

## Traction électrique

- I. INTRODUCTION : HISTORIQUE; AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS. — II. ALIMENTATION EN ÉNERGIE DES RÉSEAUX DE TRACTION : USINES CENTRALES, LIGNES, SOUS-STATIONS, POSTES DE TRANSFORMATION. — III. TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE AUX MOTRICES : LIGNES DE CONTACT. — IV. DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE TRACTION ÉLECTRIQUE : COURANT CONTINU BASSE TENSION; HAUTE TENSION. — COURANT ALTERNATIF MONOPHASÉ; TRIPHASÉ. — SYSTÈMES MIXTES. — V. ÉQUIPEMENT DES MOTRICES : SYSTÈMES DE PRISE DE COURANT; COMMANDE DES MOTEURS ET RÉGULATION DE LA VITESSE; TRANSMISSION DE L'EFFORT A L'ESSIEU; ÉCLAIRAGE; CHAUFFAGE.
- VI. FREINAGE ET RÉCUPÉRATION : COURANT CONTINU; MONOPHASÉ; TRIPHASÉ. RÉCUPÉRATION DANS LES SOUS-STATIONS. — VII. SYSTÈMES SPÉCIAUX : TRACTION PAR ACCUMULATEURS; THERMOÉLECTRIQUE; TRACTION DANS LES MINES; SUR LES CANAUX; SUR ROUTE SANS RAIL.

I

### Introduction

**101. HISTORIQUE.** — L'idée d'utiliser l'énergie électrique pour la propulsion des véhicules est antérieure à l'apparition de la machine dynamo. Il semble que la première application de l'électricité à la traction ait été faite, en 1834, par un ouvrier américain, THOMAS DAVENPORT, qui utilisait une batterie de piles comme source d'énergie; cette batterie de piles, montée sur la voiture, alimentait une machine magnéto-motrice qui actionnait le véhicule.

La première réalisation pratique de la traction électrique date de 1879, où une petite locomotive électrique SIEMENS et HALSKE fut mise en circulation pour le transport des visiteurs à l'Exposition Universelle de Berlin. Le courant était capté sur un rail spécial, par la locomotive, à l'aide d'un frotteur situé sous la machine.

A partir de 1879, les applications de l'électricité à la traction deviennent de plus en plus nombreuses. Nous ne citerons que les plus importantes :

1881. — Mise en circulation d'un tramway à accumulateurs à Paris sur la ligne Louvre-Vincennes.

Installation par les Etablissements SIEMENS et HALSKE d'un tramway à prise de courant aérienne à Paris, entre la Concorde et le Palais de l'Industrie, à l'occasion de l'Exposition d'Electricité.

Construction, par les Etablissements SIEMENS et HALSKE, de la ligne Gross-Lichterfeld près de Berlin.

1883. — Mise en circulation de la première locomotive électrique à voie normale sur les lignes du Mount Mac Grégor et Lake George Railroad de l'Etat de New-York.

1884. — Construction de la ligne Francfort à Offenbach avec prise de courant aérienne.

Mise en circulation d'un tramway électrique à Cleveland (Ohio) avec prise de courant en caniveau.

1885. — Construction des premiers moteurs à paliers d'essieu suivant les conceptions de M. SPRAGUE.

Mise en service à New-York, sur le chemin de fer aérien de la Neuvième Avenue, d'une locomotive désignée sous le nom de BEN-FRANKLIN.

A partir de 1885 des compagnies se créent pour l'exploitation des lignes; les lignes électrifiées se multiplient avec une grande rapidité, surtout aux Etats-Unis.

Le tableau ci-dessous indique les principales lignes électrifiées à partir de 1890.

Date de mise en service	NOM DE LA LIGNE
1890	Chemin de fer souterrain, dit tube de Londres.
1890	Ligne de Clermont-Ferrand.
1892	Lignes de Florence, Frésole, Murren et du Salève.
1892	Tramways de Marseille.
1893	Tramways de Bordeaux.
1893	Chemin de fer aérien ou Overhead de Liverpool.
1894	Tramways de Lyon.
1894	Tramways du Havre.
1895	Baltimore and Ohio.
1899	Burgdorf, Thoun.
1899	Elevated de Chicago (côté sud).
1900	Central London.
1900	Métropolitain de Paris.
1900	Chemin de fer d'Orléans (Quai d'Orsay, Paris).
1900	Chemin de fer de l'Ouest (Paris-Invalides, Versailles).
1900	Milan, Gallarate et embranchements.
1901	Valteline.
1902	Chemin de fer aérien de Berlin.
1902	Elevated du Manhattan (New-York).
1903	Berlin, Lichterfeld.
1904	Lancashire et Yorkshire.
1904	North-Eastern.

Date de mise en service	NOM DE LA LIGNE
1904	Seebach, Wettingen.
1905	Métropolitain District (Londres).
1906	Pennsylvania Atlantic City Branch.
1906	Tunnel du Simplon.
1906	New-York Central.
1907	New-York, New-Haven, Hartford.
1907	Hambourg, Blankenese, Altona.
1909	London-Brighton South-Coast.
1909	Pennsylvania.
1909	Great Northern Railway (Etat de Washington, Etats-Unis).
1910	Wiesenthal (Etat badois).
1911	Giovi.
1911	Chemin de fer du Midi (ligne de Villefranche à Ille-sur-Têt).
1912	Chemin de fer du Mont-Cenis de Modane à Bussoleno.
1913	Tunnel du Lœtschberg (Alpes Bernoises).
1915	Chicago, Milwaukee, Saint-Paul, etc.

En France, les premiers essais méthodiques, portant sur la traction électrique, eurent lieu de 1893 à 1897 sur les réseaux de l'Ouest et du P. L. M. Ce dernier expérimenta une machine à accumulateurs, dite AUVERT, et l'Ouest la machine HEILMANN sur laquelle l'énergie était produite sous forme thermique (vapeur) et transformée en énergie électrique utilisée sur les moteurs. On expérimenta également, entre Saint-Germain-Ouest et Saint-Germain-Grande-Ceinture, le système Ward-Léonard.

Dans la période comprise entre 1900 et 1918, les applications de la traction électrique se développent en France sans étude d'ensemble. Certaines lignes de banlieue furent électrifiées, comme les lignes de pénétration dans Paris des réseaux de l'Ouest et d'Orléans, ou certaines lignes de montagne, comme celles du Fayet à la frontière suisse (P. L. M.) ou de Villefranche à Bourg-Madame (Midi). On utilisa, comme courant de traction, du courant continu sous des tensions de 500 à 600 V et, dans certains cas, de 850 V et même 2 400 V, ou bien des courants monophasés sous une tension de 12 000 V et une fréquence de 16 p/s.

Pour unifier les systèmes de traction électrique en France, une Commission fut nommée par le Gouvernement en 1920 et le courant de traction adopté fut le courant continu à la tension de 1 500 V. Une décision ministérielle du 29 août 1920 rendit le système de traction par courant continu 1 500 V obligatoire, avec la faculté de porter cette tension à 3 000 V dans certains cas particuliers.

Les réseaux du Midi, du P. L. M. et de Paris à Orléans entreprirent la transformation des lignes électrifiées, pour les rendre conformes aux prescriptions de la décision ministérielle du 29 août 1920 et élaborèrent un vaste programme d'électrification.

En 1931, le réseau du Midi comportait 1 213 km de lignes électrifiées ;

le réseau d'Orléans 237 km ;

le P. L. M. 135 km ;

l'Etat 96 km ;

les chemins de fer du Maroc 424 km et  
les chemins de fer Algériens 108 km.

Le courant de traction employé est le courant continu 1 500 V, sauf pour les lignes de banlieue des chemins de fer de l'Etat qui ont adopté le courant continu 750 V et les chemins de fer du Maroc et de l'Algérie qui utilisent le courant continu 3 000 V.

L'électrification des réseaux de chemin de fer français est en plein essor et, actuellement, 1 100 km de lignes sont en cours d'équipement, pour substituer la traction électrique à la traction à vapeur.

Les premiers essais de traction électrique par accumulateurs furent repris, il y a quelques années, pour des applications bien particulières ; les progrès réalisés furent très rapides et de nombreuses industries utilisent maintenant les véhicules à accumulateurs, soit pour le transport de matériaux à l'intérieur de l'usine, soit entre l'usine et le port ou la gare d'expédition ; ce système de traction a reçu encore de nombreuses applications dans les entrepôts, halles, service de voirie, etc. et est appelé à un développement encore beaucoup plus grand par suite des nombreux avantages qu'il offre dans certains cas, sur la traction par véhicules à essence.

## 102. AVANTAGES SUR LA TRACTION

**A VAPEUR. — Propreté.** — La traction électrique, par suite de l'absence de fumée, permet d'exploiter des lignes souterraines ou traversant de longs tunnels, lignes qu'il aurait été difficile et parfois même impossible d'utiliser avec la traction à vapeur. En outre, le confort des voyageurs se trouve accru du fait de la propreté des voitures et des gares ; l'effet de corrosion des fumées sur les ouvrages d'art métalliques n'existe plus.

### Augmentation de la capacité de trafic des gares terminus.

— La traction électrique permet d'augmenter sensiblement la capacité de trafic d'une gare terminus ; en effet, par suite de l'absence de fumée, on peut augmenter le nombre des voies d'une gare terminus en construisant celle-ci à plusieurs étages ; des installations de ce genre ont été réalisées et nous citerons comme modèle le terminus du New-York Central de New-York, qui comporte deux étages de voies. En outre, la traction électrique se prête très facilement à la commande réversible des trains et il n'est plus nécessaire, comme cela se pratique généralement en traction à vapeur, de conduire la motrice d'une extrémité à l'autre du train pour faire repartir ce dernier en sens inverse. Certains dispositifs permettant d'obtenir cette réversibilité des trains sont utilisés quelquefois en traction à vapeur, mais ils sont d'une complication excessive et présentent de sérieux inconvénients. De plus la machine à vapeur est souvent obligée de refaire le plein d'eau et de charbon avant le départ, tandis que la locomotive électrique est toujours prête à repartir.

Du fait de la réduction de ces manœuvres de gare, la durée de stationnement des rames se trouve réduite et par suite le trafic augmenté.

### Augmentation de la capacité de trafic d'une ligne.

— Avec la traction électrique la valeur de l'accélération au démarrage d'un train n'est pas limitée au point de vue technique, tandis qu'avec la traction à vapeur cette accélération ne peut dépasser une limite très infé-

rière aux valeurs adoptées en traction électrique. Or il y a tout avantage à avoir une forte accélération au démarrage pour atteindre rapidement la vitesse de régime, surtout dans les trains de banlieue, dans les tramways, etc., pour lesquels les arrêts sont fréquents, et où la durée des démarrages est importante par rapport à celle du trajet. En général, pour une locomotive à vapeur d'express, l'accélération varie de 0,30 à 0,35 m/s/s au début du démarrage pour tomber rapidement à 0,20 et même 0,05 m/s/s à la fin de celui-ci. Des essais faits en Amérique sur des automotrices électriques ont montré la possibilité d'atteindre la vitesse de 48 km/h en 10 s en partant d'une vitesse initiale nulle, ce qui correspond à une accélération de 1,33 m/s/s environ. Le chemin de fer Métropolitain de Paris, où les arrêts sont très fréquents, a adopté une accélération de 0,75 m/s/s.

Par suite de la rapidité de démarrage en traction électrique, la vitesse moyenne de marche des trains est augmentée notablement, la capacité de trafic d'une voie se trouve donc de ce fait accrue. C'est ainsi que le réseau de l'Etat a pu faire face à un trafic continuellement croissant pour son réseau de la banlieue Ouest de Paris et abaisser de près de moitié la durée des trajets de Paris à Versailles et à Saint-Germain.

**Economie de combustible.** — La locomotive à vapeur est obligée de transporter un poids mort important (charbon, eau....) et produisant son énergie elle-même, elle ne peut le faire aussi économiquement que dans une usine centrale, où le charbon employé peut être de moins bonne qualité et où les machines travaillant à condensation, ont une consommation spécifique plus faible que la locomotive qui travaille à échappement libre.

En outre, pendant les stationnements et dans les descentes, la machine à vapeur consomme une quantité importante de charbon, tandis qu'en traction électrique, la consommation pendant les arrêts est nulle et même une certaine quantité d'énergie est restituée au réseau dans les descentes ou lors du freinage si on emploie la marche en récupération.

**Augmentation de la vitesse dans les lignes à fortes déclivités.** — La chaudière d'une locomotive à vapeur n'a qu'une puissance de vaporisation limitée et, par suite de l'accroissement énorme de l'effort de traction dans une rampe, cette puissance limitée est rapidement atteinte; il en résulte qu'en traction à vapeur, on ne dépasse guère des rampes de 2,5 % qu'en montagne où l'on admet exceptionnellement des déclivités de plus de 3 %. Au delà de 5 à 6 % on a généralement recours à la crémaillère. Avec la traction électrique ce défaut de puissance des motrices n'est plus à craindre et l'on peut adopter des rampes beaucoup plus fortes et les franchir à des vitesses plus élevées.

La compagnie du Midi a pu doubler la vitesse de ses trains par l'emploi de la traction électrique sur la ligne de Toulouse à Bayonne dans la rampe de Capvern qui présente une déclivité de 32 mm par mètre sur une longueur de 10 km; cette rampe est franchie aujourd'hui, grâce à la traction électrique, à la vitesse de 45 km/h.

Sans la traction électrique il aurait été impossible d'exploiter des lignes telles que les lignes transpyrénéennes qui présentent des déclivités de 40 à 43 mm par mètre ou des lignes de montagnes telles que celles de Ville-

franche à La Tour-de-Carol dans les Pyrénées, du Fayet à Valorcine dans les Alpes, lignes qui atteignent des déclivités de 60 et même 90 mm par mètre.

**Augmentation de la puissance des motrices.** — La puissance d'une locomotive à vapeur est limitée par la surface de grille du foyer; en outre, le nombre des essieux moteurs est réduit et l'effort de traction ne peut dépasser une certaine valeur, bien inférieure à celle qui peut être admise en traction électrique où le nombre d'essieux moteurs peut être beaucoup plus important.

Avec les locomotives électriques, la valeur de la puissance n'est pas limitée; les chemins de fer de Paris à Orléans utilisent des automotrices de 4 000 ch et, en Amérique, sur les lignes du Pennsylvania, circulent des machines de 5 000 ch.

**Légereté.** — Avec la locomotive à vapeur, le poids adhérent n'étant réparti que sur quelques essieux moteurs seulement, il est nécessaire, pour que ce poids ait une certaine importance, de construire des machines très lourdes. De plus, ce poids adhérent ne représente qu'une faible partie du poids total du train; la machine à vapeur a donc un poids mort énorme à remorquer. Avec la traction électrique, par le système à unités multiples, on peut répartir les efforts de traction sur toute la longueur du train, puisque l'on dispose d'un plus grand nombre d'essieux moteurs; en outre, le poids supporté par chacun de ces essieux est plus faible et la voie se comporte mieux au passage des mouvements.

**Couple moteur plus uniforme.** — Le couple moteur d'une automotrice électrique est beaucoup plus constant, surtout dans les machines à courant continu ou triphasé, que celui d'une locomotive à vapeur; de plus, les pièces à mouvement alternatif (bielles, pistons....) d'une locomotive à vapeur exercent sur les rails de roulement une action qui leur est très nuisible.

### 103. INCONVENIENTS PAR RAPPORT A LA TRACTION A VAPEUR.

— Malgré les avantages considérables qu'offre la traction électrique sur la traction à vapeur, il y a lieu de signaler les progrès importants réalisés au cours de ces dernières années par la machine à vapeur: accroissement de la pression, emploi de la surchauffe et du compoundage, amélioration diverses dans la disposition des organes de la machine. Malgré cela, la machine électrique se montre supérieure à la machine à vapeur par sa souplesse et sa puissance spécifique; par contre, une grave critique faite à la traction électrique est la dépense considérable de premier établissement qu'elle entraîne et par suite l'immobilisation de capitaux très importants; en outre, les trains dépendent de sous-stations et de centrales qui peuvent être immobilisées pendant un temps plus ou moins long à la suite d'un accident, ce qui est un grave inconvénient au point de vue stratégique, un réseau électrifié pouvant de ce fait être immobilisé facilement par l'ennemi.

Nous verrons comment, dans les installations modernes, on a cherché à atténuer le plus possible cet inconvénient et à localiser l'incident probable dans une portion de ligne la plus réduite possible.

## II

## Alimentation en énergie des réseaux de traction

**104. GENERALITES.** — Une installation de traction électrique comporte, quel que soit le système de traction adopté :

a) une ou plusieurs usines centrales produisant l'énergie nécessaire aux besoins du réseau, généralement sous forme de courants alternatifs à haut voltage;

b) une ligne de transport de force, reliant l'usine centrale aux sous-stations de traction;

supprime les sous-stations de traction et l'énergie est fournie à la ligne de travail, directement par l'usine centrale.

Les figures 271 à 274 montrent quelques types courants d'installations, avec ou sans sous-stations de traction.

Etudions tout d'abord ce qui se rapporte à l'alimentation proprement dite (usine centrale, ligne de transport de force, sous-stations de traction); la ligne de contact et le matériel de traction seront étudiés ultérieurement.

**105. USINES CENTRALES ET LIGNE DE TRANSPORT D'ENERGIE.** — Les usines centrales, produisant l'énergie électrique né-

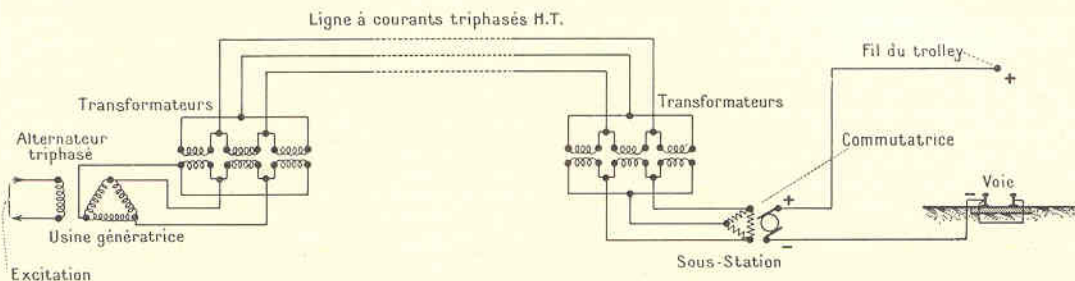


Fig. 271 — Traction par courant continu avec sous-station.

c) des sous-stations de traction, abaissant la tension et transformant, dans certains cas, la nature du courant fourni par l'usine centrale;

cessaire pour l'alimentation d'un réseau de traction, ne diffèrent pas des usines centrales ordinaires et nous renvoyons, à ce sujet, le lecteur à la 5<sup>e</sup> Partie de cet ouvrage.

En général, l'énergie électrique est produite sous forme de courants alternatifs, soit à la tension même de transmission, si la valeur de cette tension est inférieure à 10 000 ou 15 000 volts, soit à une tension inférieure si la valeur de la tension de transmission dépasse 15 000 volts; dans ce dernier cas, la tension est alors élevée à la valeur convenable, à l'aide de transformateurs statiques.

Le choix de la valeur de la tension de trans-

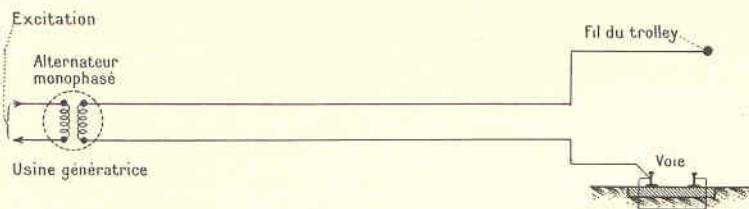


Fig. 272 — Traction par courant monophasé sans sous-station.

d) une ligne de contact, alimentée par les sous-stations de traction et transmettant l'énergie aux motrices;

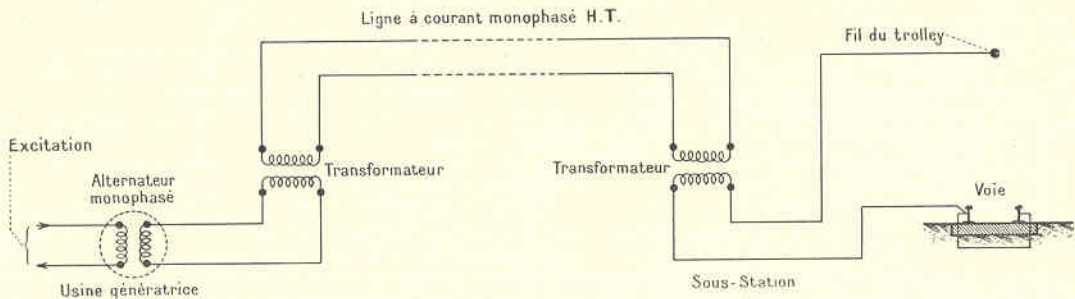


Fig. 273 — Traction par courant monophasé avec sous-station.

e) du matériel de traction comprenant des motrices captant l'énergie sur la ligne de contact et transformant cette énergie électrique en énergie mécanique, transmise aux roues.

