avaient pas subi les mises au point qu'il avait été reconnu nécessaire d'apporter au matériel 1 500 V construit vers la même époque.

Aussi, lorsque le Réseau de l'Etat décida de les utiliser sur la ligne du Mans, il fallut y apporter un certain nombre de modifications destinées en premier lieu à assurer une sécurité suffisante pour le personnel, et d'autre part à augmenter dans une forte proportion la sécurité du matériel, certains des appareils constituant l'équipement s'étant révélés insuffisants pour fonctionner dans de bonnes conditions sous la tension de 1 500 V. On

profita également de ces modifications pour augmenter de 20 % la puissance des moteurs par un bobinage adéquat et améliorer leur commutation et leur ventilation.

Ainsi transformées, deux locomotives BB.O accouplées en unités multiples sont capables d'assurer un service identique à celui d'une BB moderne. Une seule machine peut remorquer des trains de marchandises de 700 t et des trains de voyageurs ne dépassant pas 350 t.

Ces machines sont surtout utilisées en unités multiples encadrant une rame de voitures à étages pour former des rames réversibles desservant la petite banlieue.

La transformation des BB.O présentait en outre un intérêt particulier pour le Réseau de l'Etat en le dotant d'un matériel moteur susceptible de circuler simultanément sur ses lignes de banlieue à 600 V et sur la ligne du Mans électrifiée à 1 500 V : le passage d'une tension à l'autre peut se faire dans les gares communes aux réseaux 600 et 1 500 V dans un temps ne dépassant pas une minute.

Les rames réversibles ainsi composées constituent une masse de manœuvre permettant, en certaines circonstances, de renforcer momentanément soit le parc 1 500 V, soit le parc 600 V.

Les machines BB.O sont constituées par une caisse portée par deux bogies à essieux tous moteurs : les bogies ne sont pas attelés entre eux ; les organes de choc et de traction sont fixés sur la caisse. Les 4 moteurs, d'une puissance continue de 225 ch chacun et d'une puissance unihoraire de 275 ch sont du type à suspension par le nez et autoventilé ; ils sont bobinés pour la tension de 750 V et fonctionnent par deux en série quand les locomotives circulent sur des lignes à 1 500 V.

L'équipement, composé d'arbres à cames et de contacteurs individuels, est du type électro-pneumatique.

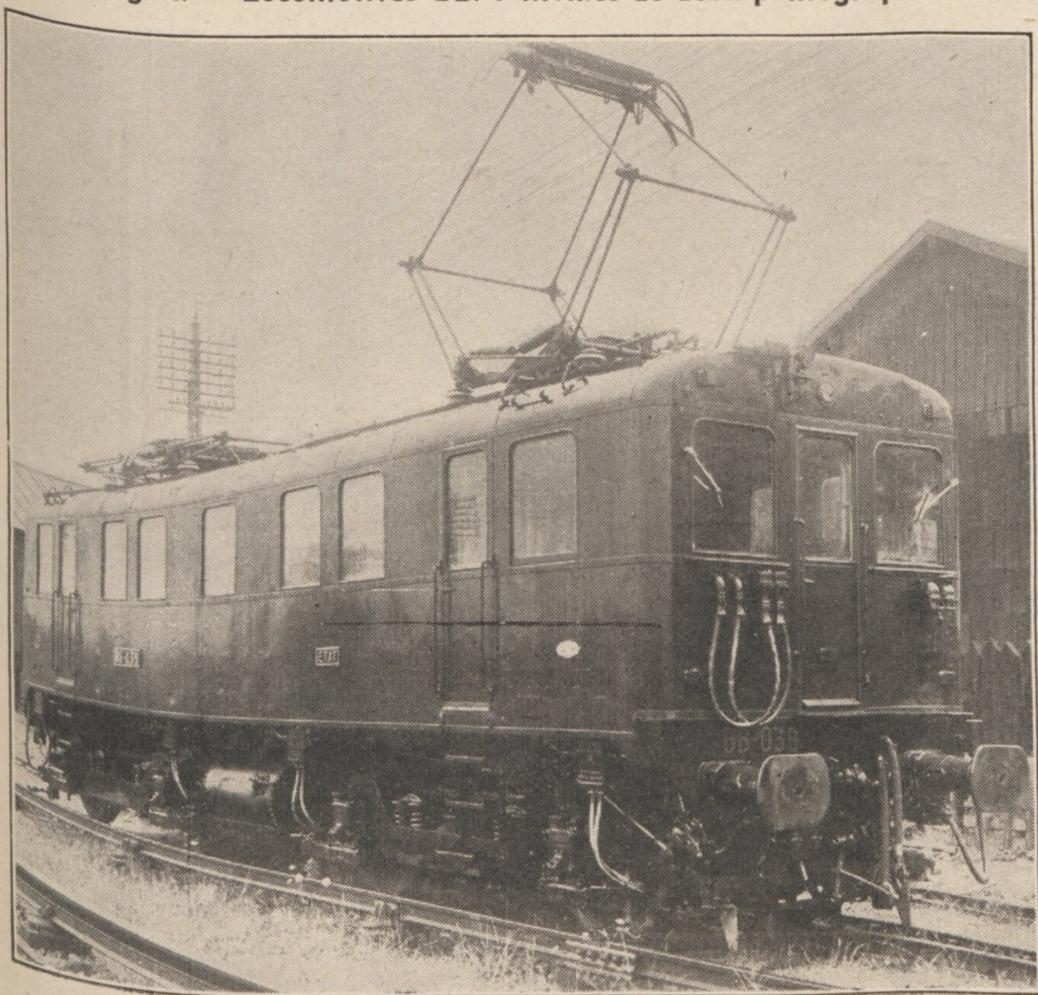
Les machines sont munies d'un freinage électrique de secours. L'air comprimé nécessaire au freinage et à l'équipement est fourni par deux compresseurs débitant chacun 680 litres par minute sous la pression de 7-9 kg.

Le courant de contrôle, est fourni par un groupe moteur-générateur de 1,5 kW composé d'un moteur 750/1 500 V et d'une génératrice 32 V type Bergmann à trois balais

Une batterie au cadmium nickel de 96 A rechargée par le groupe peut se substituer à lui en cas d'avarie.

22 des locomotives BB.O sont munies de leurs pantographes d'origine type S 501, les 8 autres ont reçu chacune deux pantographes type Faiveley Etat (Fig. 4).