Ces dispositions tout à fait générales peuvent être modifiées suivant les cas; par exemple, dans une installation peu importante, où l'usine centrale se trouve à proximité du réseau, on

mission dépend du trafic du réseau, de son étendue et de la distance qui le sépare de l'usine centrale. Si le trafic du réseau de traction est important, si ce réseau est étendu et si sa distance à l'usine centrale est assez grande, on est amené à adopter une tension de transmission très élevée, pour que la chute de tension dans la ligne de transport, ne soit pas trop forte.

Dans les débuts de la traction électrique, les Compagnies de Chemins de fer construisaient et exploitaient elles-mêmes leurs usines centrales; la puissance des usines existantes était alors en général insuffisante et, d'autre part, les Sociétés de distribution ne tenaient pas à livrer du courant aux réseaux de traction en raison de la charge très variable demandée par ces derniers et des courts-circuits violents qui pouvaient se produire.

Après la guerre de 1914, les usines génératrices de plus en plus puissantes ont eu intérêt à fournir du courant pour la traction électrique; en effet, le nombre de kWh absorbés pour la traction dans un pays à industries moyennement développées est faible par rapport à l'énergie totale produite pour tous les usages. Pour l'Italie, la France, l'Allemagne et l'Angleterre la consommation d'énergie pour la traction représente 8 à 9 % du nombre total de kWh produits; si toutes les lignes de Chemins de fer étaient électrifiées cette consommation ne représenterait encore que 20 % environ de la consommation totale.

être capté par les motrices. Les sous-stations de traction sont échelonnées sur le parcours de la voie ferrée, à des distances les unes des autres, variant avec le trafic et avec la tension du réseau de traction; cette distance est comprise en général entre 10 et 25 km pour la traction par courant continu; en traction monophasée, la tension employée étant très grande (15 000 V en général), on arrive sans difficulté à pousser cette distance à 70 et 80 km.

Par suite de la facilité de transport à très haut voltage et de transformation, le courant fourni par l'usine centrale aux diverses sous-stations de traction est généralement du courant alternatif à haute tension; le système adopté en France est le courant alternatif triphasé à la fréquence 50 p/s.

Les sous-stations de traction, comportent des transformateurs statiques pour abaisser la tension du courant d'arrivée, des convertisseurs lorsque le courant utilisé pour traction n'est pas de même nature que le courant d'alimentation et enfin des appareils de commande, de protection et de contrôle.

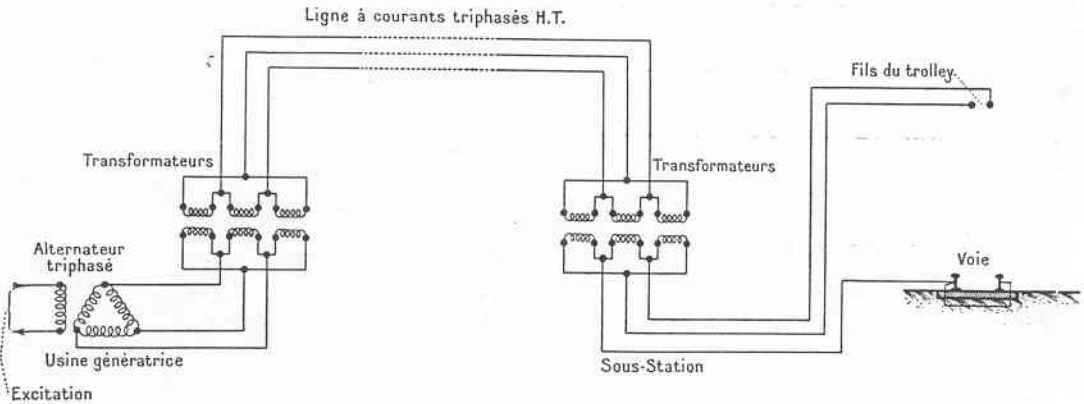


Fig. 274 — Traction par courants triphasés avec sous-station.

L'utilisation de la puissance électrique d'une centrale, pour les besoins de la traction, est aussi bonne que possible; en effet, la durée d'utilisation d'un réseau important comme le Midi est d'environ 6 000 h par an et bien des réseaux de distribution ont une utilisation plus mauvaise. La Commission Ministérielle de 1920 a envisagé, pour la France, la conjugaison des réseaux de traction et des réseaux de distribution pour améliorer l'utilisation de l'énergie fournie par ces derniers; c'est pour cette raison que l'on a décidé d'adopter en France le courant triphasé à la fréquence 50 périodes par seconde pour les usines centrales destinées à fournir le courant nécessaire à la traction.

Une ligne de transport de force relie l'usine centrale aux diverses sous-stations de traction échelonnées sur le parcours du réseau. Cette ligne, qui est en général une ligne aérienne, suit presque toujours le tracé des voies ferrées du réseau et est souvent doublée par une seconde ligne, pour permettre d'effectuer les réparations ou révisions nécessaires, sans interrompre le trafic.

## 106. SOUS-STATIONS DE TRACTION.

— Les sous-stations, dites de traction, sont destinées à transformer la tension et quelquefois la nature du courant venant de la centrale, de façon à le rendre propre à la traction. Ce courant est envoyé sur la ligne de contact, pour

En traction monophasée, la transformation du courant triphasé d'alimentation des sous-stations de traction, courant généralement à la fréquence 50 p/s, en monophasé à la fréquence  $\frac{50}{3} = 16 \frac{2}{3}$  p/s se fait à l'aide de groupes moteur-générateur; la possibilité découverte récemment d'obtenir, avec des redresseurs à vapeur de mercure à grille polarisée, la transformation de l'énergie de 50 à  $\frac{50}{3}$  p/s permettrait d'équiper des sous-stations monophasées sans machines tournantes.

Dans la traction à courant continu, la tension est abaissée en premier lieu par un transformateur statique, puis le courant est transformé en courant continu, soit :

- 1° par groupe convertisseur, moteur asynchrone-générateur à courant continu;
- 2° par commutatrice;
- 3° par redresseur à vapeur de mercure.

La construction des redresseurs à vapeur de mercure pour les fortes puissances ayant fait des progrès importants au cours de ces dernières années, on a songé à les utiliser pour les besoins de la traction électrique; les redresseurs à vapeur de mercure présentent en effet de très grands avantages sur les machines tournantes: simplicité d'installation, rendement plus élevé (fig. 275), frais d'entretien réduits, marche silencieuse, poids plus faible et dimensions

d'encombrement plus réduites, grande capacité par suite de l'absence de champs magnétiques et de réactance, parfaite résistance aux courts-circuits.

On a construit des redresseurs à vapeur de mercure pouvant débiter 8 à 10 000 ampères et l'on a étudié la possibilité de leur fonctionnement en récupération.

Au point de vue exploitation, les sous-stations de traction peuvent se diviser, quelles que soient la nature et la valeur de la tension du courant, en 3 catégories :

- a) sous-station à commande manuelle;
- b) sous-station semi-automatique;
- c) sous-station automatique.

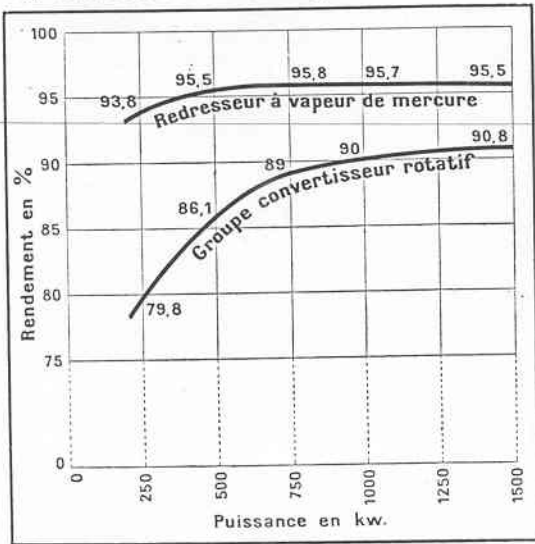


Fig. 275

Comparaison d'un groupe convertisseur rotatif 1000 kW, 1500 V avec un redresseur à vapeur de mercure, 1000 kW, 1500 V.

Nous n'entrerons pas dans le détail d'une sous-station à commande manuelle qui ne diffère pas en principe d'une sous-station électrique ordinaire.

**Sous-stations automatiques et semi-automatiques.** — Les Compagnies de Chemins de fer ont eu l'idée de commander automatiquement les appareils des sous-stations de traction, pour supprimer totalement (sous-stations automatiques) ou partiellement (sous-stations semi-automatiques) la main-d'œuvre et diminuer par suite les frais d'exploitation de leur réseau.

Le dispositif de commande automatique d'une sous-station doit assurer :

- 1° la mise en service des unités de la sous-station (transformateurs pour la traction à courant alternatif; groupes convertisseurs, commutatrices ou redresseurs à vapeur de mercure pour la traction à courant continu) dans des conditions déterminées et la sécurité des manœuvres correspondantes;
- 2° le contrôle du fonctionnement des machines et la protection de celles-ci contre les perturbations, surcharges passagères, courts-circuits, etc...;
- 3° l'arrêt d'une unité quelconque, le service étant assuré par une ou plusieurs autres unités, suivant les besoins de la charge;
- 4° la mise sous tension des feeders de départ, après contrôle de leur isolement;
- 5° la signalisation des perturbations graves et l'appel du personnel de contrôle.

Ces différentes manœuvres nécessaires sont effectuées automatiquement, à l'aide de contacts, relais, servo-moteurs, etc... .

La mise en service des unités de la sous-station est effectuée, soit à heures fixes par une horloge à contacts, soit par un dispositif agissant en fonction de la tension de la ligne caténaire et du courant débité par la sous-station.

Nous décrivons les installations desservant la ligne Paris-Vierzon de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Orléans, comportant des sous-stations de traction automatiques avec groupes convertisseurs, moteurs asynchrones-génératrices à courant continu; nous décrivons ensuite la sous-station du Hourat de la Compagnie des Chemins de fer du Midi comme type d'installation de sous-station avec commutatrice; enfin comme sous-station équipée avec redresseurs à vapeur de mercure, nous donnerons quelques détails sur la sous-station automatique de Croix-Nivert de la S. T. C. R. P.

### 107. LES POSTES ET SOUS-STATIONS DE LA LIGNE PARIS-VIERZON DU P. O.

— Pour l'électrification de son réseau entre Paris et Vierzon, Brétigny et Dourdan, Choisy-le-Roi et Orly, la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Orléans (P. O.) a construit, de 1923 à 1925, un réseau de distribution, dont le centre principal d'alimentation est l'usine d'Eguzon.

L'alimentation des trains circulant entre Paris et Vierzon, Brétigny et Dourdan, Choisy-le-Roi et Orly est assurée par les sous-stations de traction réparties sur la ligne, transformant le courant triphasé 90 000 V, qui les alimente, en courant continu 1 500 V.

Les installations ont été étudiées et exécutées par la Société Alsthom.

Les deux sous-stations de la région Parisienne : *Quai de la Gare* et *La Plaine*, situées sur le tronçon de Paris à Juvisy, sont alimentées chacune en courant triphasé à 13 500 V par la centrale de Vitry de l'Union d'Electricité; les autres sous-stations réparties entre Juvisy et Vierzon : *Les Saugées*, *Bellevue*, *Thionville*, *Tivernon*, *Saran*, *les Relais*, *Cordy* et *Le Bourg*, sont alimentées par deux lignes à 90 000 V partant de l'usine d'Eguzon, desservant en outre les 2 postes d'*Issoudun* et de *Châteauroux* de la Société Production, Transport et Distribution d'énergie, passant par le poste de *Chaingy* et aboutissant au poste de *Chevilly*; ces 2 derniers postes étaient reliés primitivement à l'usine d'Eguzon par une ligne à 150 000 V, tension portée par la suite à 220 000 V. En outre, le poste de *Chevilly* est relié, d'une part au poste d'*Arcueil* de l'Union d'Electricité par une ligne de 60 000 V et d'autre part à la centrale de Vitry par deux lignes de 60 000 V également.

La figure 276 représente schématiquement la distribution à haute tension primitive de la ligne Paris-Vierzon.

Nous allons étudier les postes principaux de *Chevilly* et *Chaingy* tels qu'ils avaient été réalisés dans l'installation à 150 000 V; nous étudierons ensuite les sous-stations de traction, la protection du réseau; enfin, nous donnerons quelques indications sur les transformations apportées lors de l'adoption de la tension de 220 000 V.

**Poste de Chevilly.** — Ce poste est destiné à relier les réseaux à 90 000 V et 150 000 V de la Compagnie d'Orléans au réseau à 60 000 V de l'Union d'Electricité.

Ce poste comporte

1 groupe de 25 000 kVA comprenant 3 transformateurs de 8 333 kVA, transformant le courant à 150 000 V venant d'Eguzon en courant à 60 000 V;

2 groupes de 25 000 kVA comprenant chacun 3 transformateurs monophasés de 8 333 kVA transformant le courant à 90 000 V venant de l'Union d'Electricité en courant à 60 000 V.

Ces transformateurs sont couplés en étoile du côté primaire et en triangle du côté secondaire; ils sont à refroidissement par circulation d'eau et possèdent 5 prises permettant de faire varier la tension de 2,5 % en 2,5 % au moyen d'un ajusteur de tension à commande par volant.

Le poste comporte en outre des départs de ligne à 150 000 V et 90 000 V, des jeux de barres omnibus pour les mêmes tensions, des départs souterrains à 60 000 V ainsi que les barres omnibus correspondantes. Toute la partie à

également par des compteurs à cliquets, alimentés par des transformateurs combinés de comptage type extérieur.

Les départs 60 000 V sont protégés par des interrupteurs à huile ayant un pouvoir de coupure de 4 600 A sous 73 000 V; les relais à maximum d'intensité temporisés sont placés dans des armoires métalliques situées à proximité des interrupteurs; ils protègent les départs Arcueil et Vitry; les deux départs Vitry possèdent en plus de ces relais, trois relais différentiels ampèremétriques.

Les services auxiliaires du poste sont alimentés par 2 transformateurs de 100 kVA - 15 000/215-125 V branchés sur le Sud Lumière dont les canalisations passent à proximité du poste.

Le poste comprend en outre :

1 batterie d'accumulateurs au plomb de 69 éléments de 180 A h;

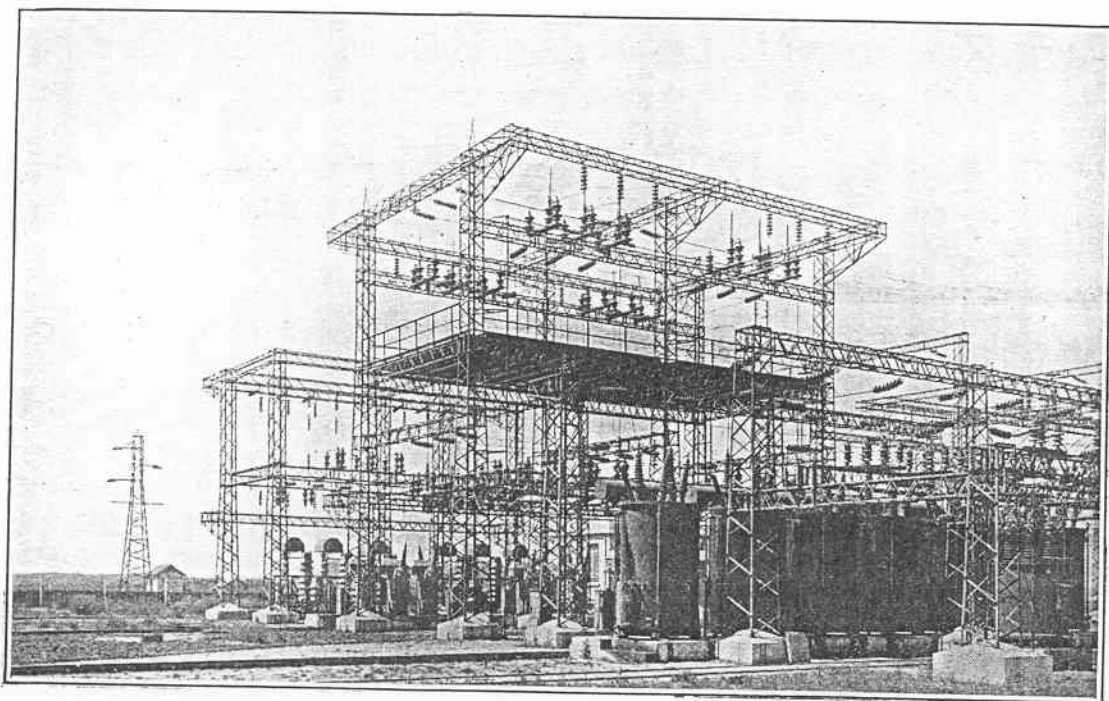


Fig. 277 — Poste de Chevilly — Transformateurs 60 000/90 000 volts et charpentes à 90 000 volts. (Alsthom)

haute tension du poste (barres omnibus, sectionneurs, transformateurs, interrupteurs à huile) est extérieure et les conducteurs sont supportés, par l'intermédiaire d'isolateurs, par une charpente composée de poutrelles en treillis.

Les groupes de transformateurs sont protégés par un relais différentiel tripolaire à maximum d'intensité, alimenté par des transformateurs d'intensité placés autour des traversées des interrupteurs haute et basse tension. Les relais sont placés dans des armoires spéciales situées à proximité des groupes à protéger.

L'énergie cédée ou prise à l'Union d'Electricité est enregistrée par des compteurs, alimentés par des transformateurs combinés de comptage, type extérieur, placés sur les jeux de barres à 60 000 V. Ces transformateurs alimentent en outre les voltmètres, fréquencemètres et synchronoscopes de couplage.

L'énergie traversant chaque groupe de transformateur 90 000/60 000 V est enregistrée

1 groupe de charge moteur asynchrone-génératrice à courant continu.

Pour les réparations et l'entretien du poste, celui-ci est desservi par des voies ferrées aboutissant à un bâtiment réservé pour le décuivage des appareils.

Ce bâtiment possède un pont tournant de 30 t pour le déplacement des grosses pièces. En outre, il a été installé une étuve pour le séchage des bobinages, des ventilateurs avec résistances chauffantes pour production d'air chaud, une pompe de circulation d'huile, un laboratoire d'essais et de traitement des huiles.

A la partie supérieure du bâtiment a été installé un réservoir emmagasinant l'eau de refroidissement des transformateurs. L'eau chaude sortant des transformateurs est envoyée dans un bassin de réfrigération d'où elle est refoulée, par 2 groupes moto-pompe à manœuvre automatique par flotteur, dans le réservoir d'accumulation.

- Le bâtiment de commande comporte :
- 1 panneau pour les 3 départs 60 000 V ;
  - 1 panneau pour le transformateur 150 000/60 000 V ;
  - 1 panneau de comptage de l'énergie fournie ou reçue de l'Union d'Electricité ;
  - 1 panneau de départ 150 000 V ;
  - 1 panneau pour les 2 transformateurs 90 000/60 000 V ;
  - 1 panneau pour les 2 départs à 90 000 V ;
  - 1 panneau de couplage des jeux de barres à 60 000 V ;
  - 1 panneau pour les transformateurs auxiliaires ;
  - 1 panneau pour les départs basse tension et d'éclairage ;
  - 1 panneau pour le contrôle du poste de pompage ;
  - 1 panneau pour la batterie d'accumulateurs et son groupe de rechange.

La disposition des jeux de barres et des appareils est identique à celle du poste de Chevilly.

L'installation intérieure du poste comporte :

- 2 jeux de barres à 6 600 V ;
- 2 compensateurs synchrones de 10 000 kVA chacun.

Les groupes de transformateurs sont protégés par un relais différentiel tripolaire à maximum d'intensité alimenté par des transformateurs d'intensité placés dans les interrupteurs 150 000 V et 90 000 V et sur l'arrivée aux barres omnibus des conducteurs 6 600 V.

Les relais, placés dans des armoires spéciales situées à proximité du groupe à protéger, agissent sur un relais intermédiaire tripolaire qui alimente les bobines de déclenchement des trois interrupteurs des transformateurs.