Fig. 4. — Locomotives BB. O munies de deux pantographes



### III. — LES AUTOMOTRICES ELECTRIQUES

#### Automotrices doubles de grande banlieue (Fig. 5)

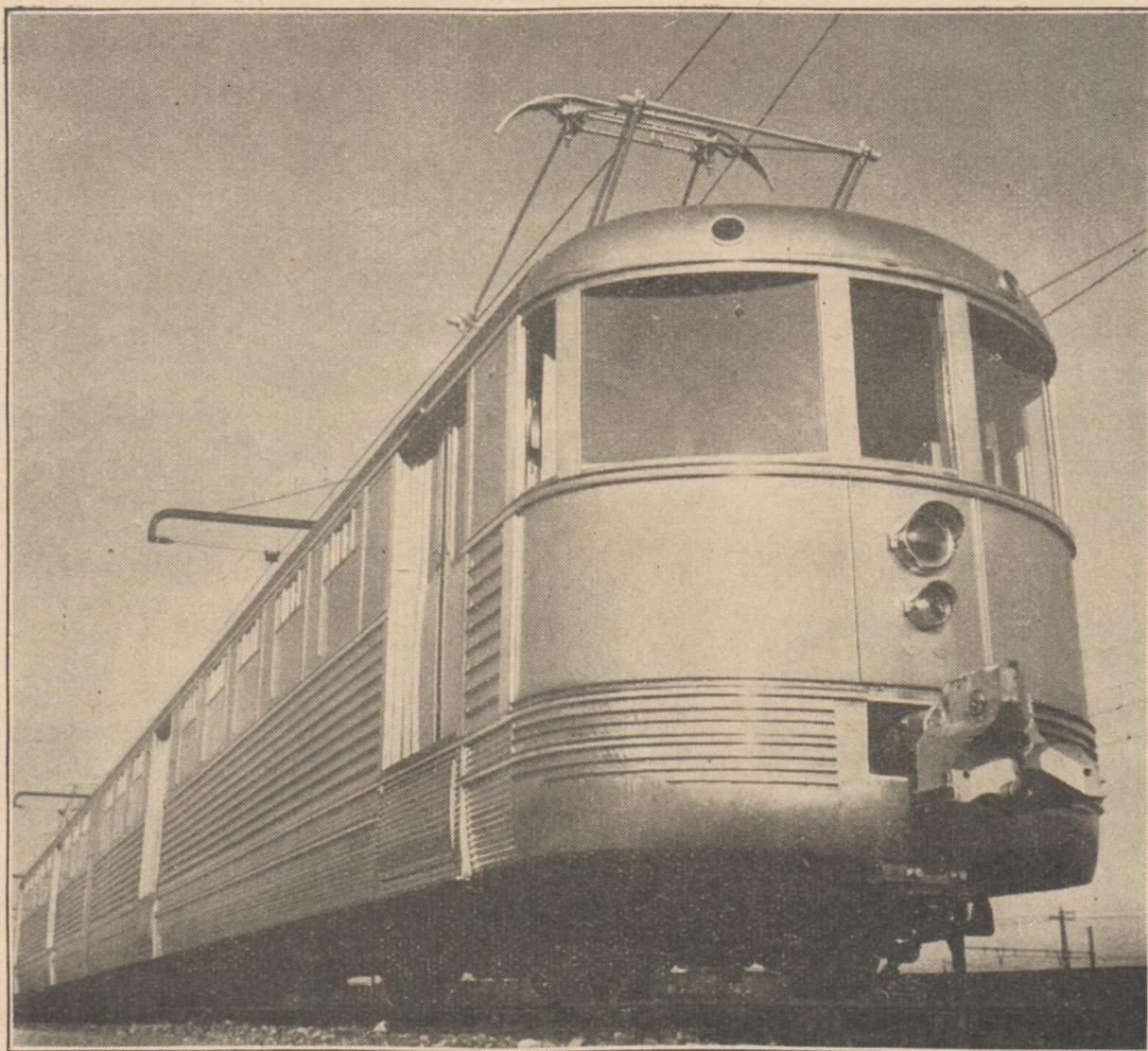
**Caractéristiques principales.** — Les conditions spéciales d'exploitation de la banlieue du Réseau de l'Etat exigeaient un matériel à fortes accélérations et de poids réduit pour rester dans des limites de consommation acceptables.

De plus, pour ne pas gêner la circulation des trains rapides et express entre La Verrière et Chartres, section sur laquelle on ne dispose en général que de deux voies, il est nécessaire que le

d'une automotrice et d'une remorque, soit exécuter des éléments indéformables composés de deux caisses portées par trois bogies.

Cette dernière solution fut choisie car la suppression d'un bogie donnait un gain de poids non négligeable ; elle apportait en outre un avantage considérable en permettant de munir tous les essieux de chaque bogie d'un moteur de traction : on obtenait ainsi une automotrice à adhérence totale particulièrement apte à l'obtention d'accélérations élevées, de l'ordre de 1 m/sec/sec. Enfin la présence de 6 moteurs procurait trois groupements possibles de ces moteurs, en série, en série-parallèle et en parallèle, qui, combinés avec un

Fig. 5. — Automotrice double de grande banlieue



matériel puisse soutenir des vitesses de pleine marche égales à celles autorisées par la voie.

Enfin, le trafic à assurer nécessitait que chaque train puisse offrir aux voyageurs la capacité de deux voitures. Deux solutions se présentaient alors, soit adopter des éléments analogues à ceux utilisés sur la banlieue à 600 V et composés chacun

shuntage approprié, donnaient à la machine une souplesse remarquable, la rendant apte aux services les plus variés : service de petite banlieue, service de grande banlieue, services direct ou semi-direct interrurbains à très grande vitesse.

Le problème des grandes accélérations, des vitesses élevées et de la souplesse ainsi résolu, il

fallait se préoccuper de l'allègement. On avait à choisir, pour la construction des caisses, entre les métaux dits légers et l'acier inoxydable à haute résistance.

Après examen approfondi de la question, c'est l'acier inoxydable qui fut adopté pour les raisons suivantes :

Si on veut conserver avec les métaux légers les mêmes coefficients de sécurité qu'avec l'acier ordinaire habituellement employé dans la construction des voitures métalliques, on est obligé d'accroître les sections des éléments constitutifs de la charpente de caisse, ce qui fait perdre une partie des avantages dus à la faible densité du métal; d'autre part les métaux légers se prêtent mal à la soudure d'une façon générale et on est obligé d'avoir recours aux assemblages par boulons et rivets toujours lourds; enfin il est le plus souvent indispensable, pour la confection des pièces de sécurité soumises à des efforts importants, d'avoir recours à l'acier. Des précautions spéciales sont alors à prendre pour éviter les couples électriques qui prennent naissance au contact de métaux de nature différente et créent une corrosion électrolytique.

L'acier inoxydable par contre, du fait de son inaltérabilité, peut être employé sous des épaisseurs extrêmement minces. Comme d'autre part il est facilement pliable et soudable, il permet la confection d'éléments de charpente tubulaires de très grand moment d'inertie dans lesquels l'épaisseur du métal, et par suite son poids, peuvent être réduits à la valeur strictement nécessaire pour obtenir la résistance mécanique voulue sans la moindre surépaisseur. Enfin les assemblages des divers éléments entre eux peuvent se faire uniquement par soudure, tout boulon ou rivet étant éliminé d'une telle construction, sans dommage, bien au contraire, pour la sécurité.

#### Partie mécanique. — Description générale.

— L'automotrice double, d'une longueur totale hors tout de 40, 710 m est constituée de deux caisses en acier inoxydable reposant sur trois bogies, tous moteurs.

L'une des caisses contient une cabine de conduite, une plateforme d'accès pour les voyageurs de 1/2<sup>e</sup> classes, un compartiment pour voyageurs de 1/2<sup>e</sup> classes, 2 WC, un pour les voyageurs de 1/2<sup>e</sup>

classes, l'autre pour les voyageurs de 3<sup>e</sup> classe, un compartiment de 3<sup>e</sup> classe avec plateforme d'accès.

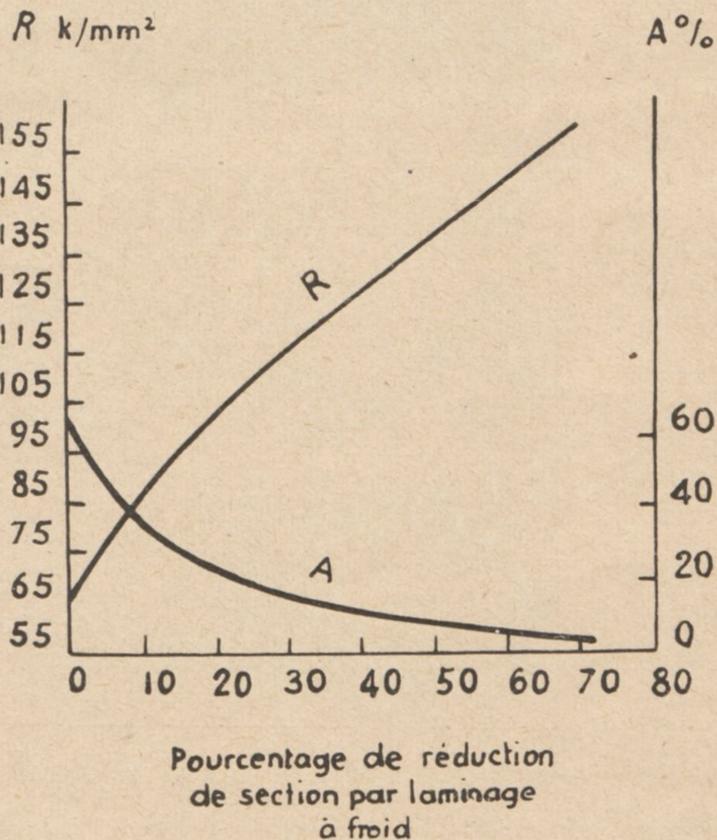
La deuxième caisse contient un vaste compartiment de 3<sup>e</sup> classe avec plateforme d'accès, un compartiment fourgon pouvant servir de deuxième plateforme d'accès au compartiment de 3<sup>e</sup> classe et la deuxième cabine de conduite de l'élément.

Une passerelle avec soufflet permet de passer d'une caisse dans l'autre. Un deuxième soufflet extérieur en caoutchouc assure la continuité de la ligne de l'élément au droit de l'intervalle des deux caisses.

#### Construction des caisses. — Le métal. —

L'acier inoxydable utilisé pour la construction des caisses des automotrices doubles est de l'acier dit 18-8 à faible teneur en carbone (moins de 0, 12 %) contenant 18 % de chrome et 8 % de nickel. Cet acier, recuit à 1 200° C et refroidi rapidement, se

Fig. 6.



présente sous la forme d'une solution solide où le fer est à l'état « austénitique ». La résistance à la corrosion est alors maximum, la charge de rupture est de 60 à 65 Kg/mm², l'allongement à la rupture est de 65 % et la limite élastique de 30 Kg/mm².

Une partie des caisses des automotrices doubles, soumise à des efforts peu élevés, est constituée avec de l'acier 18-8 recuit.

Pour obtenir une charge à la rupture plus élevée, on soumet le métal à un écrouissage réalisé par laminage à froid (Fig. 6). Le métal utilisé pour les pièces les plus fatiguées des caisses des automotrices doubles a été traité par ce procédé de façon à obtenir une **charge à la rupture de 105 Kg/mm<sup>2</sup>**, un **allongement à la rupture de 15 %** et une **limite élastique de 85 Kg/mm<sup>2</sup>**.

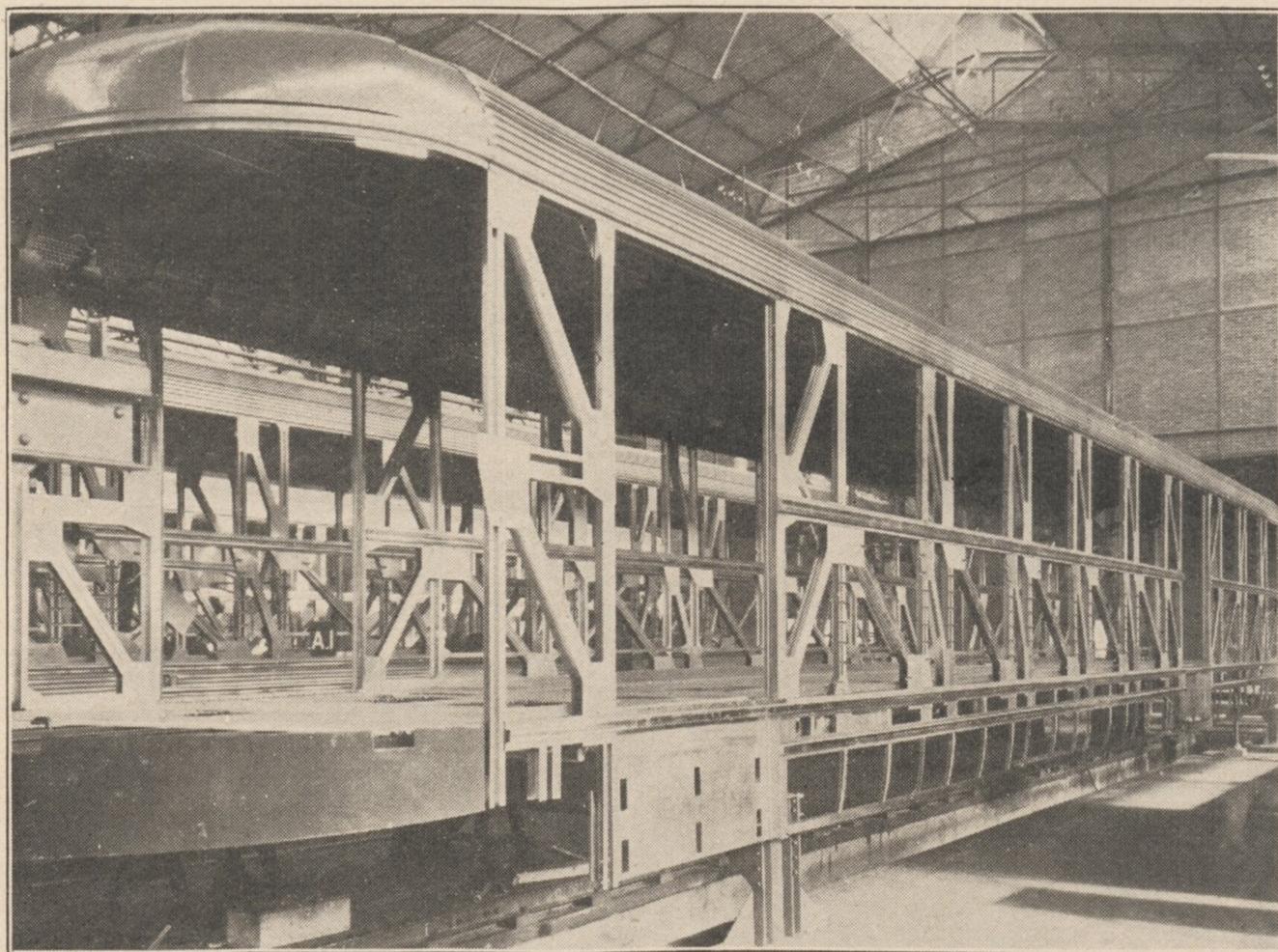
L'acier inoxydable peut se souder par différents procédés, mais la majorité des procédés appliqués à l'acier 18-8 écroui conduit, en recuisant le métal, à des lignes ou points de moindre résistance au droit des soudures puisque la résistance à la rupture tombe de 105 à 65 Kg/mm<sup>2</sup> ; de plus, si des

contrôle la pression des électrodes, l'intensité du courant, le temps de passage du courant, le réglage de l'appareil étant fait pour obtenir une soudure déterminée, le soudeur n'a qu'à placer ses électrodes à l'endroit où il veut faire son point de soudure et fermer un interrupteur, l'opération se fait automatiquement. Chaque soudure est enregistrée par un appareil spécial et si la soudure est défectueuse, la machine se bloque et fait entendre un signal acoustique.

L'ensemble de la machine à souder est contenu dans un coffret facilement déplaçable.

Les soudures obtenues par le procédé Budd peuvent supporter une torsion de 90° avant

Fig. 7. — Ossature d'une face d'une des caisses d'une automotrice double



précautions spéciales ne sont pas prises, le métal perd sa résistance à la corrosion.

Le **procédé « Budd »** évite ces inconvénients ; c'est un procédé de soudure par résistance et par points dans lequel la quantité de chaleur dégagée est dosée de façon à correspondre exactement à celle nécessaire, étant donnée l'épaisseur des pièces à souder, pour obtenir une soudure parfaite **sans modifier les propriétés de l'acier inoxydable**.

L'appareil de soudure étudié par la Société Budd

de se rompre ; leur résistance au cisaillement est supérieure au double de celle de rivets de même diamètre ; le métal conserve au droit de la soudure et au voisinage toute sa résistance à la corrosion.

**Ossature de caisse.** — Les deux caisses sont identiques au point de vue structure et ossature. Chacune d'elles a une longueur de 19,605 m et repose d'une part sur un bogie extrême, d'autre

part sur le bogie médian. La distance entre l'axe d'un bogie extrême et l'axe du bogie médian est de 16 m. L'ossature de chaque caisse forme poutre comprenant :

— les faces qui sont des poutres à treillis en N présentant des discontinuités au droit des portes (Fig. 7) ;

— le pavillon en tôle mince ondulée et armaturée par des courbes et des longrines et qui forme table supérieure des poutres des faces ;

— le châssis formant table inférieure des poutres des faces et composé d'une poutre centrale, de longrines, de traverses et d'un platelage général en tôle mince ondulée. Des pièces moulées en acier BS ou PM20 sont incorporées aux extrémités de la poutre centrale et au droit des pivots pour répartir les efforts de grande intensité dans les diverses membrures de la charpente en acier inoxydable.

Le revêtement des faces est constitué au-dessus de la ceinture par des tôles ondulées, au-dessous et entre les baies par du contreplaqué armé.

Sauf pour certaines pièces supportant de gros efforts, l'ossature et le revêtement sont formés de tôles de 1,5 mm.

Pour obtenir toutes garanties de sécurité, le taux de travail du métal et des soudures est inférieur au 1/5 de la charge de rupture.

**Aménagement des caisses.** — Les caisses, disposées chacune comme indiqué plus haut, sont insonorisées et calorifugées par flockage. Les revêtements intérieurs sont constitués par des panneaux d'Isorel, bruts teinte havane pour les faces verticales, peints en blanc mat pour ceux du pavillon. Le plancher est formé par de l'Isorel composé, recouvert d'un linoléum et posé sur la tôle ondulée du platelage du châssis.

Les sièges des 1/2<sup>e</sup> classes sont réversibles et garnis de cuir havane, ceux des compartiments de 3<sup>e</sup> classe sont recouverts de simili-cuir.