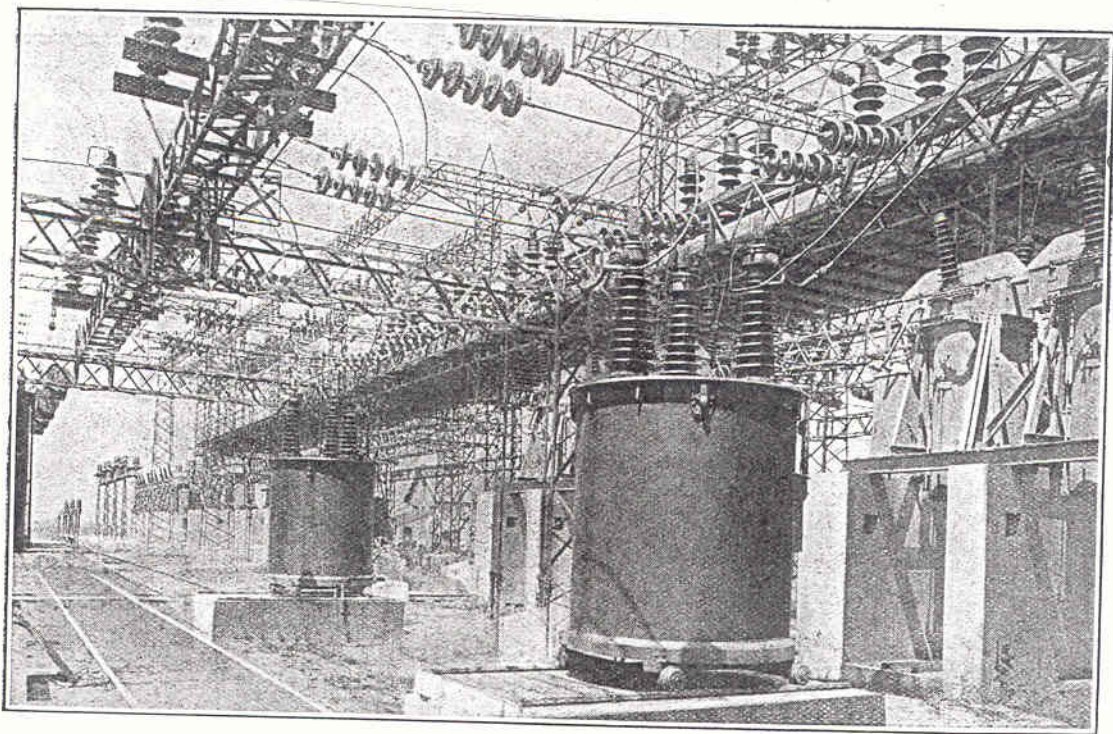


Fig. 278 — Poste de Chevilly — Transformateurs de comptage.

(Alsthom)

La vue générale du poste de Chevilly avec les transformateurs de 60 000/90 000 V est représentée par la figure 277 ; la figure 278 représente un transformateur de comptage.

**Poste de Chaingy.** — Le poste de Chaingy est situé à 10 km d'Orléans, sur la route nationale d'Orléans à Tours ; il est destiné à alimenter par le milieu le réseau à 90 000 V pour régler la tension de celui-ci.

Le poste est alimenté par le courant à 150 000 V venant de l'usine d'Eguzon ; il comporte 2 groupes de 20 000 kVA chacun, comprenant 3 transformateurs de 6666 kVA à 3 enroulements de 150 000/90 000/6 600 V.

Les enroulements 150 000 V et 90 000 V sont couplés en étoile et les enroulements 6 600 V en triangle. Les bobinages 150 000 V comportent 5 prises permettant de faire varier le rapport de transformation de 2,5 en 2,5 % ; le refroidissement est assuré par une circulation d'eau.

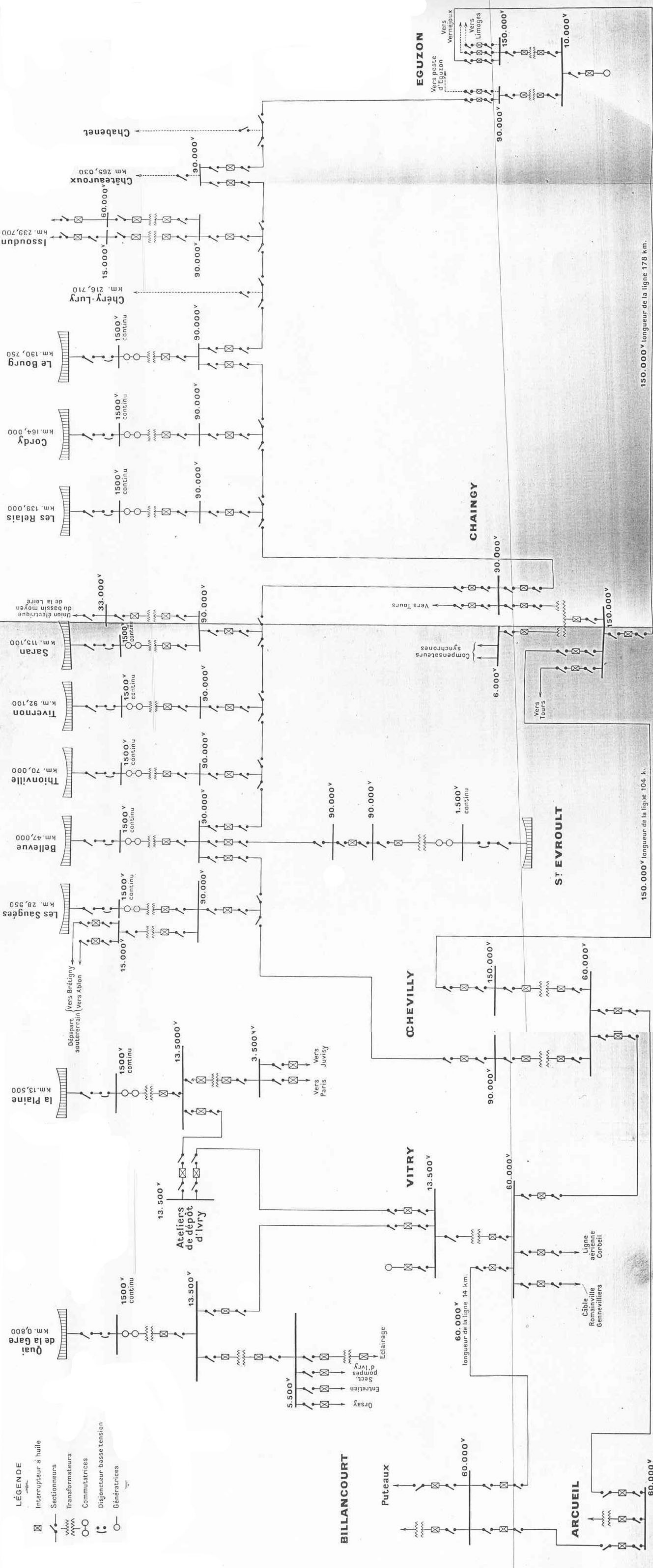
Le poste intérieur est alimenté par le courant à 6 600 V ; il renferme :

- 2 transformateurs de 100 kVA 6 600/215-125 V pour les services auxiliaires ;
- 1 batterie d'accumulateurs de 180 A h ;
- 1 groupe de recharge de la batterie ;
- 1 compresseur d'air pour le nettoyage des machines ;
- 2 compensateurs synchrones avec leurs rhéostats et leurs interrupteurs de champ ;
- 1 tableau général de commande.

En outre, il a été prévu dans ce bâtiment un atelier de réparation et une fosse de décu-

vage. Les compensateurs synchrones sont constitués chacun par un moteur synchrone triphasé de 10 000 kVA tournant à 600 t/m avec une excitatrice de 60 kW 125 V montée en bout d'arbre ; ils peuvent supporter une intensité de 875 A et fournir une puissance de 10 000 kVA





- LÉGENDE**
- ☒ Interrupteur à huile
  - Sectionneurs
  - ⚡ Transformateurs
  - ⊕ Commutatrices
  - ⊖ Disjoncteur basse tension
  - ⊙ Génératrices

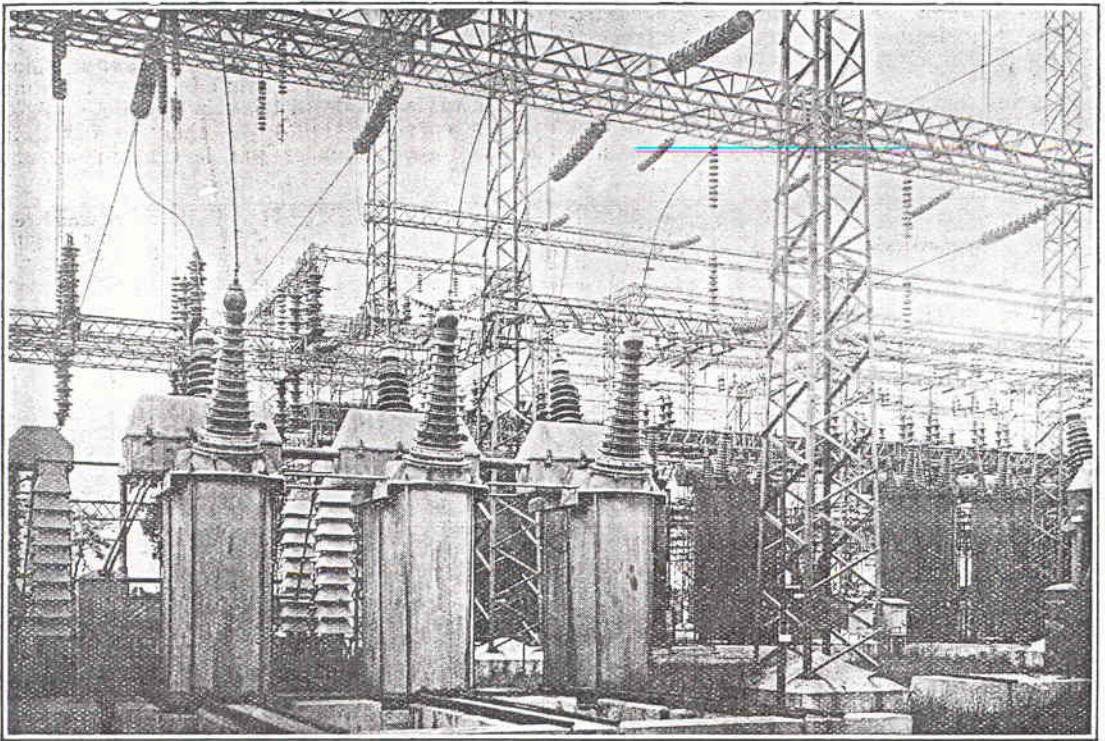
150.000 V longueur de la ligne 178 km.

150.000 V longueur de la ligne 104 k.

Fig. 276

**SCHEMA GÉNÉRAL DU RÉSEAU A HAUTE TENSION DE LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER DE PARIS A ORLÉANS**

NOTA. — L'alimentation 150.000 V • Eguzon, Chaingy, Chevilly, a été portée à 220.000 V à la suite de la mise en service de l'Usine de Coindré du Massif Central.



(Alsthom)

Fig. 279 — Poste de Chaingy — Interrupteurs à huile à 150 000 V.

décclés en avant à 7 000 V ou 10 000 kVA dé-  
cclés en arrière à 6 400 V.

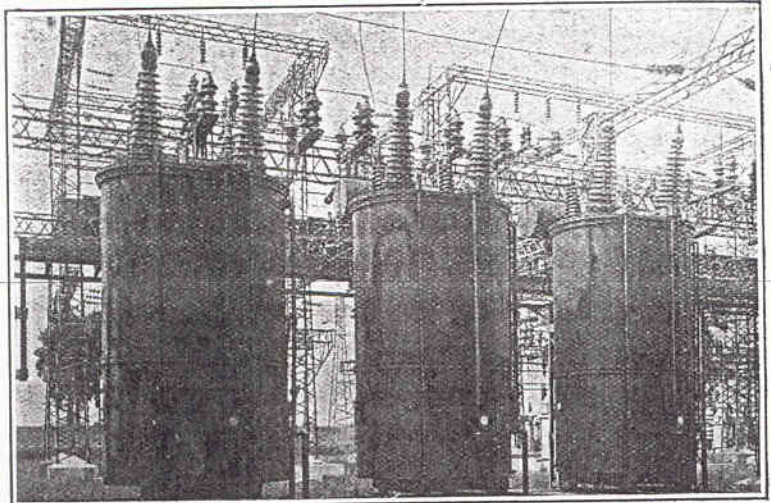
Le démarrage en asynchrone de ces ma-  
chines est effectué en alimentant le stator  
à l'aide d'un auto-transformateur spécial.

Le tableau de contrôle  
comporte :

- 2 panneaux pour les 2 arri-  
vées 150 000 V ;
- 2 panneaux pour les départs  
90 000 V ;
- 1 panneau de couplage à  
90 000 V ;
- 1 panneau pour les 2 trans-  
formateurs 150 000/  
90 000/6 600 V ;
- 2 panneaux pour les 2 com-  
pensateurs synchrones ;
- 1 panneau de couplage à  
6 600 V et pour les 2  
auto-transformateurs de  
démarrage ;
- 1 panneau pour le régulateur  
de tension système  
« Tirrill » ;
- 1 panneau pour la haute  
tension des transfor-  
mateurs auxiliaires ;
- 1 panneau pour la basse  
tension des transfor-  
mateurs auxiliaires ;
- 1 panneau pour la batterie d'accumulateurs ;
- 1 panneau de départ basse tension et d'éclairage ;
- 1 panneau de contrôle pour le poste de pom-  
page.

Un château d'eau en béton de 140 m<sup>3</sup>,  
placé derrière le bâtiment, sert à emmagasiner

l'eau nécessaire au refroidissement des trans-  
formateurs ; le bassin de réfrigération à une  
capacité de 750 m<sup>3</sup>. Une station de pompage  
comprenant 2 groupes motopompe établit  
la circulation de l'eau entre les transforma-



(Alsthom)

Fig. 280 — Poste de Chaingy — Groupe de transformateurs de 20 000 kVA  
150 000, 90 000, 6 600 V.

teurs, le bassin de réfrigération et le château  
d'eau.

Les figures 279 et 280 représentent les inter-  
rupteurs à huile et les transformateurs de  
20 000 kVA du poste ; la figure 281 montre la  
disposition du tableau de contrôle.

**Sous-stations de traction.** — Ces sous-stations transforment le courant alternatif triphasé 90 000 V qu'elles reçoivent, en courant continu 1 500 V.

Elles sont du type extérieur, sauf pour les sous-stations *Quai de la Gare* et *La Plaine*, alimentées sous une tension 13 500 V par câbles souterrains,

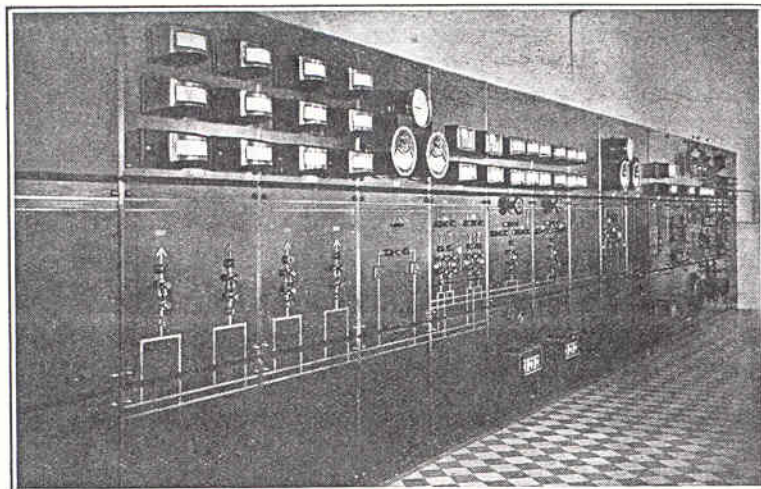
qui sont du type intérieur. Chaque sous-station possède en outre un bâtiment comprenant les groupes rotatifs convertisseurs, l'appareillage basse tension pour courants continu et alternatif et les tableaux de distribution et de contrôle.

Les caractéristiques de chacune des sous-stations sont données par le tableau suivant :

Sous-stations		Distance en km de la gare de Paris-Austerlitz km	Groupes transformateur-commutatrice kW	Puissance installée			Nombre de départs en continu 1 500 V	Nombre d'arrivées ou départs courant triphasé H. T.				
				Transformateurs				90 000 V	33 000 V	15 000 V	13 200 V	5 500 V
Nom	Localité			13 200 V 5 500 kVA	90 000 V 15 000 kVA	90 000 V 33 000 kVA		90 000 V	33 000 V	15 000 V	13 200 V	5 500 V
Quai de la Gare	Paris .....	0.800	6 000	4 500			17				3	8
La Plaine	Ablon .....	13.500	6 000	1.200			12				3	4
Les Saugées	St-Michel-sur-Orge .....	28.967	6 000		1 500		12	2		4		
Bellevue	Etréchy .....	47.419	6 000				12	6				
St-Evroult	St-Chéron .....	47.350	4 000				6	2				
Thionville	Mounerville .....	69.440	4 000				6	2				
Tivernon	Château-Gaillard .....	92.100	4 000				6	2				
Saran	Les Aubrais .....	114.790	6 000			13.500	12	2	2			
Les Relais	La Ferté St-Aubin .....	138.800	4 000				6	2				
Cordy	Nouau-le-Fuzelier .....	164.900	4 000				6	2				
Le Bourg	Theillay .....	190.750	4 000				6	4				

Chaque sous-station comporte 2 ou 3 groupes convertisseurs constitués chacun par 1 disjoncteur à huile, 1 transformateur de 2100 kVA,

Des sectionneurs tripolaires, à commande mécanique, permettent d'enclencher chaque ligne ou les 2 lignes en parallèle sur le poste. Sur l'arrivée, avant l'interrupteur à huile, sont branchés deux parafoudres à oxyde de plomb; des bobines de self, du type suspendu, placées auprès des parafoudres, protègent les machines contre les décharges atmosphériques.



(Alsthom)

Fig. 281 — Poste de Chaingy — Tableau de contrôle.

2 commutatrices de 1 000 kW et 2 disjoncteurs à courant continu 1 500 V.

Les postes extérieurs sont disposés de deux façons différentes, suivant qu'ils sont alimentés en dérivation ou forment sectionnement automatique. Ces derniers postes présentent les mêmes dispositions générales que les postes de Chevilly et de Chaingy.

Les sous-stations alimentées en dérivation comportent une charpente métallique supportant les isolateurs de passage des lignes à 90 000 V.

Les 2 disjoncteurs d'arrivée alimentent un jeu de barres omnibus à 90 000 V qui peuvent être fractionnées tous les 9 m par des sectionneurs tripolaires à commande mécanique.

De ces barres, le courant à haute tension est envoyé vers les transformateurs par l'intermédiaire d'interrupteurs à huile.

Les deux interrupteurs à huile d'arrivée possèdent, montés autour des traversées, 3 transformateurs d'intensité alimentant les relais de protection.

Les transformateurs ont une puissance en service continu de 2100 kVA et peuvent supporter une surcharge de 50 % pendant 2 heures et 200 % pendant 5 minutes; ils sont à refroidissement naturel; les rapports de transformation sont 90 200/555/555 V et 13 200/555/555 V; ils sont couplés en étoile, avec neutre isolé du côté haute tension. Les bobinages basse tension sont au nombre de 2, un par commutatrice; ils ont leur 6 extrémités sorties; les points milieux des enroulements sont également sortis pour alimenter, sous demi-tension, les

commutatrices au moment du démarrage; 5 prises sur les enroulements haute tension permettent de faire varier le rapport de transformation de 2,5 en 2,5 %.

Les commutatrices, au nombre de 2 par groupe, sont du type hexaphasé à 10 pôles et fournissent du courant continu 750 volts; ces commutatrices sont connectées en série du côté continu; elles peuvent supporter 50 % de surcharge pendant 2 heures et 200 % pendant 5 minutes; leur excitation est du type compound.

Chaque groupe transformateur-commutatrice est protégé du côté alternatif par un relais tripolaire à maximum d'intensité commandant l'ouverture de l'interrupteur haute-tension du transformateur et du côté continu par 2 disjoncteurs « ultra-rapides » placés, l'un sur le conducteur positif, l'autre sur le négatif.

Le contact mobile du disjoncteur est maintenu fermé par un électro-aimant; une spire parcourue par une partie du courant de ligne produit un effet démagnétisant pour un certain sens et une certaine valeur de courant; l'action de

secours du poste et pour la commande et le contrôle à distance des disjoncteurs des postes de sectionnement, de mise en parallèle et d'alimentation des voies secondaires;

1 compresseur d'air pour le nettoyage par soufflage des machines;

1 groupe convertisseur pour la recharge des batteries d'accumulateurs et l'alimentation des départs basse tension.