L'éclairage est du type indirect complété, dans un but décoratif, par des lampes placées derrière des verres opales dans l'axe des trumeaux.

Les caisses sont équipées avec un conditionnement d'air type Etat - Moreau Febvre qui assure l'aération et le chauffage.

**Portes et marchepieds.** — Les gares et stations de la ligne Paris-Le Mans sont toutes pourvues de quais bas ; un emmarchement confortable pour les voyageurs aurait nécessité d'enfoncer profon-

dément les portes par rapport aux faces latérales des caisses, ce qui exigeait un renforcement important des châssis de caisses, d'où augmentation du poids, diminuait la capacité des plateformes et augmentait la résistance aérodynamique des voitures.

Le problème a été résolu en adoptant des marchepieds rabattables type Jourdain-Monneret conjugués avec des portes coulissantes type Faiveley. L'ensemble du dispositif des portes et marchepieds est prévu avec tous les enclenchements nécessaires pour assurer la sécurité totale des voyageurs. Une commande de secours permet de manœuvrer chaque porte et le marchepied correspondant en cas de défaillance du système normal de commande générale.

L'attelage des éléments entre eux et le tamponnement sont assurés par un appareil Boirault du type Compact qui réalise également la continuité des conduites de frein. Cet attelage est complété par des coupleurs automatiques Alsthom qui réalisent la continuité des circuits de la ligne de train. L'accouplement est automatique, le désaccouplement se fait en appuyant sur une pédale dans la cabine de conduite de l'élément que l'on veut désaccoupler ; il n'est jamais nécessaire de pénétrer entre les éléments pour effectuer une manœuvre.

Les caisses ont été construites par les Établissements Carel et Fouché dans leurs Usines de Gaillon-Aubevoye.

L'acier a été fabriqué par les Aciéries Peugeot et de Firminy.

**Bogies.** — Les bogies extrêmes et médian sont identiques, sauf en ce qui concerne les pivots.

Les pivots des deux bogies extrêmes sont plans ; le pivot du bogie médian n'a qu'une crapaudine sphérique dans laquelle repose le pivot d'une des caisses, le pivot de la deuxième caisse s'emboîte dans celui de la première caisse.

Les essieux sont en acier au nickel-chrome et forés ; les roues de 950 mm de diamètre sont du type monobloc et les boîtes sont à rouleaux de construction S. K. F.

Il n'y a pas de traverse danseuse et la suspension, du type aperiodique, est constituée seulement par 4 groupes indépendants de ressorts à lames et en

hélice montés à la partie supérieure de chaque boîte d'essieu.

Les bogies sont équipés du frein autovariable Westinghouse.

Le graissage est assuré par un système central Téalémit.

Les bogies ont été étudiés par MM. Schneider et Cie qui ont exécuté au Creusot les bogies extrêmes. Les Forges et Ateliers de Constructions Électriques de Jeumont ont construit les bogies médians.

**Partie électrique. — Moteurs de traction.** — Les 6 moteurs de traction, du type SW 9273, sont autoventilés et à suspension par le nez. Leurs caractéristiques sont établies pour une tension d'alimentation de 675 V ; leur puissance

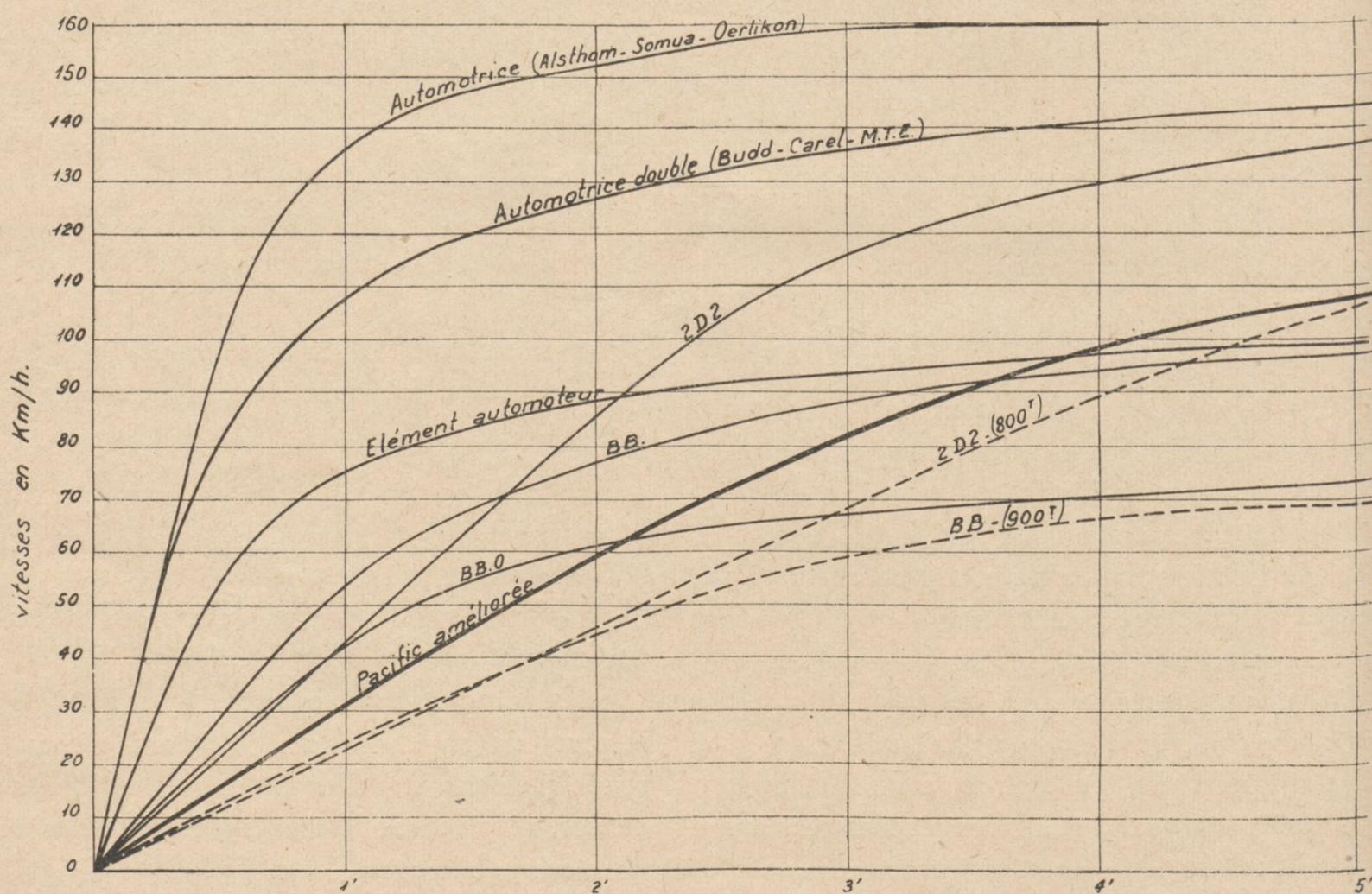
Leurs paliers d'induit sont à rouleaux et leurs paliers d'essieu prévus pour effectuer un parcours minimum de 10 000 km sans graissage. Les engrenages, au rapport 19/54, module 10,2, sont à denture droite Maag rectifiée après trempe.

Les moteurs ont été construits dans les Usines SW à Champagne-sur-Seine.

**Circuit de traction.** — Le courant 1500 V, capté sur la ligne par deux pantographes Faiveley-État monopalettes, passe d'abord dans un fusible général de protection du type Ba Deion de SW à acide borique. Il se divise ensuite en plusieurs branches pour l'alimentation des compresseurs, du chauffage, du groupe moteur-générateur et du circuit de traction proprement dit.

Fig. 8. — Diagramme de démarrage d'une locomotive Pacific améliorée comparé à ceux du matériel électrique de la ligne Paris-Le Mans

Comparaison entre la courbe de mise en vitesse d'une Pacific et des machines électriques.



*Nota.* Les courbes en traits pleins se rapportent, pour les locomotives, à des charges remorquées de 400t.

continue est de 200 ch et leur puissance unihoraire de 235 ch. Ils pèsent 1 530 kg, soit seulement 7,64 kg par cheval continu.

Ils peuvent être shuntés de 50 %.