Les appareils de contrôle des disjoncteurs des départs 1 500 V, les appareils de mesure, les différents interrupteurs et coupe-circuits des services auxiliaires, ceux des groupes convertisseurs sont groupés sur un tableau général situé dans la salle des machines.

Les figures 282 et 283 représentent une vue en élévation et une vue en plan de la sous-station « Les Saugées ».

#### Dispositifs de protection du réseau. —

Le réseau devant alimenter en courant continu une ligne de Chemin de fer à trafic intense et servir de liaison entre les centrales thermiques de l'Union d'Electricité et la Centrale Hydraulique

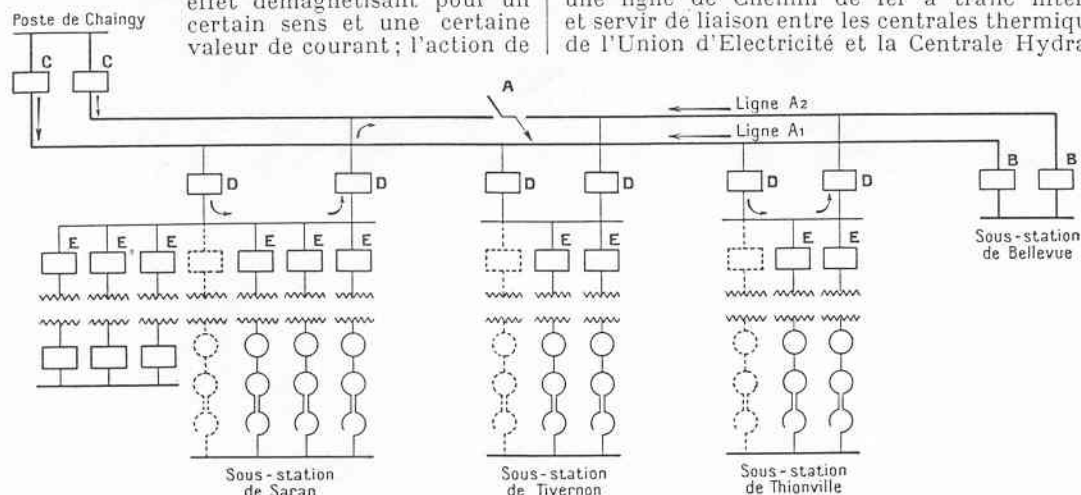


Fig. 284 — Protection des lignes à 90 000 V entre le poste de Chaingy et la sous-station de Bellevue

l'électro-aimant devenant inférieure à celle des ressorts antagonistes, ceux-ci font déclencher le disjoncteur.

Le disjoncteur positif fonctionne à retour de courant et le disjoncteur négatif fonctionne à maximum d'intensité; aux bornes du disjoncteur négatif est connectée une résistance de 0,774 ohm de telle façon que, lorsque le disjoncteur négatif s'ouvre par suite d'un court-circuit, la résistance se trouve insérée dans la ligne, limitant la charge du groupe à 1 fois 1/2 environ la charge normale. En cas de manque de tension, les 2 disjoncteurs s'ouvrent. Les groupes de commutatrices alimentent une barre générale négative reliée directement aux rails de roulement et au circuit de terre de la sous-station et une barre générale positive reliée, par l'intermédiaire de disjoncteurs de départ, à la ligne caténaire. Chaque voie est divisée en 3 tronçons alimentés séparément par un départ.

Chaque sous-station possède en outre, pour ses services auxiliaires :

2 transformateurs de 45 kVA (sauf pour la sous-station Quai de la Gare qui a des transformateurs de 200 kVA) donnant une tension de 215 V au secondaire avec neutre sorti;

1 ou 2 batteries d'accumulateurs au plomb pour le contrôle des interrupteurs à huile, des disjoncteurs à courant continu, l'éclairage de

liquide d'Eguzon, la protection du réseau a été étudiée de telle sorte qu'un accident survenant en un point quelconque de la ligne haute tension n'interrompe pas le fonctionnement des installations.

A cet effet on a utilisé, en général, un système de protection différentielle, plutôt que la protection à maximum d'intensité.

La figure 284 montre le dispositif de protection réalisé entre le poste de Chaingy et la sous-station de Bellevue.

En cas de mise à la terre en A de la ligne A<sub>2</sub>, le courant suit l'itinéraire indiqué par les flèches et passe à retour de courant dans les interrupteurs à huile D reliés à la ligne A<sub>2</sub>, des sous-stations intermédiaires de Saran et de Thionville; il provoque le fonctionnement d'un relais à maximum d'intensité faiblement temporisé.

Ce relais est composé d'un équipage, mobile autour d'un axe vertical, qui peut tourner dans un sens ou dans l'autre sous l'action d'enroulements alimentés, d'une part par la tension du secondaire des transformateurs de potentiel, d'autre part par les transformateurs d'intensité placés dans les interrupteurs à huile d'arrivée et connectés en opposition.

Normalement, le courant passant dans les enroulements série est nul; dans l'exemple choisi ci-dessus, nous avons vu que si la ligne A<sub>2</sub>

se met à la terre en A, le courant s'inverse dans le transformateur d'intensité de l'interrupteur à huile D, branché sur cette ligne et les flux s'ajoutant font pivoter le cadre dans un certain sens; ce cadre, par sa rotation, établit un contact qui provoque le déclenchement de l'interrupteur branché sur la ligne avariée; celle-ci s'élimine donc automatiquement sans qu'il y ait d'interruption totale sur le réseau.

**Equipement à 220 000 V de l'artère 150 000 V.** — La réalisation de la ligne de transport à 150 000 V pour l'électrification du réseau du P. O. visait, un but beaucoup plus étendu que celui de la traction électrique, à savoir celui du transport de l'énergie électrique d'une des régions les plus riches en énergie hydraulique, le Massif Central, jusqu'au centre de consommation le plus important de la France: la région parisienne.

Nous avons vu que l'on avait construit primitivement:

1° une ligne à 150 000 V venant d'Eguzon et passant par Chaingy et Chevilly, cette ligne étant reliée au réseau à 60 000 V de l'Union d'Electricité au poste de Chevilly;

2° deux lignes à 90 000 V entre Eguzon et Chevilly dont le rôle principal est d'alimenter les sous-stations de traction du réseau du P. O.

Lors de la mise en service de l'usine de Coindre dans le Massif Central, et pour faciliter l'amenée à Paris d'une plus grande quantité d'énergie, il fut décidé de porter la tension de 150 000 à 220 000 V, ce qui nécessitait la transformation de la ligne et des postes d'Eguzon, Chaingy et Chevilly.

En même temps on construisit à Marèges un poste de centralisation de l'énergie du Massif Central; c'est à ce poste que l'on raccorda les usines de Coindre, de la Truyère et de la Mativie; le poste de Marèges est relié à Eguzon par une ligne à 220 000 V. Pour augmenter encore la quantité d'énergie susceptible d'être transmise à Paris, il a été prévu la construction ultérieure d'une seconde artère à 220 000 V entre Marèges et Chevilly qui sera mise en parallèle sur la première.

Depuis ces transformations, le poste de Chevilly sert, non seulement à la liaison de l'artère 220 000 V avec le réseau à 60 000 V de l'Union d'Electricité et les deux lignes à 90 000 V venant d'Eguzon, mais a encore pour rôle de régulariser la tension et le facteur de puissance. Le groupe de transformateurs 150 000 et 60 000 V de 25 000 kVA a été remplacé par deux groupes de trois transformateurs monophasés de 220 000/60 000/11 000 V; la puissance de chaque groupe a été portée à 60 000 kVA du côté 220 000 V, 75 000 kVA du côté 60 000 V et 45 000 kVA du côté 11 000 V. Les compensateurs synchrones qui sont alimentés par les enroulements 11 000 V sont d'une puissance de 45 000 kVA.

Au poste de Chaingy les transformateurs sont à 3 enroulements 220 000/90 000/6 600 V et le groupe de transformateur est d'une puissance de 40 000 kVA; à l'emplacement qui avait été réservé pour l'installation d'un troisième compensateur a été installé un compensateur synchrone de 20 000 kVA. Un des groupes de transformateurs 150 000/90 000/6 600 V a été conservé; ses enroulements 150 000 V ne sont plus utilisées, mais il peut être branché sur le 90 000 V et à l'un des deux groupes compensateur de 10 000 kVA primitifs; de

cette façon il est possible de régulariser indépendamment les réseaux à 90 000 V et 220 000 V; lorsque la liaison est supprimée au poste de Chaingy.

Enfin, au poste d'Eguzon le groupe de transformateurs 220 000/90 000/10 500 V se compose de trois transformateurs monophasés de 10 000 kVA chacun; un quatrième transformateur, non branché, a été prévu comme secours.

### 108. LA SOUS-STATION AUTOMATIQUE DE TRACTION DU HOURAT.

Cette sous-station, construite en 1928 par la Compagnie Electro-Mécanique, pour l'alimentation de la ligne Pau Laruns de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, comporte des commutatrices, transformant l'énergie reçue sous forme de courants alternatifs triphasés à la tension de 10 500 V et à la fréquence de 50 p/s en courant continu à la tension de 1 650 V à vide.

La sous-station a été installée dans l'usine génératrice du Hourat qui constitue, avec les usines de Miégebat et d'Artouste, le groupe des usines centrales de la Vallée d'Ossau.

La sous-station comprend:

— un poste intérieur à 10 000 V;

— deux groupes de traction constitués chacun par un transformateur abaisseur triphasé-hexaphasé et une commutatrice hexaphasée de 750 kW;

— un départ de feeder positif;

— un départ de feeder négatif;

— un appareillage de commande et de contrôle.

Les groupes de traction peuvent supporter une surcharge de 50 % pendant 2 heures et de 200 % pendant 5 minutes.

Les deux jeux de barres à 10 000 V sont connectés, soit directement aux alternateurs de 8 000 kVA de l'usine génératrice du Hourat, soit par l'intermédiaire de transformateurs 60 000/10 000 V aux autres usines génératrices du réseau.

L'interrupteur à haute tension protégeant chaque groupe transformateur-commutatrice est du type à contacts « Solénoïdes », système Brown Boveri, pouvant couper un courant d'une intensité de 20 000 A sous une tension de 10 000 V.

Les commutatrices possèdent chacune leur moteur de démarrage et leur excitatrice propres; un interrupteur à force centrifuge, monté en bout d'arbre de chaque commutatrice, protège celle-ci en cas d'emballlement.

On peut diviser les différentes manœuvres qui se succèdent lors du fonctionnement de la sous-station, en deux phases distinctes:

1° démarrage et synchronisation de la commutatrice;

2° contrôle automatique de l'isolement du feeder positif et fermeture de l'interrupteur de départ de ce feeder.

**Démarrage et synchronisation de la commutatrice.** — Le démarrage de la commutatrice s'effectue à l'aide d'un moteur auxiliaire. L'interrupteur principal à haute tension du groupe de traction étant fermé, le commutateur de démarrage 3 a (fig. 285) se ferme et met le stator du moteur de lancement sous tension, le contacteur tripolaire 4 a étant enclenché et le rotor étant fermé sur une résistance fixe de valeur appropriée.

Dès que la vitesse de synchronisme, au glissement près du moteur, est atteinte, le contacteur 6 a se ferme à son tour, connectant la



commutatrice aux bornes du transformateur, par l'intermédiaire des bobines d'inductance 6; la machine se synchronise automatiquement, son courant d'excitation étant réglé à 20 %

La résistance comporte 3 prises représentant respectivement les 25 %, 50 % et 75 % de la valeur de la résistance totale. Le diagramme (fig. 287) montre les possibilités de réenclenchements de l'interrupteur de départ du feeder, en fonction de la prise sur laquelle est branché le relais.

Si l'isolement de la ligne est suffisant, le relais 4 commande la fermeture de l'interrupteur de départ du feeder positif 1.

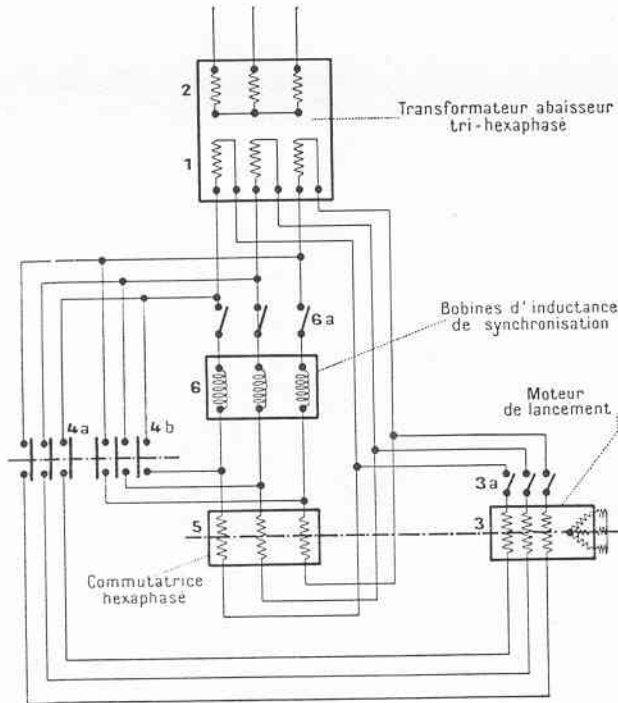


Fig. 285 — Schéma de principe de démarrage et de synchronisation d'une commutatrice.

du courant normal; le contacteur tripolaire 4a s'ouvre, coupant l'alimentation du moteur de démarrage et le contacteur tripolaire 4b se ferme, branchant directement la commutatrice aux bornes du transformateur; en même temps, le contacteur 4b court-circuite la résistance additionnelle de l'enroulement d'excitation de l'excitatrice et le courant d'excitation de l'alternateur atteint ainsi sa valeur normale.

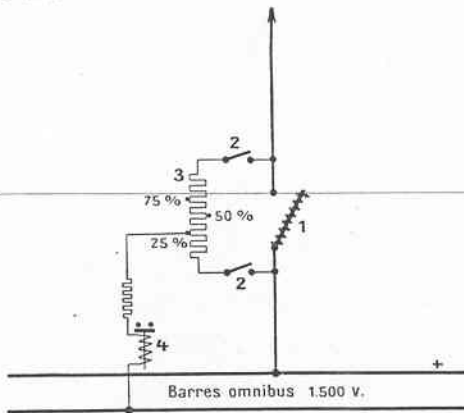


Fig. 286

**Contrôle automatique de l'isolement du feeder positif.** — Aux bornes de l'interrupteur 1 (fig. 286), se trouve connectée une résistance métallique 3 par l'intermédiaire de deux contacts 2; entre la résistance 3 et le feeder négatif est branché un relais à maximum de tension 4.

**Commande automatique.** — L'enclenchement des divers interrupteurs et le contrôle de l'isolement du feeder sont obtenus automatiquement par l'appareillage de commande automatique qui effectue les diverses manœuvres dans l'ordre voulu. L'appareillage de commande automatique (fig. 288) de la sous-station comprend:

- une horloge à contacts 16 commandant la mise en marche et l'arrêt de la sous-station à heures fixes, déterminées à l'avance;
- un dispositif d'alarme 41;
- un pupitre par groupe de traction contenant:
  - un sélecteur 20 à 8 positions;
  - un relais de blocage 22 combiné en limiteur de réenclenchement;
  - un contacteur thermique 21;
  - des relais à action différée 23 à 26 pour la commande des interrupteurs;
  - un relais à maximum de tension courant continu 28;
  - un relais à minimum de tension courant alternatif 27;
  - deux lampes de signalisation 19;
  - deux voltmètres 17 et 18;
- un panneau marbre pour le départ du feeder positif comportant:
  - un relais de blocage 38a combiné en limiteur de réenclenchement;

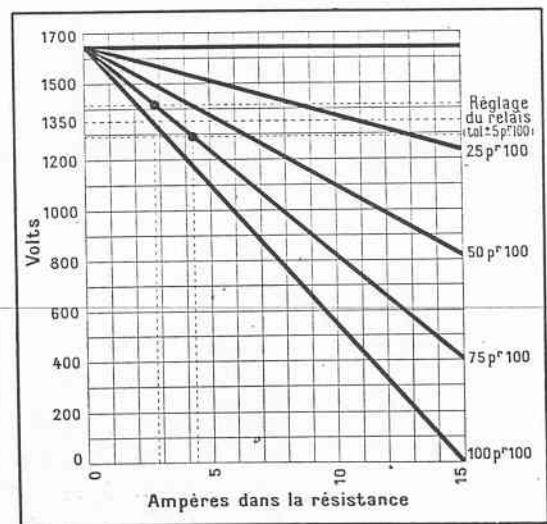
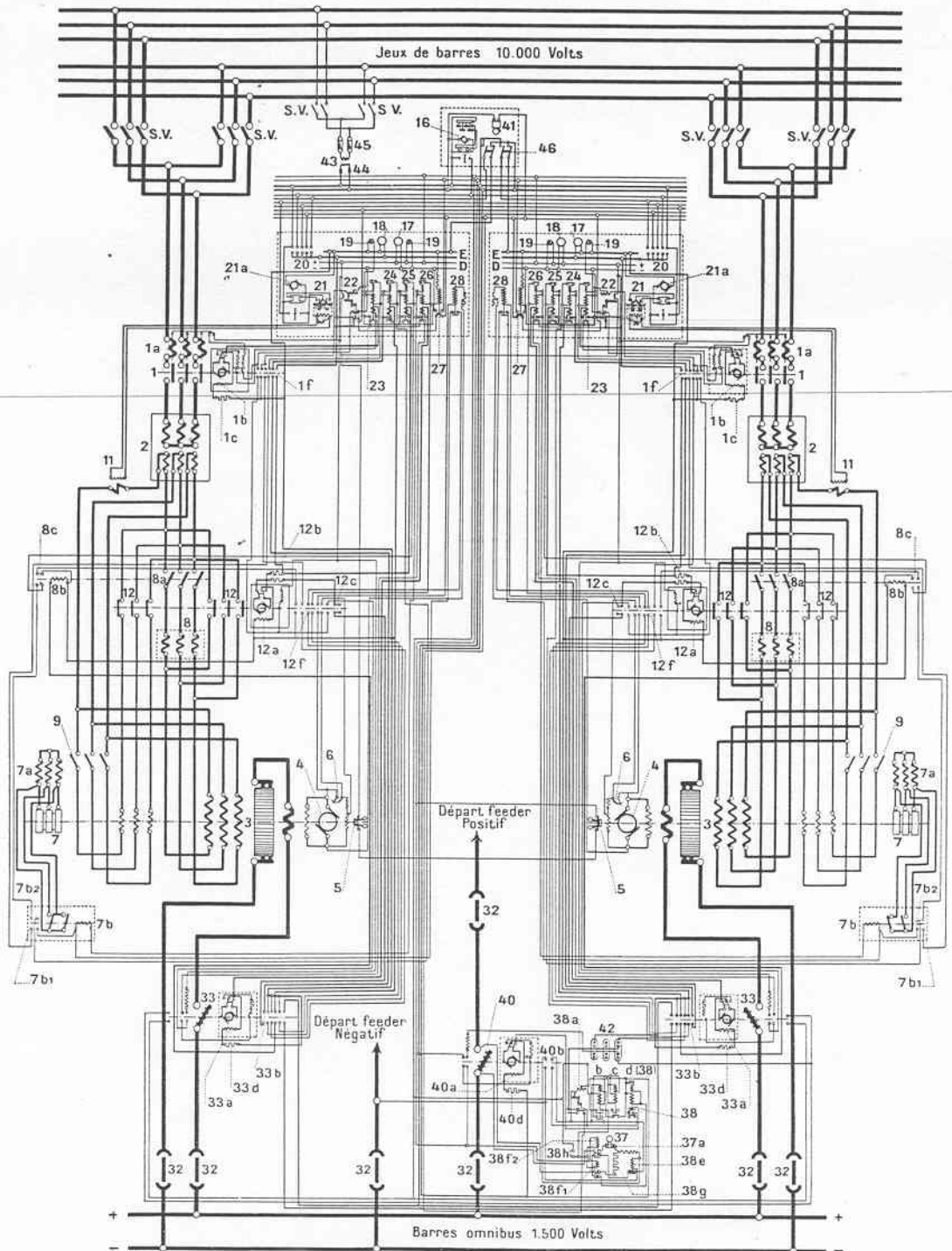


Fig. 287

des relais à action différée 38b, c et d pour le dispositif de contrôle de terre et l'enclenchement de l'interrupteur.

La mise en marche de l'un ou des deux groupes est commandée, soit par l'horloge à contacts 16, soit à l'aide des commutateurs 46 et des sélec-



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 288 — Sous-station du Hourat (Schéma général)

1. Interrupteur automatique dans l'huile. - 1 a. Relais à déclenchement direct. - 1 b. Commande à distance par moteur. - 1 c. Résistance additionnelle. - 1 f. Contrôleur pour le verrouillage des appareils automatiques de commande. - 2. Transformateur abaisseur tri-hexaphasé. - 3. Commutatrice 750 kW, 1 500 V. - 4. Excitatrice. - 5. Interrupteur à force centrifuge à contacts d'ouverture. - 6. Rhéostat de champ de l'excitatrice 4. - 7. Moteur de lancement. - 7 a. Résistance. - 7 b. Contacteur bipolaire de mise en court-circuit du rotor. - 8. Bobine d'inductance de synchronisation. - 8 a. Contacteur tripolaire. - 8 b. Bobine du contacteur 8 a. - 8 c. Contacts auxiliaires du contacteur 8 a. - 9. Sectionneur tripolaire pour le moteur de lancement rep. 7. - 11. Transformateur de courant pour l'alimentation du contacteur thermique rep. 21. - 12. Commutateur tripolaire dans l'huile pour le démarrage et la marche normale de la commutatrice 3. - 12 a. Commande électrique à distance pour rotation dans les deux sens par moteur. - 12 b. Résistances additionnelles pour les deux sens de rotation de la commande par moteur. - 12 c. Contrôleur à commande par pignon denté pour le verrouillage des appareils automatiques. - 12 f. Commutateur rotatif. - 16. Horloge à contacts pour la mise automatique en ou hors service du groupe de traction. - 17. Voltmètre électromagnétique pour courant continu. - 18. Voltmètre électromagnétique pour courant alternatif. - 19. Lampes de signalisation pour courant continu 120 V et courant alternatif 220 V. - 20. Sélecteur à 8 positions pour la commande du



teurs 20 directement du pupitre de commande et du tableau de contrôle de l'usine génératrice.

Les sélecteurs 20 permettent les combinaisons suivantes :

— Commande à main depuis le pupitre des commutatrices;

— Commande automatique par l'horloge à contacts;

— Commande automatique de la 2<sup>e</sup> unité par le contacteur thermique de la machine en service, lorsque la température de cette dernière dépasse la valeur fixée;

— Commande automatique de la 2<sup>e</sup> unité par le relais de blocage de la machine en service, en cas de perturbation grave;

— Commande à distance, à la main, depuis le tableau de commande et de contrôle de l'usine.

Lorsque les groupes sont au repos, les contacts des 2 régulateurs à force centrifuge 5 sont fermés et les bobines à minimum de tension des relais de blocage 22 sont alimentées; ces relais de blocage peuvent alors être enclenchés à la main.

Le relais à minimum de tension 27 s'excite et met sous tension les barres « déclenché » D sur lesquelles est branchée la bobine à tension nulle de l'interrupteur 1.

Le relais 23 s'excite alors, à condition que l'interrupteur 1 et que les contacteurs 8a et 7b soient ouverts et que le commutateur de démarrage 12 soit en position zéro; le relais 23 ferme ses contacts au bout de 10 secondes et coupe l'alimentation de sa bobine shunt; le relais est alors maintenu par l'enroulement série traversé par le courant de la commande de l'interrupteur 1 qui se ferme.

Lorsque l'interrupteur 1 est enclenché, le commutateur de fin de course de cet appareil coupe le circuit d'enclenchement et le relais 23 revient à sa position initiale.

Le contrôleur 1f ferme ses contacts; la commande du commutateur 12, se trouvant alimentée, met celui-ci en position de démarrage. Le moteur de lancement 7 démarre et amène la commutatrice au voisinage de la vitesse de synchronisme.

Dès que la vitesse maximum est atteinte, le relais 28 ferme son contact et enclenche le contacteur 7b mettant le rotor du moteur de lancement en court-circuit; par la fermeture du contact 7b<sub>2</sub>, le contacteur 7b ferme le circuit du relais 24, si les appareils 12 et 33 sont en position convenable; le relais 24 s'excite et ferme ses contacts au bout de 20 secondes; il enclenche le contacteur 8a et reste enclenché par l'action de sa bobine de maintien série.

La commutatrice est alors alimentée sous la tension normale avec les inductances 8 en série; la commutatrice se synchronise et le relais 25

s'excite et ferme ses contacts au bout de 10 secondes; le commutateur 12 est amené de la position « démarrage » à la position « travail »; la commutatrice est alors alimentée sous la tension normale, sans l'interposition des inductances; la bobine 25 est ramenée à sa position initiale, son excitation étant coupée par l'interrupteur fin de course de la commande 12a; le relais à maximum de tension 28 retombe, son circuit d'excitation étant coupé par le contrôleur 12c; le courant d'excitation de la commutatrice est porté à sa valeur normale par le commutateur 12 qui court-circuite la résistance additionnelle qui était branchée sur l'enroulement d'excitation; en outre, le commutateur 12 et le contrôleur 12c ferment le circuit de commande du relais 26 par l'intermédiaire du contrôleur 33b; le relais 26 qui est temporisé s'enclenche au bout de quelques secondes et commande la fermeture de l'interrupteur extra-rapide 33 à l'aide du moteur de manœuvre 33a.

La fermeture de l'interrupteur continu entraîne l'ouverture du contacteur 8a de la bobine de synchronisation et, à l'aide du combinateur 33b, le rappel à zéro du relais 24.

En dehors de ces verrouillages, un système d'enclenchement a été réalisé par les bobines à maximum de tension des commandes à distance, dont le circuit de l'une quelconque de celles-ci ne peut être fermé, que si l'interrupteur précédent est enclenché.

La fermeture de l'interrupteur de départ du feeder positif peut être commandée de 3 façons différentes, correspondant aux positions du sélecteur 42. Ce dernier permet :

1<sup>o</sup> la commande de l'interrupteur de départ, indépendamment de la fermeture des interrupteurs principaux des commutatrices;

2<sup>o</sup> la commande de l'interrupteur de départ après la fermeture de l'un quelconque des interrupteurs extra-rapides des groupes, après contrôle de l'isolement du feeder;

3<sup>o</sup> la mise à l'arrêt du départ de feeder.

Le sélecteur 42 étant en position de commande automatique, la fermeture de l'un des interrupteurs principaux 33 met le sélecteur 42 sous tension par les contacts 33b; le circuit du relais 38b est alors alimenté; celui-ci ne s'enclenche qu'au bout de 30 secondes et ferme les circuits de commande des contacteurs 38f<sub>1</sub> et 38f<sub>2</sub> et du relais 38c, qui ne s'enclenche qu'au bout de 5 secondes. Les relais 38f<sub>1</sub> et 38f<sub>2</sub> ont branché la résistance 38g aux bornes de l'interrupteur 40; si l'isolement du feeder positif est suffisant, le relais 38e se ferme et provoque la fermeture du relais 38d, le circuit d'excitation de ce relais passant en outre par un contact de chacun des relais 38f<sub>1</sub> et 38f<sub>2</sub>; le circuit de la commande

groupe de traction. — 21. Contacteur thermique pour la mise en service du deuxième groupe de traction, en fonction de l'échauffement du premier groupe. — 21 a. Appareil auxiliaire pour le contacteur thermique 21. — 22. Appareil limiteur de réenclenchement et de blocage. — 23. Relais à action différée pour la commande de l'interrupteur automatique principal. — 24. Relais à action différée pour l'enclenchement du contacteur bipolaire 8 a. — 25. Relais à action différée pour l'enclenchement du commutateur 12 dans la position normale. — 26. Relais à action différée pour l'enclenchement de l'interrupteur automatique à courant continu 33. — 27. Relais à minimum de tension à courant alternatif à fonctionnement indépendant de la fréquence. — 28. Relais à maximum de tension à courant continu. — 32. Sectionneur unipolaire. — 33. Interrupteur extra-rapide 1 500 V. — 33 a. Commande à distance par moteur monophasé à collecteur à 220 V. — 33 b. Contrôleur à commande par pignon denté pour le verrouillage des appareils automatiques. — 33 d. Résistance additionnelle pour la commande à distance 33 a. — 37. Ampèremètre à cadre mobile pour le contrôle auxiliaire de terre. — 37 a. Shunt pour l'ampèremètre 37. — 38. Dispositif automatique de contrôle de terre. — 38 a. Relais limiteur de réenclenchement et de blocage. — 38 b c d. Relais à action différée. — 38 e. Relais à maximum de tension. — 38 f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>. Contacteurs bipolaires à commande par courant continu. — 38 g. Résistance métallique de contrôle de terre. — 38 h. Bouton-poussoir pour le contrôle auxiliaire de terre. — 40. Interrupteur extra-rapide 1 500 V pour le départ feeder positif. — 40 a. Commande électrique par moteur monophasé à collecteur 220 V. — 40 b. Contrôleur à commande par pignon denté pour le verrouillage des appareils automatiques. — 40 d. Résistance additionnelle. — 41. Sonnerie d'alarme avec transformateur actionné par les relais de blocage. — 42. Sélecteur à 3 positions pour la commande de l'interrupteur du départ feeder. — 43. Transformateur auxiliaire pour l'alimentation de l'appareillage automatique. — 44, 45. Fusibles pour la protection du transformateur 43. — 46. Commutateur inverseur bipolaire pour l'enclenchement et le déclenchement à la main du groupe de traction. — E. Jeux de barres « enclenché » courant alternatif, 220 V. — D. Jeux de barres « déclenché » courant continu 115-120 V. — SV. Sectionneurs avec blocage des machines.

d'enclenchement 40a est alors alimenté et l'interrupteur extra-rapide 40 se ferme, mettant le feeder positif sous tension; les relais 38b et 38d reviennent alors à leur position initiale.

Si pour une cause quelconque, l'interrupteur 40 ne s'est pas fermé au bout de 5 secondes, le relais 38c retombe et coupe le circuit de la

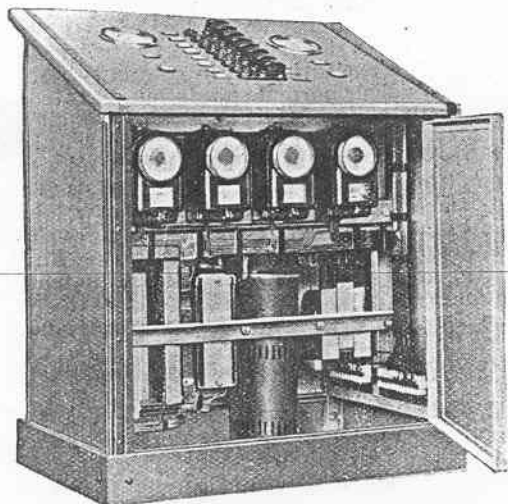


Fig. 289 — Pupitre renfermant les appareils de commande automatique.

bobine de maintien du relais 38b, qui, en retombant, coupe l'excitation du relais 38c; au bout de 30 secondes, le relais 38b fonctionne à nouveau; ces diverses manœuvres se reproduiront ainsi, jusqu'à ce que le relais 38a agisse pour pro-



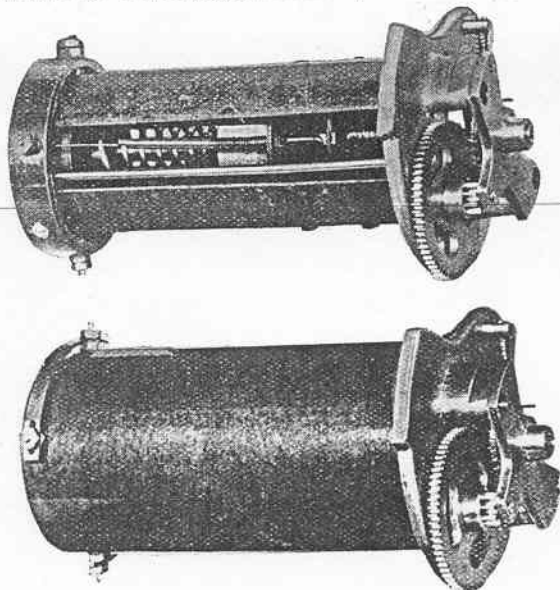
(Cie Electro-Mécanique)  
Fig. 290 — Horloge à contacts.

téger la résistance de contrôle contre un échauffement dangereux. Le relais 38a est réglé de façon à permettre 10 à 12 enclenchements successifs.

La mise à l'arrêt d'un groupe de traction est commandée soit par l'horloge 16, soit du pupitre (fig. 289) ou du tableau général de commande

par les commutateurs 46 et les sélecteurs 20; soit enfin par les appareils de sécurité en cas d'incident grave.

**Description des appareils principaux. — Horloge à contacts.** — L'horloge à contacts (fig. 290) a été prévue pour permettre trois enclenchements et 3 déclenchements par 24 heures. Elle se compose d'un cylindre porte-contacts renfermant intérieurement un servo-moteur destiné au remontage automatique de l'horloge;



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 291 — Servo-moteur pour horloge à contact et relais à action différée.

ce servo-moteur se compose d'un stator constitué par un aimant permanent à 4 pôles et d'un rotor comprenant un arbre en acier doux supportant 4 ailettes en fer doux soumises à l'action d'un champ magnétique créé par une bobine inductrice fixe parcourue par du courant alternatif. Le moteur est animé d'un mouvement alternatif au synchronisme avec la fréquence du courant inducteur; ces oscillations sont transformées, à l'aide d'un cliquet, en mouvement de rotation circulaire continu, transmis, par l'intermédiaire d'un train d'engrenage, au mouvement d'horlogerie.

La figure 291 représente le servo-moteur de l'horloge à contacts et la figure 292 la disposition des bagues de réglage d'une horloge ne comportant que 2 enclenchements et 2 déclenchements par 24 heures.

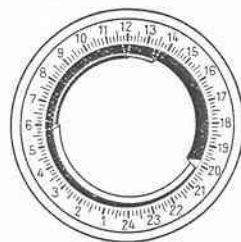


Fig. 292

**Relais à action différée.**

— Le relais à action différée (fig. 293 et 294) comporte un tambour porte-contacts 1 à l'intérieur duquel est monté un moteur 2 semblable à celui de l'horloge à contacts.

Les oscillations du moteur sont transformées en mouvement circulaire continu transmis à une roue dentée 8, par l'intermédiaire des engrenages 3, 4, 5, 6 et 7; la roue dentée 6 comporte 2 dentures, l'une intérieure engrenant avec la roue

5, l'autre extérieure engrenant avec la roue 7. Le roue 8 porte un plateau d'embrayage 9 pouvant entrer en prise avec le plateau 10, lorsque l'électro-aimant 12 est excité; dans ce cas, le moteur 2 entraîne la rotation de l'arbre 13 et de l'axe 16, dans le sens des aiguilles d'une montre, par l'intermédiaire de l'engrenage conique 14; l'axe 16 entraîne un bras 17, faisant déplacer l'ergot 18 dans la rainure spirale 19 du plateau fixe 20, jusqu'à ce que l'ergot 18 rencontre la butée 21 destinée au réglage du retard du relais.

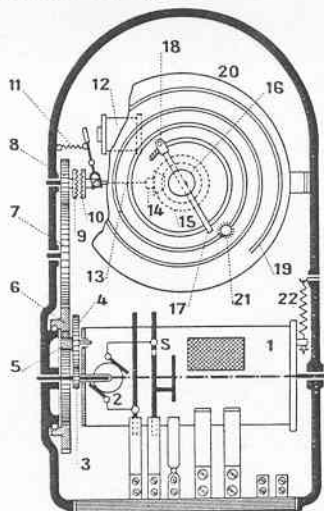


Fig. 293

Lorsque l'action du moteur 2 est annulée par la desexcitation de l'électro-aimant 12, un ressort de rappel ramène l'ergot 18 à son point de départ.

La figure 295 représente le schéma d'un tel relais; le courant de commande est lancé, soit à la main par la fermeture de l'interrupteur C, soit par un relais quelconque (relais à maximum, interrupteur à force centrifuge etc.) sur les bornes 1 et 2 alimentant le moteur et 3 et 4 alimentant l'électro-aimant; le moteur fonctionne et entraîne les engrenages 3, 4, 5, 6, 7 et 8 et, par suite de l'excitation de l'électro-aimant 12 (fig. 293), l'ergot 18 se déplace jusqu'à la butée 21; le tambour 1 n'est pas encore entraîné, le ressort 22 étant suffisamment puis-

sant; lorsque l'ergot entre en contact avec la butée 21, le train d'engrenages 6, 7 et 8 est immobilisé et le moteur, continuant son mouvement, entraîne le tambour 1 par le pignon 5 qui tourne à l'intérieur de la couronne dentée 6 rendue fixe. Le moteur reste alimenté jusqu'à ce que le contact soit établi entre les bornes 5 et 6; à ce moment, la lame de contact 2 tombe dans l'évidement S de la bague et le circuit du moteur est coupé.

Lorsque le courant est coupé sur l'électro-aimant 12, le ressort 11 débraye les plateaux 9 et 10; la réglette 17 et le

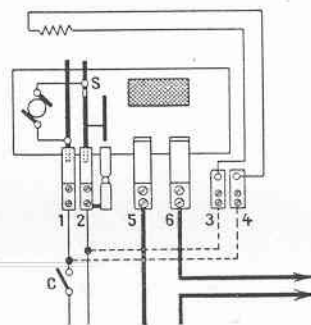


Fig. 295

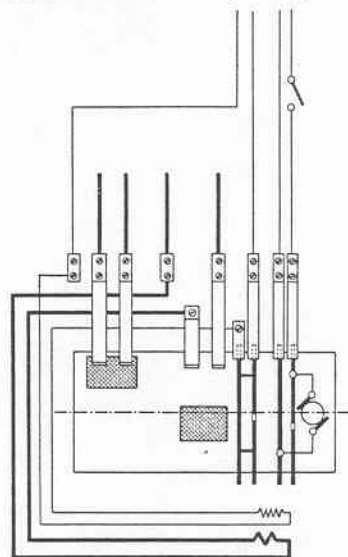


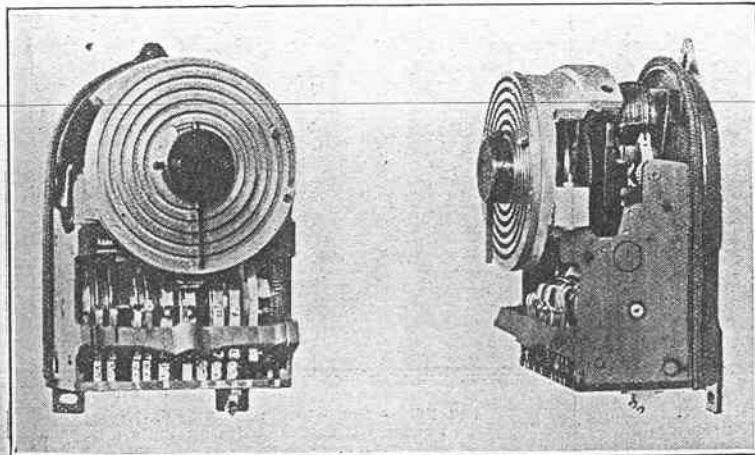
Fig. 296

tambour 1 reviennent à leur position initiale.

La figure 296 représente le schéma d'un relais à action différée comportant une bobine de maintien série.

**Contacteur thermique.** — Le contacteur thermique (fig. 297) est constitué par un cylindre en tôle renfermant intérieurement un réservoir à huile, une résistance chauffante, un dispositif de ventilation réglable et 2 contacteurs thermiques baignant dans l'huile, commandant, en fonction de la température, la mise en service ou l'arrêt de la seconde unité par l'intermédiaire d'appareils auxiliaires de couplage; ces appareils de couplage fonctionnent suivant le même principe que le relais à action différée décrit précédemment.