L'équipement de traction, du type J. H. des Forges et Ateliers de Constructions Électriques de Jeumont, est constitué par deux arbres à cames asservis entre eux et entraînés chacun par un

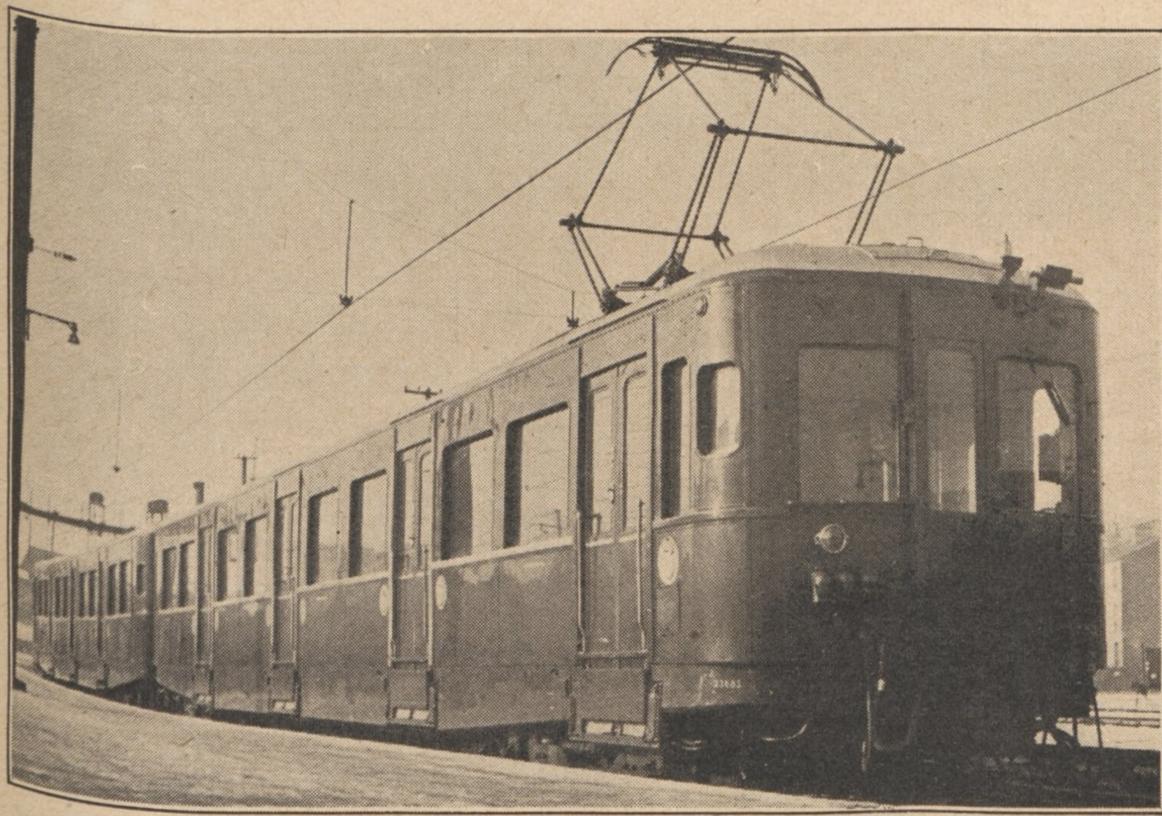
servo-moteur alimenté directement par le courant à 1 500 V de la ligne de contact. Le premier arbre à cames, dit JH1, fait manœuvrer l'inverseur de marche, ferme les contacteurs de ligne qui assurent également la protection des circuits de traction contre les surintensités, réalise le cran de manœuvre, ferme les contacteurs temporisés qui procurent une application progressive de l'accélération et groupe les moteurs en série, en série-parallèle et en parallèle. Le premier arbre à cames peut tourner en arrière pour provoquer la régression de l'équipement d'un couplage sur un coup'age inférieur sans coupure du courant sur les moteurs de traction.

Le deuxième arbre à cames, qui tourne toujours dans le même sens, est appelé JH2 ; il assure l'élimination des résistances de démarrage et le shuntage des moteurs de traction.

L'équipement donne 42 crans de démarrage, ce qui permet de très grandes accélérations sans gêne pour les voyageurs.

La protection de l'équipement de traction est assurée par des relais.

Fig. 9. — Élément automoteur pour le service de la petite banlieue.



**Compresseurs d'air.** — L'air comprimé nécessaire au frein automatique autovariable et aux divers auxiliaires pneumatiques de l'automotrice est produit par deux compresseurs Jeumont-Weber du type rotatif à deux étages donnant un débit de 400 litres sous 8 kg/cm<sup>2</sup> ; chaque compresseur est entraîné par un moteur à 1 500 V.

**Circuit de chauffage.** — Le circuit de chauffage à 1 500 V alimente les batteries de chauffe du système de climatisation Moreau-Febvre. Les batteries se mettent automatiquement en service sous l'action d'un régulateur Moreau-Febvre quand la température intérieure des caisses est inférieure à la température désirée. Des batteries de base permettent de compléter le chauffage pendant les grands froids.

**Groupe moteur-générateur.** — Le courant à 72 V utilisé pour les circuits de commande, l'éclairage et les divers services auxiliaires est donné par un groupe moteur-générateur YX 23 de SW d'une puissance de 10 kw. La tension à 72 V du groupe est réglée à une valeur constante, quelle que soit la tension sur la ligne de contact entre 1 100 et 1 800 V par un régulateur SW. Une batterie S.A.F.T. au cadmium-nickel de 101 A est branchée en tampon sur le groupe et se substitue à lui en cas d'avarie.

Le tableau (p. 102) donne les principales caractéristiques des automotrices doubles ; la figure 8 indique le diagramme de leur démarrage, comparé

à celui des autres automotrices, à celui des locomotives électriques et à celui d'une locomotive à vapeur Pacific du type amélioré.

Aux essais, la vitesse de 180 km/h a été atteinte et soutenue entre Connerre et Le Mans.

#### Éléments Automoteurs (Fig. 9)

Nous avons dit, dans notre exposé sur le choix du matériel que le Réseau de l'État, par raison d'économie, avait utilisé 18 automotrices affectées antérieurement à la banlieue 600 V pour constituer des éléments

capables d'assurer le service de la petite banlieue : ligne de Paris-Clamart, Paris-Sèvres et éventuellement Paris-Versailles-Chantiers.

**Partie mécanique.** — Chacun de ces éléments est composé d'une automotrice à deux postes de conduite et d'une remorque équipée avec

un seul poste de conduite. L'élément est donc décomposable et l'automotrice peut être utilisée isolément si les conditions de service l'exigent, contrairement à ce qui se fait sur la banlieue 600 V où, d'une façon générale, sauf sur la ligne d'Auteuil, les éléments sont indéformables.

On a profité de la remise en état de marche des automotrices de première série pour faire subir à ces machines un certain nombre de modifications mécaniques dans le but d'améliorer leurs conditions de service ; cette amélioration a porté principalement sur le remplacement de l'ancienne toiture, munie d'un lanterneau qui ne permettait pas l'installation de pantographes, par un pavillon en aluminium, ce qui allège la voiture de plus d'une tonne.

Les voitures qui avaient été construites pour desservir uniquement des quais hauts, ont été munies d'un système de portes et de marchepieds rabattables identique à celui installé sur les automotrices doubles de grande banlieue.

Enfin, les bogies devant être transformés pour permettre l'installation de moteurs de dimensions différentes des moteurs primitifs, on en a profité pour améliorer le freinage en portant à deux le nombre de sabots par roue et en installant dans la timonerie un régleur du type S.A.B. On a ainsi porté le coefficient de freinage à 64 % du poids à vide pour les automotrices et à 62 % pour les remorques.

Les essieux d'origine, qui avaient donné lieu à un certain nombre de ruptures, ont été remplacés sur toutes les automotrices.

L'attelage entre véhicules est l'attelage Boirault du type utilisé sur la banlieue à 600 V et qui avait été monté lors de la construction des voitures. Cet attelage assure également le tamponnement et la continuité des conduites d'air, mais il n'assure pas celles de la ligne de train qui est obtenue au moyen de coupleurs mobiles identiques à ceux des locomotives BB.

L'éclairage des voitures est assuré directement par le courant de traction à 1 500 V au moyen de 5 circuits de 12 lampes en série.

Un régulateur E.V.R. permet de maintenir constant l'intensité lumineuse quand la tension en ligne varie entre 1 000 et 1 800 V.

Le chauffage des voitures se fait par radiateurs alimentés à 1 500 V.

**Partie Électrique.** — Dans un but d'unification, on a muni les automotrices de 1<sup>re</sup> série d'un équipement aussi identique que possible à celui des automotrices doubles, compte tenu cependant du fait que ces automotrices ne possèdent que 4 moteurs au lieu de 6.

Le courant est capté sur la ligne de contact par un seul pantographe Faiveley - Etat du type monopalette.

La protection générale est assurée par un fusible Ba Deion.

L'équipement de traction est du type J.H. ; il ne possède qu'un seul arbre à cames tournant dans les deux sens qui assure la manœuvre de l'inverseur et des rupteurs de ligne, les deux couplages des moteurs en série et en parallèle, élimine les résistances de démarrage et shunte les inducteurs de moteurs. Cet équipement fonctionne également en régression et permet de passer du couplage parallèle au couplage série sans couper le courant dans les circuits de traction. Tous les éléments constitutifs du JH des automotrices de 1<sup>re</sup> série sont rigoureusement les mêmes que ceux des automotrices doubles.

Les moteurs de traction sont également du type SW 9273, mais le rapport d'engrenage est plus grand :  $57/16 = 3,5$ .

L'élément complet en charge a une accélération au démarrage de 0,60/sec/sec, valeur très élevée pour un matériel de cette nature.

L'air comprimé nécessaire au freinage et aux différents circuits pneumatiques auxiliaires est fourni par un compresseur CP 60 entraîné par moteur à 1 500 V.

Le courant de contrôle est fourni par deux batteries au cadmium nickel de 40 AH, 45 V, rechargées par le courant de retour des circuits auxiliaires à 1 500 V.

### Automotrices pour services omnibus

(Alsthom-Somua) (Fig. 10)

Ces automotrices, qui, d'après le programme fixé, devaient réaliser des vitesses commerciales de l'ordre de 80 km/h, sont constituées par une caisse entièrement métallique montée sur deux bogies à deux essieux moteurs. Bien que devant normalement circuler seules, ces automotrices ont été munies de la commande en unités multiples de façon à pouvoir éviter un dédoublement en cas d'affluence, fait très fréquent sur la section où elles sont utilisées.

**Partie mécanique.** — La caisse, construite par S.O.M.U.A., est constituée par des profilés en tôle pliée ou en étirés soudés électriquement. Elle est prévue pour supporter un effort statique de compression de 100 t exercé sur l'attelage

central sans que le taux de fatigue du métal dépasse  $8 \text{ kg/mm}^2$ .

L'acier utilisé pour la construction de la charpente et du panneautage extérieur est de l'acier « soudal 66 » présentant une résistance à la rupture de  $57/65 \text{ kg/mm}^2$ , un allongement de 18 à 26 % ; un coefficient d'élasticité de 55 à  $60 \text{ kg/mm}^2$ .

Le panneautage intérieur des caisses est en contre-plaqué Okoumé de 5 mm d'épaisseur.

2° par deux traverses d'extrémité tubulaires en acier E ;

3° par un croisillon central, en forme de croix de St-André, constitué par 4 tubes en acier E.

Une pièce centrale et 4 pièces de liaison en acier moulé E S assemblent les 4 tubes entre eux et avec les longerons.

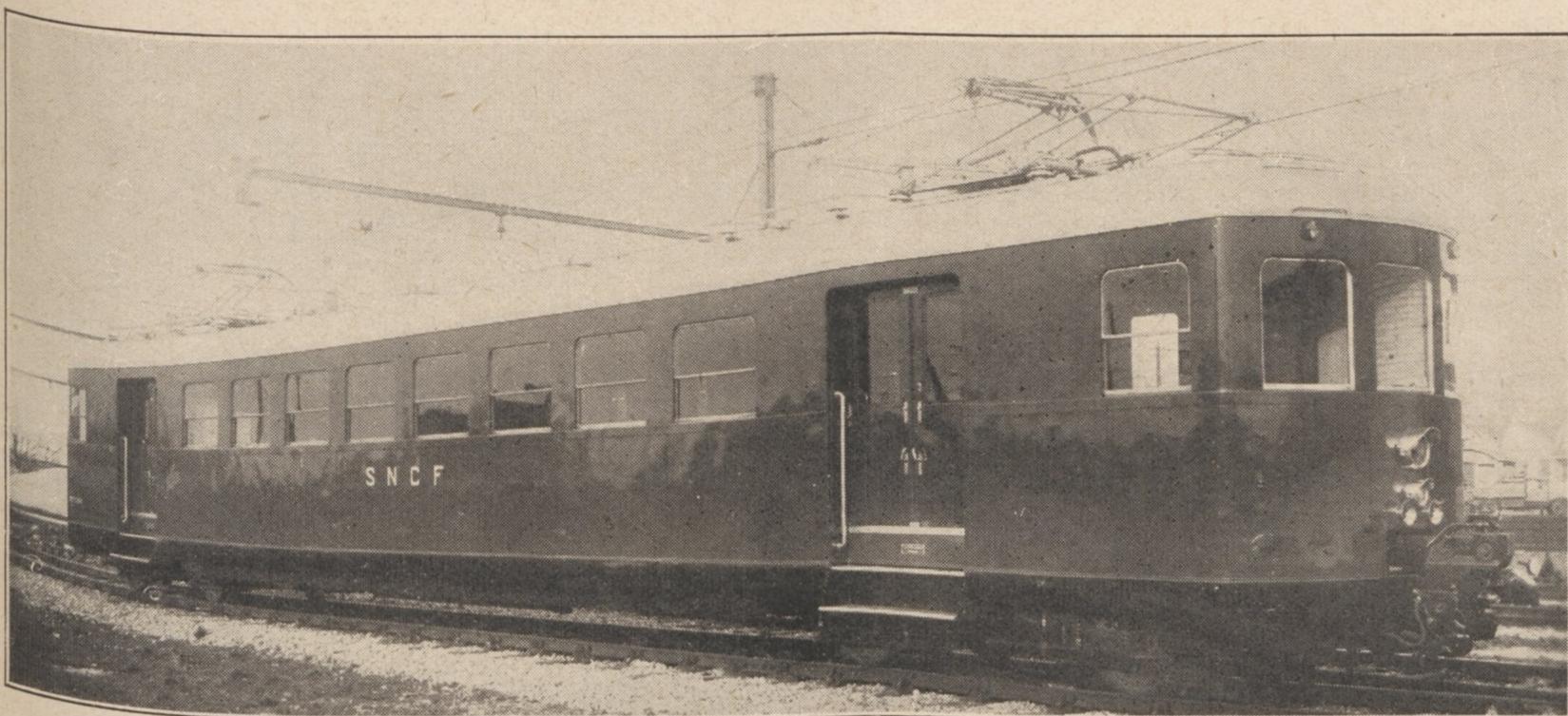
Toutes les pièces du châssis sont assemblées entre elles ; ces assemblages sont complétés et renforcés par soudure électrique.

Les tubes cylindriques du croisillon central sont étanches et utilisés comme réservoirs auxiliaires de frein.

Les roues, en acier matricé au chrome nickel, ont un diamètre de 900 mm.

Les essieux sont en acier au nickel chrome molybdène, et les boîtes à rouleaux du type S.K.F.

Fig. 10. — Automotrice pour service omnibus (Alsthom-Somua)



La caisse comporte à chaque extrémité une cabine de conduite occupant l'angle gauche en regardant l'extérieur, une plateforme d'accès comportant un W.C. toilette, un compartiment central à 78 places assises à classe unique et une seconde plateforme à l'extrémité opposée au W.C. qui constitue un vaste compartiment à bagages. Des portes battantes séparent le compartiment central des plateformes.

L'aménagement général est semblable à celui des autorails utilisés pour des services analogues.

L'éclairage se fait au moyen de hublots munis chacun de deux lampes.

Le chauffage, à 1 500 V, est assuré par des radiateurs.

Les organes de choc et de traction sont constitués par un attelage Boirault-Compact identique à celui des automotrices doubles et qui réalise comme lui la continuité des circuits électriques en cas de marche en unités multiples.

La caisse, qui a 22,260 m de long, ne pèse que 14 t tout aménagée, non compris le poids de l'équipement électrique.

Les bogies, étudiés et construits par la Société Alsthom, sont d'une conception entièrement nouvelle (Fig. 11). Le châssis est constitué :

1° par deux longerons en acier au carbone type « artillerie » présentant une résistance à la rupture de  $58/68 \text{ kg/mm}^2$  et un allongement minimum de 12 %.

Le châssis du bogie repose sur les boîtes par 4 groupes de ressorts formés chacun d'un ressort à lames et de deux ressorts en hélice.