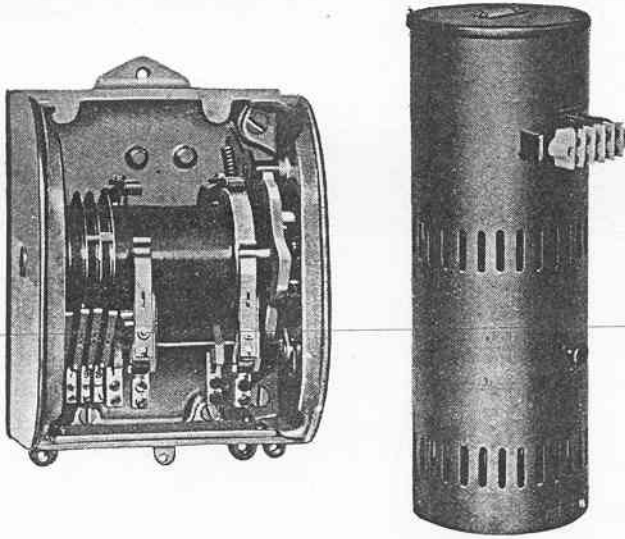
**Relais de blocage et limiteurs de réenclenchement.** — Les relais 22 et 38a sont constitués par un coffret de manœuvre à



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 294 — Relais à action différée.

déclencheurs thermiques composés de lames bi-métalliques qui, en s'incurvant par suite de l'élévation de température provoquée par le pas-



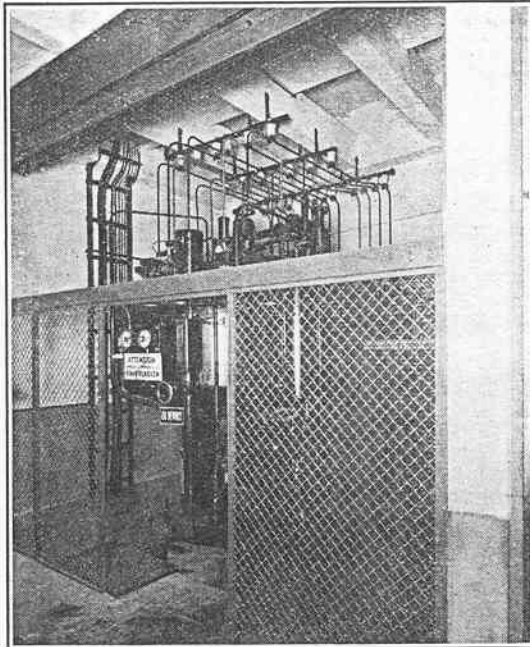
(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 297 — Contacteur thermique et appareil auxiliaire de couplage pour la protection contre un échauffement anormal.

sage du courant, produisent le déclenchement de l'appareil; une résistance, montée en série sur les lames, permet de régler l'intensité du courant les traversant.

**109. LA SOUS-STATION AUTOMATIQUE DE LA CROIX-NIVERT A PARIS.**

— Cette sous-station appartenant à la S.T.C.R.P., a été équipée et mise en service en 1930 par la



(Alsthom)

Fig. 298 — Sous-station de la Croix-Nivert. Vue du redresseur de 760 kW, 600 V en service

*Point-du-Jour*, située à environ 4 km de distance. Elle transforme le courant triphasé 13 500 V 50 p/s en courant continu 600 V pour les besoins des lignes de tramway de la S.T.C.R.P.

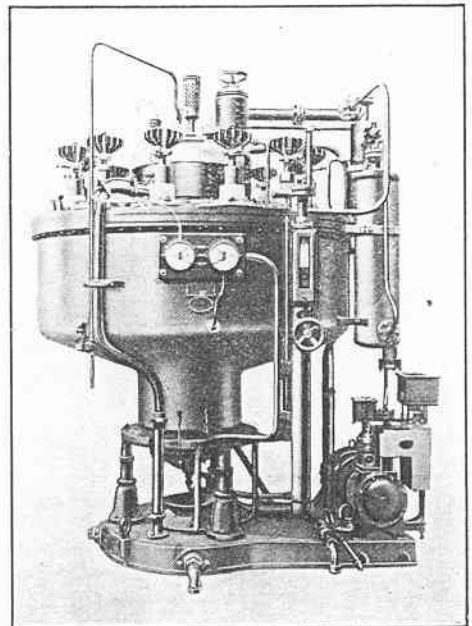
La sous-station comporte un groupe transformateur redresseur à vapeur de mercure de 750 kW; le redresseur comporte 12 anodes principales alimentées par un transformateur tri-hexaphasé; le circuit de chaque anode passe par des inductances de couplage ayant pour but de répartir également le courant entre les anodes d'une même phase. Les figures 298 et 299 montrent le redresseur et ses auxiliaires.

Deux thermomètres contrôlent, l'un la température de l'eau de réfrigération qui doit être comprise entre 30 et 60° C, l'autre la température de la cuve à sa partie inférieure qui doit être comprise entre 15 et 45° C. Lorsque ces températures limites sont atteintes, un contact donné par les thermomètres signale au poste de commande qu'il y a échauffement dangereux.

Lorsque le groupe ne fonctionne pas, la pompe de diffusion du redresseur qui est destinée à parfaire le vide produit par la pompe rotative, est alimentée et refroidie par l'eau de la ville. Dès que la commande de mise en service du redresseur a été donnée, les manœuvres s'effectuent dans

l'ordre ci-dessous:

- 1° Mise en marche de la pompe à vide.
- 2° Dès que le vide est suffisant, mise en marche de la pompe et du ventilateur de réfrigération; la pompe de diffusion est refroidie en cycle fermé.
- 3° Fermeture de l'interrupteur à huile mettant le transformateur et les anodes sous tension.
- 4° Actionnement de l'anode d'amorçage et amorçage des anodes d'entretien.



(Alsthom)

Fig. 299 — Sous-station de la Croix-Nivert. Vue du redresseur et des auxiliaires.

Société Alsthom. Elle est entièrement automatique et est commandée de la sous-station de

5° Enclenchement du disjoncteur ultra-rapide à retour de courant et du contacteur positif à

maximum mettant le redresseur en service sur le réseau.

L'installation est protégée contre :

- a) une baisse de tension sur l'alimentation alternative incompatible avec le bon fonctionnement du redresseur ;
- b) la coupure d'une phase du transformateur ;
- c) le manque d'eau de ville, lorsque le redresseur n'est pas en service ;

d) la coupure du circuit de chauffage pompe de diffusion ;

- e) une avarie de la pompe de diffusion ;
- f) une pression trop élevée dans le redresseur ;
- g) un mauvais fonctionnement de la réfrigération en cycle fermé lorsque le redresseur fonctionne ;
- h) une surcharge ou un court-circuit sur le circuit d'utilisation ;

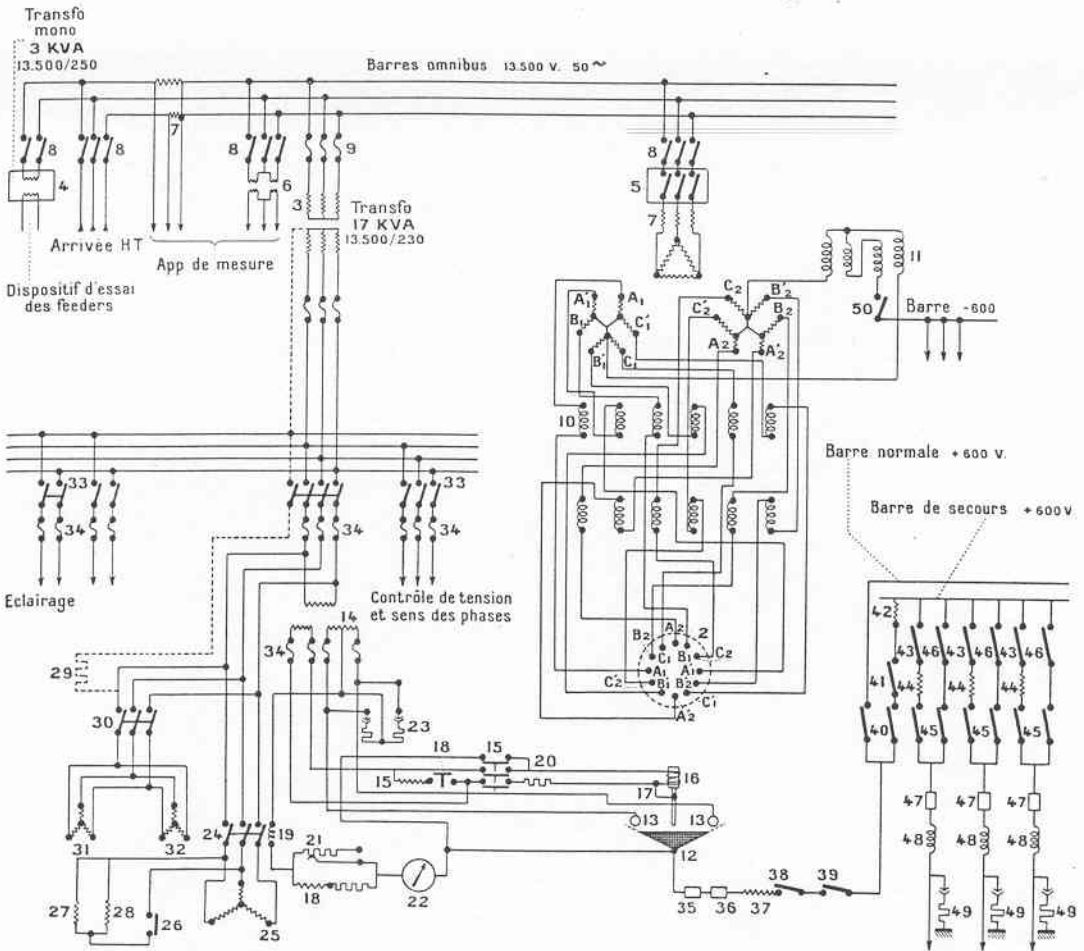


Fig. 300 — Sous-station de la Croix-Nivert — Schéma général.

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Transformateur 50 p/s, 1 100 kVA, 13 500V triangle 535 V (entre phase et neutre) double hexaphasé.</li> <li>2. Redresseur à 12 anodes 750 kW, 600 V continu.</li> <li>3. Transformateur triphasé 50 p/s, 17 kVA, 13 500 V / 230 V-127 V (circuits de contrôle).</li> <li>4. Transformateur mono 50 p/s, 3 kVA, 13 500 V / 250 V (dispositif S.T.C.R.P. d'essai des feeders avant réenclenchement).</li> <li>5. Interrupteur à huile tripolaire 15 000 V, 320 A à commande par servo-moteur et déclenchement à max. d'intensité par 2 relais directs.</li> <li>6. Transformateur de potentiel.</li> <li>7. Transformateur d'intensité.</li> <li>8. Sectionneurs.</li> <li>9. Coupe-circuit fusible à expulsion.</li> <li>10. Inductance de couplage d'anode</li> <li>11. Inductance double de cathode.</li> <li>12. Cathode.</li> <li>13. Anodes d'entretien.</li> <li>14. Transformateur d'allumage et d'entretien.</li> <li>15. Contacteur d'allumage.</li> <li>16. Solénoïde de commande de la tige d'allumage.</li> <li>17. Tige d'allumage.</li> <li>18. Relais d'entretien et de fin d'amorçage.</li> <li>19. Self inductance d'entretien.</li> <li>20. Résistance d'allumage.</li> <li>21. Résistance d'entretien.</li> <li>22. Ampèremètre du circuit d'entretien</li> <li>23. Parasurtention.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>24. Contacteur d'alimentation du moteur de la pompe à vide.</li> <li>25. Moteur d'entraînement de la pompe à vide.</li> <li>26. Contacteur centrifuge du moteur précédent.</li> <li>27. Solénoïde de commande du robinet de vide.</li> <li>28. Solénoïde de commande du clapet de refluxement des gaz.</li> <li>29. Résistance de chauffage de la pompe de diffusion.</li> <li>30. Contacteur d'alimentation des moteurs des groupes ci-dessous.</li> <li>31. Groupe moto-pompe } Réfrigération du</li> <li>32. Groupe moto-ventilateur } redresseur.</li> <li>33. Interrupteurs B. T.</li> <li>34. Coupe-circuit fusibles B. T</li> <li>35. Shunt 1250 A, 0,3 V.</li> <li>36. Shunt 1800 A, 0,1 V.</li> <li>37. Relais de surcharge général.</li> <li>38. Contacteur positif général.</li> <li>39. Sectionneur positif général.</li> <li>40. Sectionneur d'alimentation des barres générales.</li> <li>41. Contacteur d'alimentation de la barre générale de secours</li> <li>42. Relais de surcharge de la barre générale de secours.</li> <li>43. Contacteur normal de feeder.</li> <li>44. Relais de surcharge de feeder.</li> <li>45. Sectionneur de feeder.</li> <li>46. Contacteur de secours de feeder.</li> <li>47. Shunt de 1000 A, 0,1 V.</li> <li>48. Spires d'inductance.</li> <li>49. Parafoudres.</li> <li>50. Disjoncteur ultra-rapide négatif</li> </ul> |
|--|--|

- i) une avarie grave au transformateur de groupe;
- j) une température dangereuse de ce transformateur;
- k) un défaut d'amorçage et d'entretien de l'arc;
- l) un défaut de fonctionnement de l'appareillage;
- m) un défaut de pression dans le circuit de réfrigération par eau de ville;
- n) un manque d'eau à la pompe de diffusion;
- o) une température dangereuse de la cuve et de l'eau d'évacuation;
- p) des arcs en retour successifs ou autres incidents susceptibles de provoquer en un court intervalle 3 déclenchements du disjoncteur dans l'huile.

Le schéma (fig. 300) et la légende indiquent le principe du fonctionnement de l'installation.

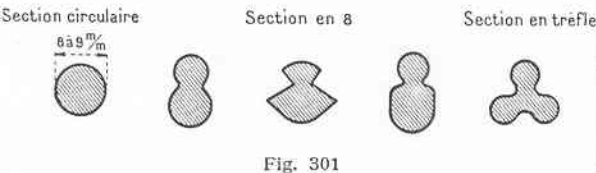
III

### Transmission de l'énergie électrique aux motrices

#### 110. LIGNES DE CONTACT. —

Pour transmettre l'énergie électrique aux motrices, celles-ci sont pourvues d'un dispositif spécial permettant de capter cette énergie, soit sur un conducteur aérien, soit sur un conducteur souterrain, soit même sur un rail isolé placé à côté des rails de roulement. Nous étudierons au paragraphe V les différents types d'appareils utilisés, placés sur les motrices, pour capter l'énergie transmise par la ligne de contact.

**A. — Lignes de contact aériennes.** — Le fil aérien est en cuivre dur, en bronze phosphoreux



ou siliceux d'un diamètre variant de 7 à 10 mm. La figure 301 donne les différentes formes de section des fils employés le plus couramment; la forme de ces fils facilite le montage et la fixation dans les supports. L'arrêté ministériel du 30 avril 1927 prescrit que la section du conducteur aérien ne doit pas être inférieure à 30 mm<sup>2</sup>, ce qui correspond à un diamètre compris entre 6 et 7 mm; en outre, les conducteurs doivent être situés à une hauteur au-dessus du sol supérieur à 6 m, sauf à la traversée des ouvrages d'art construits au-dessus des voies publiques, où cette hauteur peut être réduite.

**Raccord des fils de ligne.** — Les fils de ligne ne pouvant évidemment être fabriqués et posés en une seule longueur, on est obligé de raccorder bout à bout, les différents tronçons; les raccords doivent être constitués de telle sorte qu'ils n'offrent aucune solution de continuité au passage du dispositif de prise de courant des motrices; on emploie à cet effet :

1° des flûtes de jonction à soudure constituées par un tube en laiton étamé, percé de bout en bout et présentant une fenêtre centrale pour la soudure et 2 fenêtres de dégagement;



(Acieries de Gennevilliers)  
Fig. 302 — Flûte de jonction.

2° des flûtes de jonction sans soudure (fig. 302) constituées par un tube en bronze fondu percé de bout en bout et présentant intérieurement des coins dentelés en acier trempé permettant de bloquer les fils;

3° des griffes de jonction (fig. 303) en bronze malléable permettant de jonctionner les fils et de les arrêter par des vis de blocage;

4° des flûtes isolantes (fig. 304) permettant d'isoler deux tronçons de ligne.

**Bifurcations et croisements.** — Les aiguillages sont des appareils disposés sur la ligne de contact pour guider dans les bifurcations,



(Acieries de Gennevilliers)  
Fig. 303 — Griffe de jonction.

la poulie sur le fil voulu, soit automatiquement, soit au moyen d'une manœuvre à main.

Dans l'aiguillage automatique à pendulaire (fig. 305), la manœuvre de l'appareil se fait par la tige pendulaire actionnée au passage par la perche de trolley. L'aiguillage doit être installé en aval de l'aiguille terrestre; si la

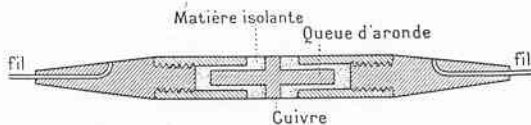
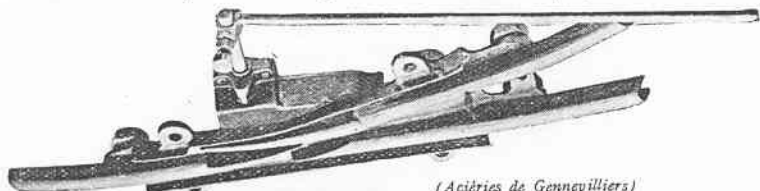


Fig. 304

voiture s'engage sur la voie droite, la perche de trolley ne peut agir sur le pendulaire et la roulette prend la voie droite; si, au contraire, la

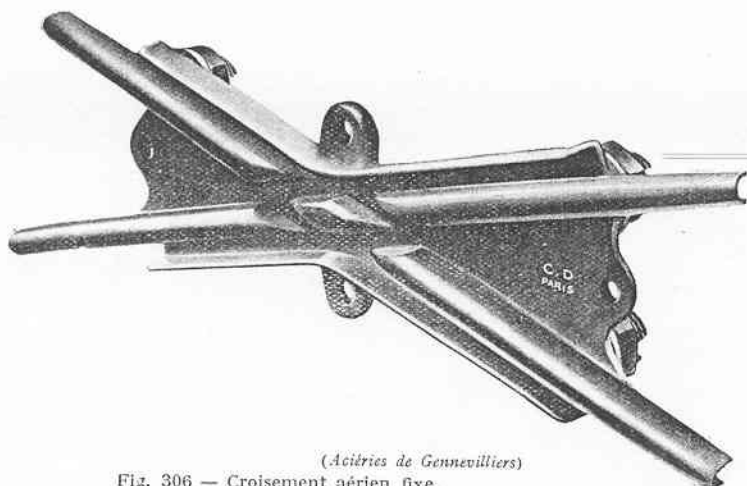


(Acieries de Gennevilliers)  
Fig. 305 — Aiguillage automatique-pendulaire.

voiture s'engage sur la voie déviée, la perche de trolley rencontre la tige pendulaire et la projette en avant, faisant tourner l'axe sur lequel elle est montée; par le jeu d'une came, cet axe-

fait mouvoir la lame mobile de l'aiguille et engager le galet sur la ligne déviée. Le croisement aérien (fig. 306) est constitué par une pièce métallique avec joues de guidage destinées à diriger

de la voie à des poteaux (fig. 307) ou aux murs des maisons (fig. 308), soit supportée par des consoles simples ou doubles (fig. 309) montées sur des poteaux plantés dans la chaussée. Ces poteaux servent souvent à supporter en outre les feeders d'alimentation et des lignes



(Acidries de Gennevilliers)  
Fig. 306 — Croisement aérien fixe.

la poulie si la prise de courant se fait par perche de trolley. Avec l'archet et le pantographe les aiguillages et les croisements sont très simplifiés puisqu'il n'y a plus de roulette de trolley à guider.

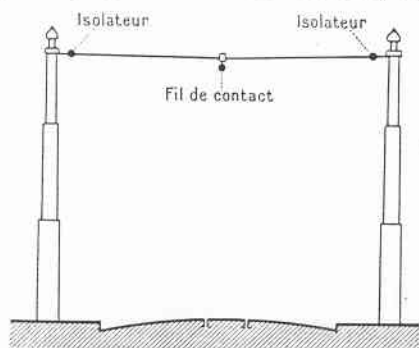


Fig. 307

*Suspension des fils de ligne.* — Il faut distinguer deux sortes de lignes: la ligne de trolley simple et la suspension caténaire.

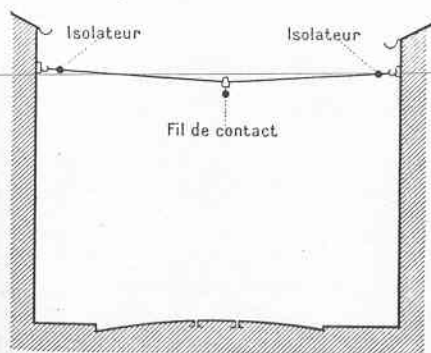


Fig. 308

a) Ligne de trolley simple. — La ligne de contact est, soit soutenue par des câbles transversaux en acier galvanisé amarrés des deux côtés

téléphoniques. En alignement droit, l'écartement des supports varie entre 25 et 40 m; en courbe, il peut descendre à 5 m. La flèche admise pour la ligne de contact est de 5 mm par mètre de portée. La disposition des câbles de suspension peut être très variée et dépend des dispositions locales; dans les courbes les systèmes indiqués par les figures 310 et 311 sont souvent employés.