Le bogie est muni d'une suspension secondaire formée de deux ressorts à lames placés de part et d'autre du bogie et qui supportent entièrement tout le poids de la caisse par l'intermédiaire de plaques de frottement. Les ressorts de la suspension secondaire sont suspendus au châssis du bogie par des chandelles verticales munies de doubles couteaux formant cardan ; d'autre part, une bielle horizontale montée sur silent-bloc absorbe les réactions latérales produites par le frottement de la caisse sur les plaques. Des guidages circulaires fixés sur les pièces de glissement solidaires du châssis-caisse maintiennent transversalement les ressorts de la suspension secondaire.

Le pivot central ne supporte aucune charge et ne sert qu'à transmettre les efforts de traction ou de freinage ; il est constitué par un piston solidaire du châssis de caisse qui coulisse verticalement dans une rotule montée sur le bogie de façon à permettre tous les déplacements de celui-ci par rapport à la caisse.

L'ensemble du pivot est lié au croisillon central du bogie par l'intermédiaire d'un cylindre en caoutchouc.

L'empattement du bogie est de 2,795 m ; son poids total, sans les moteurs de traction, est de 4 200 kg.

Les moteurs de traction, du type à suspension par le nez, ont ce nez en forme de maneton qui s'engage dans des bagues en caoutchouc s'appuyant sur une couronne solidaire du châssis de bogie.

**Partie électrique. — Moteurs de traction. —**

Chaque automotrice est munie de 4 moteurs de traction du type GM 36 de la Société Oerlikon.

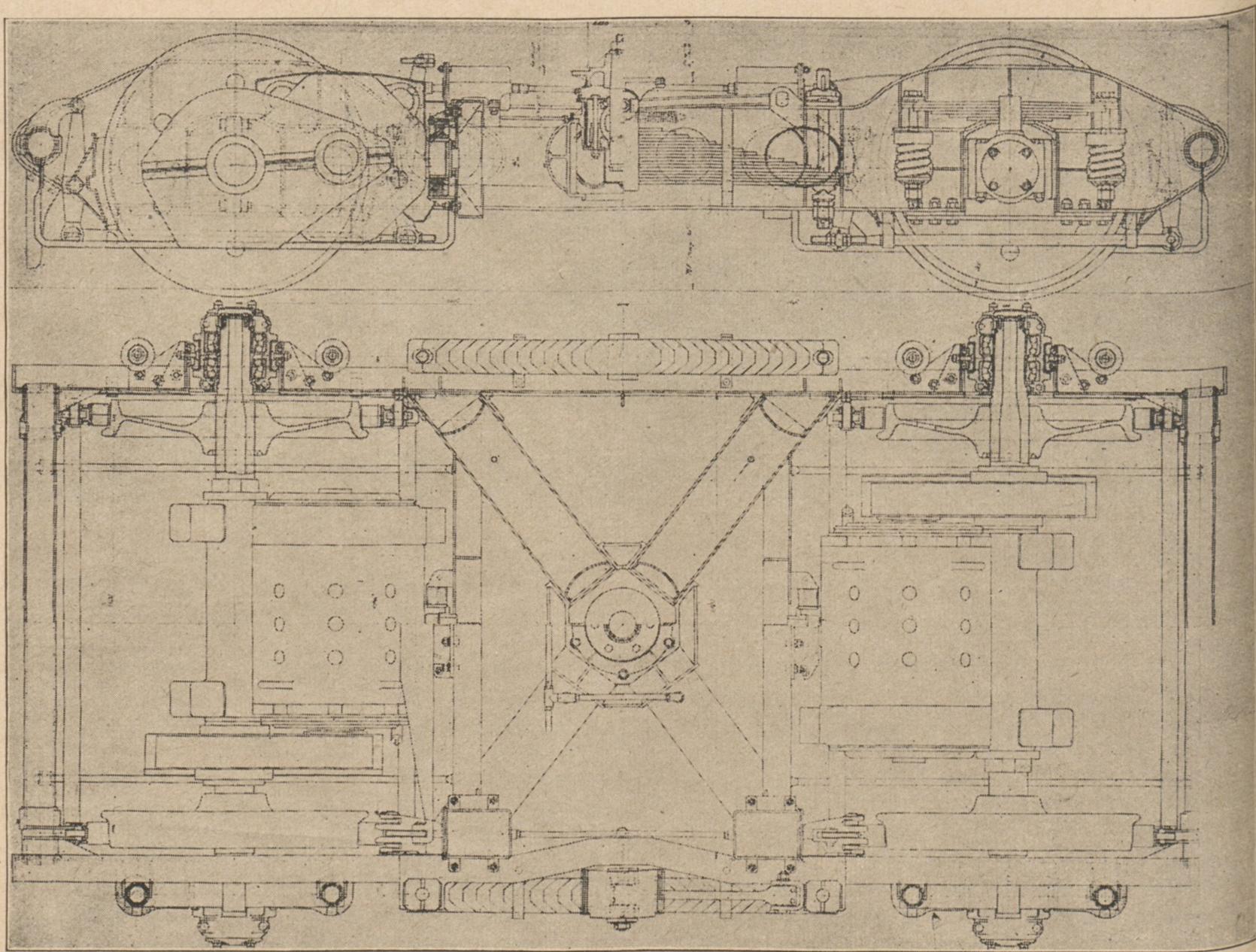
Les moteurs sont bobinés pour fonctionner par deux en série sous la tension totale de 1500 V ; leur puissance théorique est de 150 ch au régime continu et de 200 ch au régime unihoraire. Pratiquement ils donnent 200 ch de puissance continue et 225 ch

d'engrenages droits; la roue dentée montée sur l'essieu est du type élastique à ressorts à lames D.S.N. L'engrenage élastique a été nécessité par la présence du freinage électrique.

**L'équipement électrique. —** Le courant est capté sur la ligne par deux pantographes Faiveley-Etat identiques à ceux des autres automotrices de la Région de l'Ouest.

La protection générale contre les surintensités et les courts-circuits est assurée par un fusible de toiture Alsthom.

Fig. 11. — Bogie de l'automotrice Alsthom-Somua



de puissance unihoraire. Ils sont autoventilés et peuvent être shuntés aux taux de 30 et 50 %.

Les paliers d'induit sont à rouleaux, les paliers d'essieux sont prévus pour permettre un parcours de 10.000 km sans graissage. Chaque moteur attaque l'essieu correspondant par un train

L'équipement de traction proprement dit se compose de contacteurs électro-pneumatiques assurant la protection et la fermeture du circuit de traction, les différents couplages des moteurs et leur shuntage.

Un arbre à cames type E C M de l'Alsthom élimine les résistances de démarrage; des appareils électro-pneumatiques à deux positions assurent l'inversion du sens de marche et le couplage des moteurs en traction ou en freinage.

Les résistances de traction en fonte au nickel de construction Alsthom sont particulièrement robustes et permettent de réduire le poids du rhéostat à une valeur très faible.

Un groupe moteur-générateur, composé d'un moteur à 1 500 V entraînant, montées sur le même arbre, une génératrice à 100 V et une excitatrice, assure d'une part la charge de la batterie, l'alimentation du compresseur d'air, l'éclairage de la caisse et l'alimentation des circuits de commande, d'autre part, au moyen de son excitatrice, l'excitation des moteurs de traction fonctionnant en génératrices pendant le freinage électrique.

Une batterie d'accumulateurs de 72 A à 72 V au cadmium nickel peut assurer pendant 2 heures l'alimentation du compresseur, des circuits de commande et de l'éclairage de secours en cas de défaillance du groupe.

Le compresseur d'air, du type A D 570 Jourdain Monneret, est à 3 cylindres et deux étages; son débit est de 350 litres par minute à la pression de 8 kg/cm<sup>2</sup>; il est entraîné par un moteur à 72 v.

**Éclairage des cabines de conduite.** — Les cabines de conduite sont éclairées en lumière noire qui active des substances phosphorescentes placées sur les appareils de mesure et sur les principaux organes de commande. Pendant la nuit la conduite est ainsi rendue plus facile, aucune lumière dans la cabine ne gênant la visibilité des signaux.

**Freinage.** — Le service que devaient assurer ces automotrices présentant des arrêts fréquents à partir de vitesses élevées exigeait de grandes accélérations négatives, de l'ordre de 1 m/sec/sec, et rendait inadmissible l'usure des sabots et des bandages si on n'avait utilisé que le frein mécanique seul. On a donc muni ces automotrices d'un freinage mixte électrique et mécanique permettant d'obtenir un effort retardateur sensiblement constant quelle que soit la vitesse entre 140 km/h et zéro.