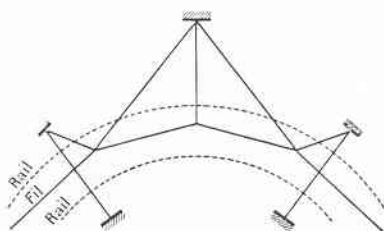


Fig. 310

Les câbles transversaux sont isolés à chaque extrémité par des isolateurs (boules isolantes, anneaux isolants, œufs en verre ou en porcelaine). Les isolateurs en verre ou en porcelaine ont le défaut de se briser sous les chocs ou par le fait des intempéries; cet inconvénient ne se présente pas avec les boules isolantes qui sont constituées par une armature métallique noyée dans une matière moulée isolante. La figure

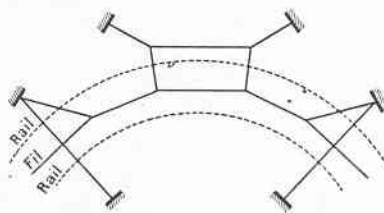
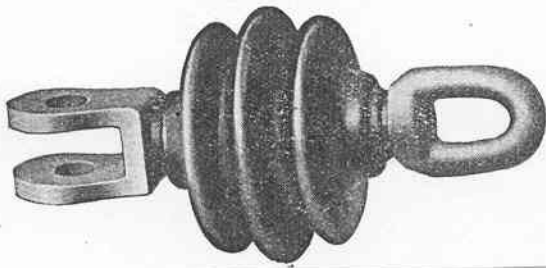


Fig. 311

312 représente un modèle d'isolateur et la figure 313 montre la disposition des armatures métalliques à l'intérieur d'une boule isolante.

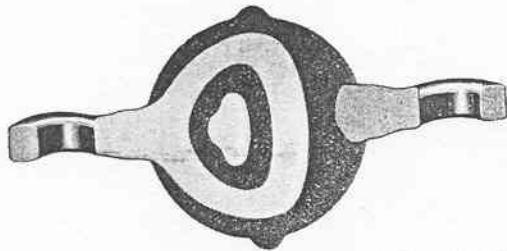
Le fil de contact est en outre isolé par rapport aux câbles transversaux qui le supportent; la figure 314 montre la fixation de la ligne de contact sur console par clochette isolante;

supporté par des griffes en laiton vissées sur les isolateurs; la figure 321 représente une griffe en laiton matricié, utilisée pour la suspension du fil de contact.



(Acieries de Gennevilliers)  
Fig. 312 — Isolateur.

la figure 315 représente la fixation de la ligne de contact par isolateurs montés élastiquement sur la console et la figure 316 montre quelques



(Acieries de Gennevilliers)  
Fig. 313 — Boule isolante (coupe).

systèmes employés pour fixer le fil de contact sur les câbles transversaux; les figures 317

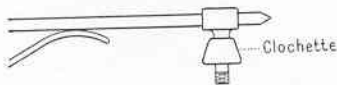


Fig. 314

et 318 représentent deux types d'isolateurs de suspension blindés, type « Ville de Paris »; la fi-

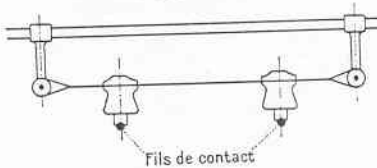


Fig. 315

gure 319 montre un isolateur de suspension blindé type « Chemin de fer » se fixant par collier en fer plat, et la figure 320 le même isolateur se fixant sur fil transversal. Le fil de contact est

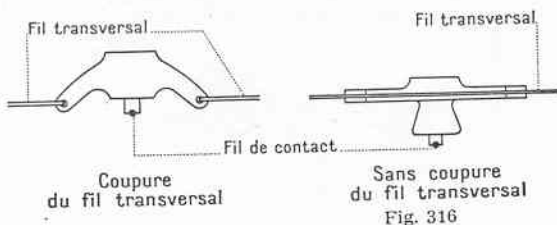
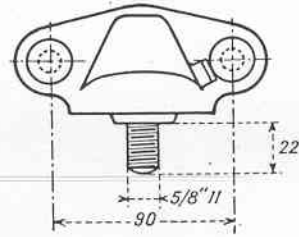
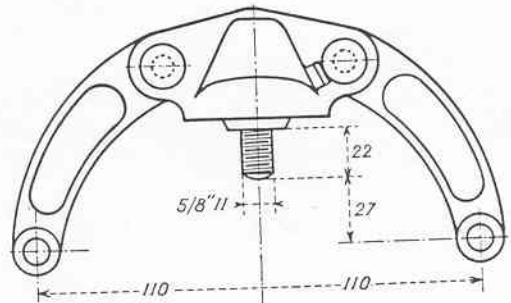


Fig. 316



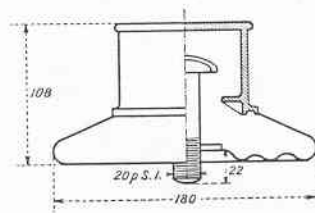
(Acieries de Gennevilliers)  
Fig. 317 — Isolateur de suspension pour alignement droit.

Les extrémités d'appareils de jonction ou de déviation sont des causes permanentes de chute de ligne; on est obligé d'assurer à ces endroits



(Acieries de Gennevilliers)  
Fig. 318 — Isolateur de suspension pour courbes.

un ancrage efficace de la ligne aérienne; on peut employer à cet effet la griffe d'ancrage à came dentelée représentée par la figure 322; une lame



(Acieries de Gennevilliers)  
Fig. 319 — Isolateur de suspension se fixant par collier en fer plat.

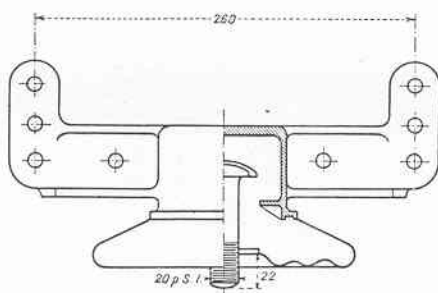
d'acier dentelée est interposée entre le corps et la plaquette de la griffe; la partie de cette lame en contact avec les vis de serrage est profilée en forme de rampes ou cames; le côté de la lame en contact avec le fil de trolley est dentelé en forme de scie. Lors du montage de la griffe, il y a lieu d'exercer une légère pression sur la partie arrière A de la lame dentelée et de donner quelques coups de maillet sur l'avant de la griffe; les dents de scie pénètrent



Dans les courbes



alors dans le fil; à ce moment, le profil des cames vient s'appuyer sur les vis de serrage et tout déplacement du fil est arrêté par l'immobilisation de la came sur ces vis.



(Acieries de Gennevilliers)

Fig. 320 — Isolateur de suspension se fixant sur fil transversal.

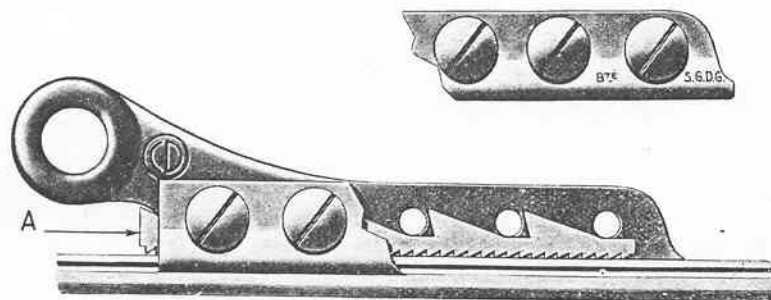
b) Suspension caténaire. — Au fur et à mesure que la vitesse de marche des motrices s'accrut,



(Acieries de Gennevilliers)

Fig. 321 — Griffes en laiton.

on reconnut que les lignes de trolley simples avaient un grave défaut. Le fil supporté tous les



(Acieries de Gennevilliers)

Fig. 322 — Griffes d'ancrage.

30 m environ, prend la forme d'une chaînette, dont la flèche au point milieu peut atteindre

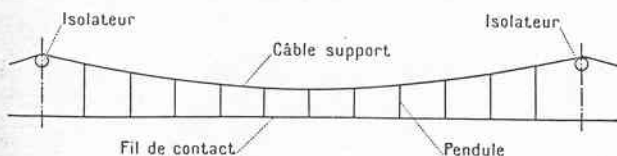


Fig. 323

0,15 m; une locomotive marchant à la vitesse de 100 km/h parcourt les 30 m séparant deux flèches successives en :

$$\frac{3\ 600 \times 30}{100\ 000} = 1,08 \text{ s.}$$

La prise de courant de la machine oscille donc, toutes les 1,08 s avec une amplitude de 0,15 m, ce qui provoque des chocs sur la prise de courant elle-même et sur le fil de contact. En outre, ces oscillations déterminent de fréquentes ruptures de courant, nuisibles aux moteurs et pouvant détériorer le fil de contact par la production d'arcs, surtout avec l'emploi de la haute tension.

Pour éviter ces inconvénients, il faut que la ligne de contact soit sensiblement horizontale et ne puisse pas se déplacer latéralement sous

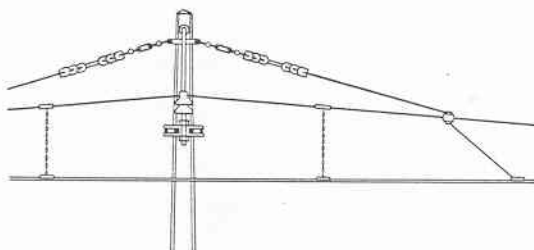


Fig. 324

l'effet de la pression exercée par les appareils de prise de courant; en outre, pour éviter que la ligne frotte les archets ou les pantographes des machines au même point, il ne faut pas que cette ligne soit rectiligne, mais construite en zigzag par rapport à la voie de roulement; de cette manière les archets ou les pantographes s'usent également sur toute leur longueur.

Pour les raisons ci-dessus, on supporte le fil tous les 3 m environ par un câble, à l'aide de fils verticaux, appelés pendules (fig. 323); cette disposition de la ligne de contact a été

appelée *suspension caténaire*. Le câble en acier est supporté tous les 30 m environ par des poteaux et présente la forme d'une chaînette; les pendules sont de longueurs différentes et permettent de supporter le fil de contact avec une flèche inférieure à 2 mm.

Pour éviter des répercussions sur une trop grande longueur de ligne, en cas de rupture du câble porteur, on est amené à amarrer solidement à un poteau ce câble tous les kilomètres environ (fig. 324). En outre, en courbe, on est obligé de

rappeler la ligne de contact à l'aide d'un câble amarré sur les poteaux placés dans la courbe.

Pour éviter le déplacement latéral du fil au passage de l'archet, on maintient fixe le fil de contact par des câbles dits « anti-balancants », fixés au droit de chaque poteau; ces câbles sont isolés, soit à l'aide d'isolateurs à cloche, soit avec des chaînes à maillons.

Dans certains cas, la ligne caténaire est supportée par des transversaux fixés à des poteaux; ceci se présente souvent dans les aiguillages, dans les croisements, les évitements, etc.; le câble porteur est alors fixé sur les transversaux et des câbles « anti-balancants » sont fixés à chaque poteau; l'on peut employer des pendules rigides, la suspension par transversaux étant excessivement souple (fig. 325).

Les effets de dilatation causés par les variations de température sur le câble porteur et sur le fil de contact sont importants, surtout dans les lignes présentant de longues portées; pour compenser ces variations de longueur de la ligne, on dispose, de place en place, des poteaux spéciaux munis d'un dispositif de compensation, permettant de maintenir la tension du fil de contact constante.

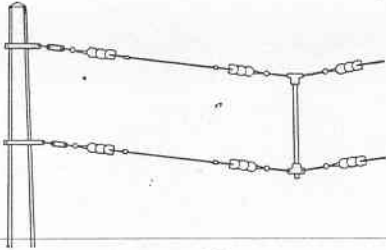


Fig. 325

On peut diviser les différents types de suspension caténaire en trois catégories :

1<sup>o</sup> Suspension caténaire simple à pendules verticaux (fig. 326); c'est le dispositif le plus couramment employé.

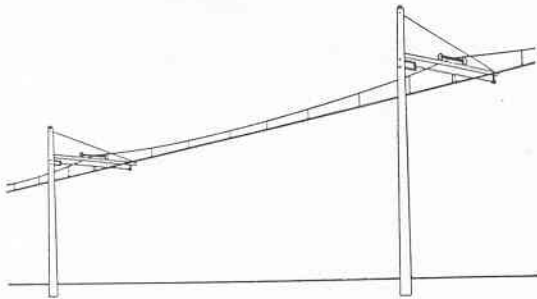


Fig. 326

2<sup>o</sup> Suspension caténaire à pendules obliques ou suspension triangulaire (fig. 327); c'est le dispositif qui a été employé en Angleterre pour la ligne électrique du « London-Brighton and South Coast Railway ».

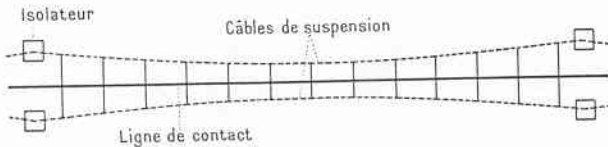


Fig. 327

3<sup>o</sup> Suspension caténaire double à pendules verticaux (fig. 328); ce système a été employé par la Siemens-Schuckert sur les lignes de Cologne et de Ollsdorf à Blankenese (Hambourg).

La suspension caténaire à pendules verticales offre l'avantage de la simplicité de construction, mais rend difficile le maintien d'une bonne tension, indépendante des variations de température; lorsque l'on tend le fil de contact, les pendules se déplacent par rapport à la verticale; c'est pour éviter ce défaut que la Compagnie des Chemins de fer du Midi emploie un dispositif de tension de la ligne agissant à la fois sur le câble porteur et sur la ligne de contact.

Pour éviter l'inconvénient signalé ci-dessus, certains constructeurs ont employé la suspension caténaire double en intercalant entre le câble porteur formant chaînette et le fil de contact, un fil de suspension intermédiaire placé aussi horizontalement que possible; ce fil est relié au fil de contact par des attaches légèrement mobiles et sa tension est réglée automatiquement par un contrepois. Avec le système de suspension caténaire double, l'élasticité de la ligne est heureusement augmentée; en outre, cette suspension offre une sécurité supplémentaire en cas de rupture de fil de contact, car les bouts de celui-ci sont alors trop courts pour venir à proximité de la voie et il faudrait pour cela que le câble porteur et le câble intermédiaire soient brisés à la fois.

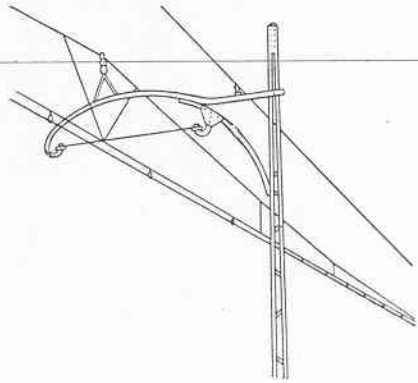


Fig. 328

La suspension caténaire triangulaire offre l'avantage de rendre impossible tout déplacement latéral du fil de contact au passage des motrices; mais ce système a présenté de graves inconvénients en Amérique, où il a été utilisé sur le New-York—New-Haven and Hartford Ry; la rigidité de la ligne était trop grande avec les pantographes employés.

**B. — Prises de courant souterraines.** — *Par plots.* — Le premier dispositif de prise de courant souterraine qui a été utilisé est le système de prise de courant par plots; le courant était envoyé au moment du passage des véhicules à des pièces métalliques ou plots, placés dans l'axe de la voie qui transmettaient, par l'intermédiaire de frotteurs, l'énergie électrique à ces véhicules. Nous n'entrerons pas dans le détail des différents types d'appareils qui ont été réalisés (système Claret-Vuilleumier, système Diatto, système Dolter), ce système de prise de courant étant abandonné actuellement.

*Par caniveaux.* — Le principe de ce dispositif consiste à disposer, soit dans l'axe des rails de roulement (caniveau central), soit sous l'un de ces rails (caniveau latéral), un caniveau renfermant un rail conducteur sur lequel frotte le dispositif de prise de courant des voitures. Le caniveau latéral qui fut adopté tout d'abord a été vite abandonné par suite de la difficulté d'isolement du rail conducteur; les roues des véhicules projettent en effet de l'eau et de la boue dans l'intérieur du caniveau par la fente ménagée pour le passage de la prise de courant, fente qui se trouve dans le même plan que les roues; en outre le caniveau latéral est plus

coûteux et de construction plus difficile à cause des bifurcations et des aiguillages.

Le caniveau central est utilisé le plus couramment; c'est celui qui est adopté par la S. T. C. R. P. L'appareil de prise de courant de la voiture est descendu dans le caniveau en des points déterminés du parcours par des trappes qui peuvent être soulevées par l'intermédiaire de leviers. Dans le caniveau système Thomson Houston 1911 (fig. 329) les rails de prise de courant sont constitués par deux fers à T supportés par des isolateurs en porcelaine; la rainure destinée au passage de la prise de courant est obtenue par l'intervalle séparant deux fers C maintenus par des tirants E boulonnés sur ces fers C.

### C. — Prises de courant par 3<sup>e</sup> rail.

— Ce dispositif n'est employé que dans les Chemins de fer où la voie n'est pas accessible au public, le rail conducteur étant en effet un danger, puisqu'il est constamment sous tension et constitue un obstacle à la circulation. Placé généralement latéralement aux rails de roulement il est constitué par un rail en acier, d'un profil normal, supporté par des isolateurs en grès ou en bois paraffiné. Ces rails qui ont de 6 à 18 mètres de long sont connectés électriquement, en plus de l'éclissage habituel. Ces éclisses électriques sont constituées par des conducteurs reliant les extrémités de deux tronçons de rail consécutifs. Quelquefois on obtient une bonne liaison des rails entre eux en soudant par le procédé aluminothermique les extrémités de ceux-ci.

Lorsqu'il y a des aiguillages ou des croisements, les rails conducteurs sont interrompus comme l'indique la figure 330, mais pour éviter toute interruption de courant à la motrice on dispose un tronçon de rail à l'extérieur. Aux interruptions, le rail conducteur est terminé par des extrémités recourbées pour permettre aux frotteurs d'attaquer celui-ci

moins brusque-

### Alimentation des lignes de contact. —

Le système de distribution le plus simple consisterait à alimenter le fil directement sous la tension d'utilisation, soit au milieu, soit à une extrémité, par les génératrices de l'usine centrale (fig. 331), le retour se faisant par les rails de roulement; ce dispositif à l'inconvénient, si la ligne a une certaine longueur, de présenter une forte chute de tension entre les 2 extrémités

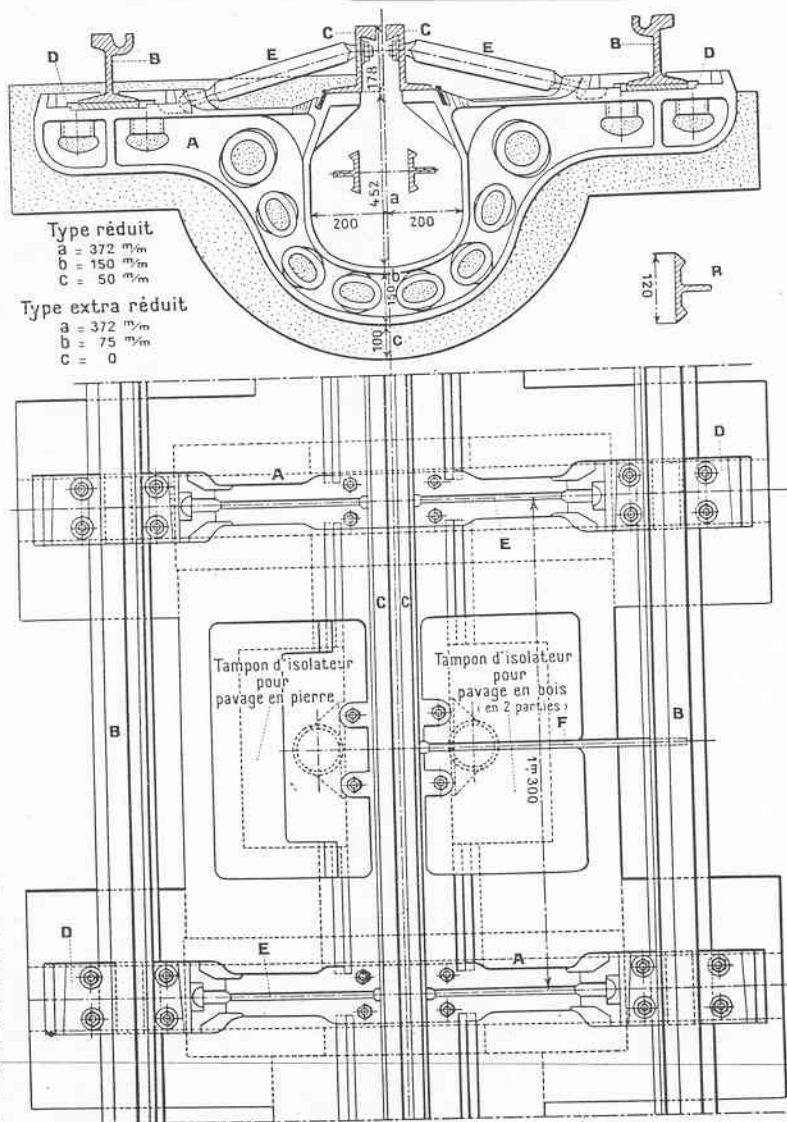


Fig. 329 — Caniveau Thomson-Houston (modèle 1911).