Le frein mécanique, du type JMR de Jourdain-Monneret, a pour propriété d'être automatique, modérable au serrage et au desserrage et inépuisable. Le freinage électrique agit en faisant débiter les moteurs de traction en génératrice sur les résistances de démarrage comme dans les systèmes rhéostatiques ordinaires; il diffère cependant de ces systèmes par le fait que l'excitation des moteurs de traction est indépendante et fournie par l'excitatrice du groupe, qui, elle-même, est anticompoundée de façon à permettre de maintenir l'effort retardateur le plus longtemps possible pendant que la vitesse diminue. La manœuvre du frein est excessivement simple: le conducteur, s'il veut

utiliser le freinage mixte, place sa manette principale non pas sur zéro mais sur une position de freinage, et n'a plus qu'à manœuvrer sa poignée de frein de la façon ordinaire. En appuyant sur cette poignée pendant le freinage, on obtient le fonctionnement des sablières.

**Résultats d'essais.** — Les automotrices Alsthom-Somua-Oerlikon ont donné des résultats d'essais en service répondant entièrement aux espérances et même les dépassant.

La tenue sur la voie a été parfaite jusqu'à la vitesse de 170 km/h qui a été atteinte au cours des essais sur la ligne Paris-Le Mans.

La vitesse de 100 km/h est normalement atteinte en 28 secondes après un parcours de 450 m en rampe de 3,25/1 000, celle de 130 km/h en 49 secondes après 1 200 m en rampe de 2,5 mm/m.

Au cours d'essais effectués sur l'ancien Réseau du Midi, la vitesse de 100 km/h a été atteinte en 42 secondes en rampe de 15 mm/m.

Les caractéristiques de freinage sont particulièrement remarquables: l'arrêt a été obtenu en 33 secondes à la vitesse de 130 km/h, avec le frein mixte après un parcours de 650 mètres.

Le parcours Paris-Le Mans de 211 km a été couvert en 2 h 3 m avec 17 arrêts intermédiaires.

Sur l'ancien Réseau du Midi, le parcours de 325 km Bordeaux-Arcachon-Lamothe-Pierrefitte Nestalas a été réalisé avec 49 arrêts, à la vitesse commerciale de 88 km/h sans dépasser les vitesses normalement autorisées pour les trains du service public. En dépassant les vitesses autorisées on a pu obtenir la vitesse commerciale de 96 km/h sur le même parcours.

Il est à noter que cette machine peut soutenir la vitesse de 155 km/h d'une façon continue, bien qu'elle n'ait aucune prétention aérodynamique. La tenue sur la voie est parfaite à toutes vitesses, sans le moindre mouvement de lacet. L'inscription en courbe est particulièrement satisfaisante.

#### **Appareils et dispositifs communs aux locomotives 2D2, BB et automotrices.**

Bien qu'en application du Plan Marquet, la construction du matériel moteur de la ligne du Mans ait été confiée à des constructeurs différents, le Réseau de l'Etat s'est efforcé d'unifier autant

que possible les appareils secondaires et, en particulier, certains appareils de commande de façon à ce que le personnel ne soit pas dérouté en passant d'une série de machines sur une autre.

Les pantographes en particulier sont les mêmes sur toutes les machines, toutefois les pantographes d'automotrices ont une tête monopalette tandis que les pantographes des locomotives qui ont à capter des intensités plus élevées sont munis d'une tête bipalette.

Après une enquête approfondie sur tout le matériel existant lors de la passation des commandes, le Réseau de l'État a fixé son choix sur le pantographe Faiveley qui équipe toutes les locomotives des Chemins de Fer du Midi, du Maroc et du Réseau algérien de l'État et un certain nombre de machines du P.-O. et du P.-L.-M.

Toutefois, ce pantographe semblant pouvoir être amélioré, un programme de modifications, établi sous la direction de M. Parodi, fut imposé au constructeur. Celui-ci y répondit en tous points ; il a présenté un appareil qui donne à toute vitesse, jusqu'à la vitesse de 180 km/h, maximum obtenu en cours d'essai, des résultats entièrement satisfaisants.

Ce pantographe, normalement levé par ressorts et abaissé par l'air comprimé, ne peut être levé si on ne dispose pas de l'air nécessaire pour le descendre ; il s'abaisse automatiquement en cas de manque d'air ou en cas d'avarie à son circuit électrique de commande. Il se lève lentement, sans provoquer de choc sur la ligne de contact, quelle que soit la vitesse du véhicule ; à la descente, quelle que soit la vitesse du véhicule, il quitte avec une vitesse élevée la ligne de contact et vient s'accrocher sur son bâti sans choc appréciable.

Le pantographe est muni d'un système de sécurité qui ne libère les clés nécessaires à l'ouverture des compartiments à haute tension des machines qu'à la condition que le pantographe soit abaissé et verrouillé mécaniquement dans cette position.

Actuellement les bandes d'usure des pantographes sont en acier ; leur parcours moyen est supérieur à 45 000 km ; avec des graisses spéciales on l'a porté à 150 000 km. Mais, l'acier provoquant une usure des fils de contact, il a été décidé de le remplacer par du carbone. Des essais très satisfaisants ont déjà eu lieu ; la durée des bandes

de carbone d'essai sur les locomotives à grande vitesse est supérieure à 40 000 km ; cette durée sera augmentée dans une proportion considérable le jour prochain où tous les archets ayant été munis de bandes carbone, la ligne sera parfaitement polie.

**Verrouillage.** — On n'a pas craint de compliquer un peu le matériel pour éviter tout accident aux agents commettant un oubli ou une imprudence. Le principe du verrouillage est le suivant : chaque machine, automotrice ou locomotive, est munie d'une serrure centrale renfermant toutes les clés nécessaires soit pour libérer l'échelle d'accès à la toiture, soit pour ouvrir le compartiment renfermant des appareils à la tension de 1 500 V. Pour obtenir une clé, il faut que toutes les manettes de verrouillage données par tous les pantographes de la machine, après abaissement de ceux-ci, soient introduites dans la serrure centrale ; les clés peuvent alors être retirées et servir à l'ouverture des compartiments haute tension. Tant que ces compartiments restent ouverts, ces clés ne peuvent être libérées et il faut que toutes les clés des appareils soient replacées dans la serrure centrale pour qu'on puisse dégager les manettes de sécurité des pantographes et relever ceux-ci. Sur les locomotives munies d'une ligne de chauffage du train, des précautions spéciales sont prises pour que le courant de 1 500 V en cas de double traction ou de marche en unités multiples, ne puisse être envoyé d'une machine sur l'autre.

**Serrures d'enclenchement.** — Pour faciliter le travail du conducteur électrique, surtout sur le service de banlieue, toutes les locomotives et automotrices sont munies, dans chaque cabine, d'une serrure d'enclenchement qui permet de mettre cette cabine en service au point de vue pneumatique par la simple manœuvre de cette serrure. On évite ainsi tout danger d'oubli dans la manœuvre des robinets et en particulier des robinets de frein.

**Compresseurs auxiliaires.** — La production de l'air comprimé nécessaire pour la mise en route des locomotives et en particulier pour lever les pantographes étant très pénible pour le personnel, les Chemins de Fer de l'État ont

installé sur leurs locomotives des petits compresseurs d'air alimentés par la batterie d'accumulateurs qui permettent une mise en route facile, rapide et sans danger pour le personnel.

### CONCLUSIONS

De l'exposé qui précède, on peut conclure que l'ancien Réseau de l'Etat a cherché pour la constitution de son parc **locomotives** de la ligne du Mans, à adopter autant que possible des types de machines ayant déjà fait leurs preuves et déjà parfaitement au point; il n'a apporté à ce matériel que des modifications de détail ayant pour but, soit l'unification, soit une amélioration de la sécurité et des conditions de travail des agents, soit enfin un perfectionnement de certains organes.

La constitution du parc **automotrices** a par contre posé des problèmes entièrement nouveaux qui ont été résolus d'une façon satisfaisante comme le montre l'expérience d'une année d'exploitation.

Les mises au point inévitables avec du matériel de conception tout à fait nouvelle ont été peu nombreuses et rapidement terminées.

Enfin, il est bon de noter le souci d'économie qui a conduit à utiliser du matériel ancien que les circonstances avaient fait momentanément retirer du service <sup>(1)</sup>.

---

<sup>(1)</sup> N.D.C.R. — Les lecteurs qui désireraient des renseignements plus complets sur les dispositifs électriques équipant le matériel faisant l'objet de la présente Note les trouveront dans un article que publiera prochainement la Revue Générale d'Electricité.