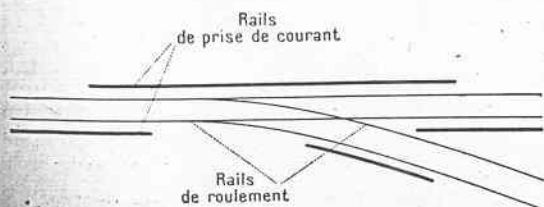


Fig. 330

et ne peut être employé que dans les installations peu importantes et dont le parcours est restreint.

Pour diminuer cette chute de tension, on a généralement recours à la distribution par

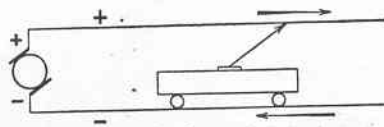


Fig. 331

feeders; dans ce cas le fil de contact est divisé en un certain nombre de tronçons qui sont alimentés séparément par un câble isolé de forte section partant de l'usine (fig. 332) appelé *feeder d'alimentation*; ces feeders sont constitués, soit par des lignes aériennes, soit par des câbles armés souterrains. Quelquefois la ligne n'est pas sectionnée et les différents feeders sont simplement reliés en des points convenablement choisis sur le fil de contact.

Il est quelquefois fait emploi de survolteurs dans certaines lignes de tramway ou de Chemin de fer à courant continu longues et absorbant une quantité importante d'énergie; ces survolteurs, montés en série sur la ligne, ont pour but d'augmenter la tension d'alimentation lorsque le débit augmente et de compenser par suite les chutes de tension. Ce système a été utilisé sur le chemin de fer de Grenoble à Chapareillan qui comporte une distribution à 3 fils (deux fils de contacts et retour par les rails) et sur la ligne de Saint-Georges de Commiers à la Mure.

Comme nous l'avons vu au N° 105, pour diminuer cette chute de tension qui deviendrait considérable dans les lignes importantes, par suite de la grande puissance transportée à longue distance, on est obligé d'envoyer du courant à haute tension de l'usine centrale à

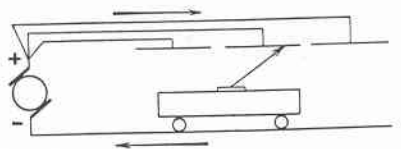


Fig. 332

des sous-stations échelonnées sur le parcours de la ligne et abaissant la tension à la valeur convenable d'utilisation. La ligne de contact est alors sectionnée en tronçons qui sont alimentés chacun par une sous-station; ces tronçons peuvent être connectés entre eux lors d'une avarie dans une sous-station.

Nous étudierons un système de distribution de ce genre au N° 111 au sujet des lignes de contact de la ligne de chemins de fer de Paris à Orléans.

### Protection des lignes et des sous-stations.

— La ligne de contact et les machines des sous-stations peuvent être détériorées, soit par des décharges atmosphériques, soit par des courts-circuits produits sur la ligne elle-même.

Pour protéger la ligne de contact et les sous-stations contre les décharges atmosphériques, on installe des parafoudres sur cette ligne, à des distances variant de 200 à 1 200 mètres. Les parafoudres employés sont de types très divers; on les installe généralement au sommet des supports de la ligne elle-même.

La protection contre les courts-circuits a soulevé un problème très difficile à résoudre; des solutions acceptables ont été trouvées grâce à la mise au point d'appareils de protection très sensibles et très rapides.

Nous allons étudier le problème dans le cas du courant continu, employé en France.

Avec le courant continu l'effet du court-circuit est différent suivant que :

1° le court-circuit est situé à proximité de la sous-station;

2° le court-circuit est éloigné de la sous-station.

Dans le premier cas, la résistance du circuit étant très faible, le courant atteint une valeur énorme (quelquefois 10 fois l'intensité normale) dans un temps excessivement court; les effets calorifiques et électrodynamiques (proportionnels au carré de l'intensité) sur les barres et les machines sont considérables et peuvent provoquer des flashes aux collecteurs et détériorer les enroulements.

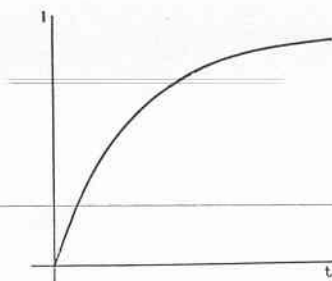


Fig. 333 — Court-circuit éloigné.

Dans le deuxième cas, la résistance du circuit ayant une certaine valeur, l'intensité du court-circuit peut être inférieure au réglage du disjoncteur; le court-circuit continue alors à être alimenté et des accidents graves (détérioration de la caténaire, du rail de roulement si le fil est tombé sur celui-ci, etc...) peuvent se produire sur la ligne sans affecter la sous-station et les machines.

Le dispositif de protection employé doit agir dans un temps extrêmement court et discriminer une surcharge produite par le démarrage simultané de plusieurs trains de celle due à un court-circuit éloigné; pour cela il faut remarquer que l'allure de la courbe de l'intensité en fonction du temps n'est pas la même s'il s'agit d'un démarrage ou bien d'un court-circuit; les courbes représentées par les figures 333 et 334 montrent

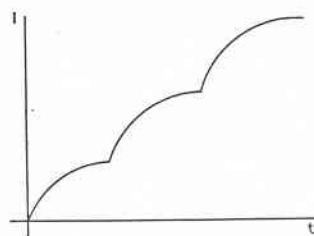


Fig. 334 — Démarrage.

que lors d'un court-circuit l'intensité est continuellement et rapidement croissante, tandis que dans le cas de démarrage l'accroissement de l'intensité se fait par paliers successifs.

C'est pourquoi les disjoncteurs ultra-rapides employés généralement en traction ont une sensibilité qui dépend de la valeur du courant, de la rapidité de variation du courant et de l'amplitude de cette variation; à cet effet la bobine de déclenchement du disjoncteur est parcourue par une portion du courant total, l'autre partie du courant passant par un shunt à grand coefficient de self induction; si l'intensité augmente rapidement, la plus grande partie du courant passe par la bobine et fait déclencher l'appareil.

En outre, en plus des moyens de protection employés il faut tenir compte, dans l'établisse-

ment d'un projet de traction, qu'une avarie survenant en un point quelconque de la ligne ne doit affecter qu'une longueur, la plus faible possible du réseau et qu'en outre cette avarie ne doit pas occasionner une perturbation sur les lignes voisines. Nous verrons comment la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Orléans a tenu compte de ces considérations.

### 111. LES LIGNES DE CONTACT DE LA COMPAGNIE DU P. O. —

Pour limiter la répercussion des incidents pouvant survenir à une ligne de contact, la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Orléans (P. O.) a adopté les dispositions suivantes :

a) Alimentation séparée pour chacune des voies principales lorsqu'elles sont parallèles ;

b) Sectionnement des voies au droit de chaque sous-station et entre celles-ci ; chaque portion de ligne est alimentée par un disjoncteur distinct à chaque sectionnement.

Pour diminuer la chute de tension, les lignes de contact sont mises en parallèle tous les 4 km environ entre Paris et Orléans, dans chaque gare entre Orléans et Vierzon et dans les postes de sectionnement intermédiaire. Les disjoncteurs employés sont du type ultra-rapide décrit au N° 107 de ce Tome.

**Voies principales.** — Il faut distinguer les lignes à 4 voies et les lignes à 2 voies, l'équipement de la ligne de contact étant différent pour chacune d'elles.

Dans les lignes à 2 voies (fig. 335), la ligne de contact est sectionnée à chaque sous-station et la mise en parallèle se fait à l'aide de sectionneurs et de disjoncteurs ultra-rapides sur une barre spéciale dite « barre de mise en parallèle » ; en outre un poste de sectionnement intermédiaire est installé entre chaque sous-station. Entre chaque sous-station et le poste de sectionnement suivant, sont installés deux postes de mise en parallèle équipés également avec des disjoncteurs ultra-rapides.

Dans les lignes à 4 voies (fig. 336), les postes de sectionnement intermédiaires et les postes de mise en parallèle comportent deux barres omnibus, l'une pour la mise en parallèle des lignes de contact des 2 voies centrales, l'autre pour la mise en parallèle des 2 voies extérieures ; ces deux barres peuvent être couplées à l'aide d'un sectionneur. En outre, la ligne de contact est sectionnée par des sectionneurs à commande manuelle pour permettre de réduire sa longueur, soit lors des travaux à effectuer sur cette ligne, soit par suite d'accident ; ces sectionneurs sont reliés à la terre en position d'ouverture ; ils ne doivent être manœuvrés qu'à

vide, après déclenchement des disjoncteurs correspondants.

**Voies secondaires.** — Les lignes de contact des voies secondaires de faible importance (voies de service et de garage des petites gares), sont alimentées par des sectionneurs pris en dérivation sur les lignes principales ; ces sectionneurs sont normalement ouverts et reliés à la terre ; ils ne sont fermés que lorsqu'on a besoin de faire circuler un tracteur sur la voie intéressée.

Les lignes de contact des voies secondaires plus importantes (voies de circulation des grandes gares, faisceaux de réception, voies de triage, etc...) sont alimentées à l'aide de

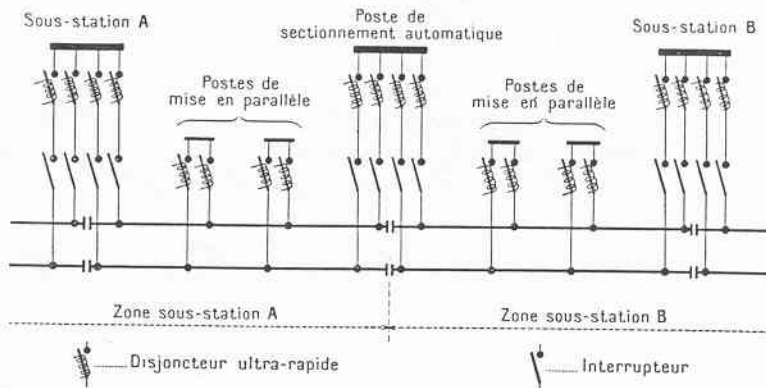


Fig. 335 — Lignes de contact de la Compagnie des chemins de fer du P. O. Lignes à 2 voies.

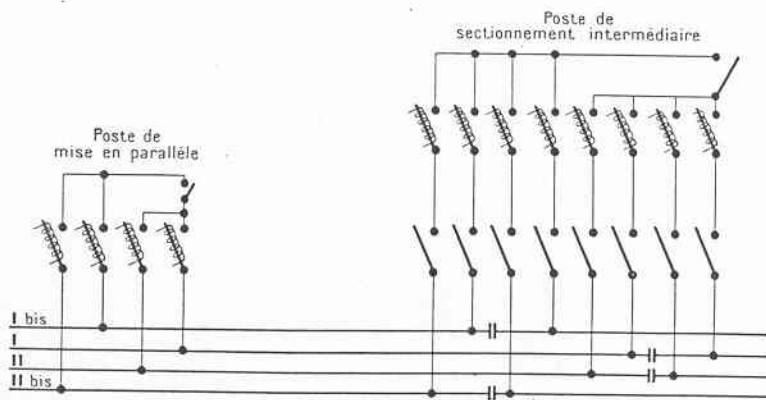


Fig. 336 — Lignes de contact de la Compagnie des chemins de fer du P. O. Lignes à 4 voies.

disjoncteurs branchés sur les barres omnibus du poste de sectionnement ou de mise en parallèle le plus proche (fig. 337) ; dans certains centres très importants, il a même été installé des postes de mise en parallèle supplémentaires pour réduire la longueur du feeder d'alimentation des voies secondaires.

Dans les grandes gares, il a été prévu en outre des disjoncteurs ou des sectionneurs supplémentaires, normalement ouverts, permettant d'alimenter les lignes de contact par un autre poste en cas d'avarie aux disjoncteurs d'alimentation normale.

**Commande des disjoncteurs des postes de sectionnement et de mise en parallèle.** — Dans la région parisienne, les disjoncteurs ultra-

rapides ont leurs bobines de maintien alimentées sous 600 V; les bobines d'enclenchement fonctionnent sous une tension de 1 500 V par l'intermédiaire de contacteurs alimentés sous 600 V. Le courant continu 600 V nécessaire est fourni par un groupe spécial dans chaque sous-station et distribué par une ligne bifilaire en cuivre nu.

Cette ligne est sectionnée dans chaque poste de sectionnement et dans chaque sous-station; les postes de mise en parallèle sont alimentés en dérivation sur cette ligne sans coupure.

Il y a lieu de diviser les disjoncteurs en deux catégories, suivant l'importance de la ligne qu'ils alimentent; la commande de ces disjoncteurs est d'ailleurs différente suivant qu'ils appartiennent à l'une ou à l'autre de ces catégories.

*Disjoncteurs de première catégorie.* — Ces disjoncteurs assurent la mise en parallèle et le sectionnement des voies principales, ainsi que l'alimentation de certains tronçons de voies principales et des voies de circulation des gares importantes.

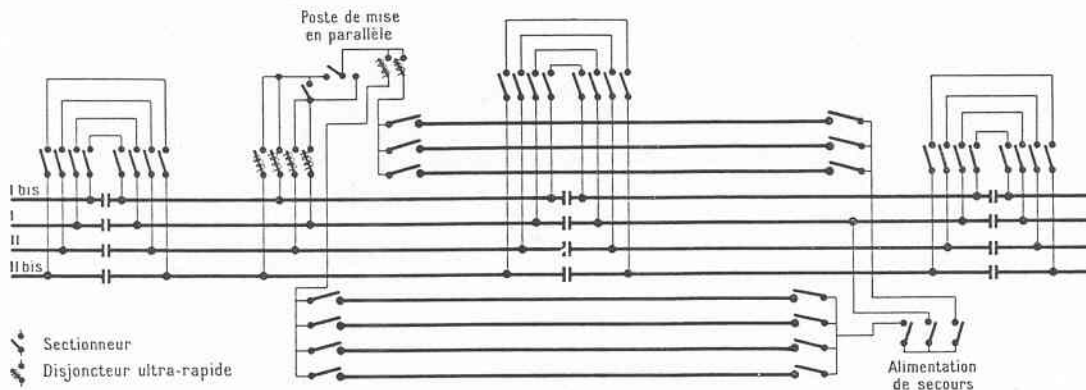


Fig. 337 — Lignes de contact de la Compagnie des chemins de fer du P. O. Voies secondaires d'une grande gare.

Les différents disjoncteurs d'un secteur alimenté par une sous-station sont enclenchés entre eux de telle façon que :

1° Lors du déclenchement d'un disjoncteur de mise en parallèle ou de sectionnement d'une voie, le disjoncteur de feeder alimentant la ligne de contact correspondante, déclenche, ainsi que les autres disjoncteurs de mise en parallèle ou de sectionnement de la dite voie.

2° Lors du déclenchement du disjoncteur de feeder alimentant une ligne de contact, les autres disjoncteurs de sectionnement et de mise en parallèle déclenchent.

La commande du déclenchement ou de l'enclenchement des disjoncteurs est effectué des sous-stations; en outre, tous les 300 m environ, sur les parcours de la ligne, sont installés des interrupteurs permettant de faire déclencher tous les disjoncteurs y compris le disjoncteur de feeder.

Chaque sous-station possède à cet effet un pupitre de commande des disjoncteurs de la zone desservie par elle; le pupitre comporte des manettes de commande et de contrôle à raison de deux par appareil : une manette pour la manœuvre proprement dite et une manette pour le contrôle.

Un panneau vertical est fixé au-dessus du pupitre et reproduit schématiquement le tracé des lignes avec des transparents circulaires à

l'emplacement des disjoncteurs; ces transparents sont éclairés en rouge ou en blanc suivant que le disjoncteur est fermé ou ouvert. Lors du changement de position d'un disjoncteur les feux rouge ou blanc scintillent et une sonnerie retentit pour prévenir l'électricien qui doit alors confirmer la manœuvre du disjoncteur en agissant sur la manette de contrôle correspondante. Il existe en outre sur le pupitre une manette à deux positions par disjoncteur de feeder permettant d'obtenir le déclenchement de ce dernier ainsi que de tous les disjoncteurs de sectionnement et de mise en parallèle.

La commande et la signalisation des disjoncteurs sont assurées seulement par 4 fils parcourant la ligne; la commande se fait par des distributeurs tournant au synchronisme dans la sous-station et dans les postes commandés; chaque plot du distributeur correspond à la commande et au contrôle d'un appareil.

Des 4 fils, le premier sert à assurer la rotation synchrone des distributeurs, le second permet d'amener le courant de commande à l'instant où les balais des distributeurs se trouvent sur

le plot correspondant au disjoncteur à manœuvrer, le troisième fil sert au contrôle correspondant au changement de position du disjoncteur, le quatrième fil sert de retour commun aux 3 circuits.

En outre un circuit dit « circuit de déclenchement général » constitué par un seul fil, le retour se faisant par le commun des circuits de commande à distance, permet d'isoler une portion de la ligne de contact dans le cas de déclenchement automatique d'un disjoncteur de sectionnement ou de mise en parallèle ou bien dans le cas du déclenchement commandé ou automatique, du disjoncteur de feeder.

A chaque disjoncteur, correspond un relais dont l'ouverture des contacts entraîne la coupure du circuit de maintien du disjoncteur et par suite son déclenchement; les enroulements de ces relais sont montés en série sur le fil de déclenchement général (fig. 338).

En outre tous les 300 m environ, sont disposés des coffrets de déclenchement permettant, par la manœuvre d'une clef, d'intercaler sur le fil de déclenchement une résistance de 30 000 ohms et de provoquer ainsi le déclenchement des disjoncteurs de la voie.

Lorsqu'un disjoncteur déclenche, une résistance s'intercale en série sur le fil de déclenchement général provoquant l'ouverture de tous les relais de la ligne et par suite le déclenche-

ment des disjoncteurs; après un déclenchement automatique il faut mettre la clef de déclenchement général en position «déclenchée», ce qui a pour but d'éliminer toutes les résistances insérées sur la ligne.

Le déclenchement d'un disjoncteur peut être commandé d'un coffret de déclenchement ou bien être automatique ou encore être occasionné par la rupture du fil de déclenchement; ces différentes manœuvres sont repérées respectivement au tableau de signalisation de la sous-station par 3 lampes blanches marquées DC, DA et FC.

Un système de secours permet de commander de la sous-station les disjoncteurs en cas d'avarie à la ligne de commande par sélecteurs.

*Disjoncteurs de 2<sup>e</sup> catégorie.* — Ces disjoncteurs alimentent, par l'intermédiaire des barres omnibus des postes de mise en parallèle, les faisceaux et voies accessoires des gares. Ces disjoncteurs sont commandés à distance des postes d'aiguillage.

succès, la ligne est considérée comme défectueuse et elle est signalée comme telle au régulateur de section qui prend des mesures en conséquence. Les électriciens des sous-stations effectuent également les manœuvres de coupure et de réenclenchement qui leur sont demandées et confirment au demandeur, lorsque l'opération est effectuée. Ils prennent toutes mesures utiles pour éviter qu'un secteur, qui a été isolé, puisse être mis sous tension par le passage d'une machine. Dans ce but, est affecté à chaque sectionnement automatique, une gare ou un poste de couverture qui peut, en manœuvrant des signaux appropriés, interdire l'entrée du secteur isolé à toute machine circulant pantographe levé. La manœuvre des signaux de couverture de secteur est effectuée sur la demande des électriciens de la sous-station; à cet effet chaque sous-station est reliée téléphoniquement aux gares ou postes de couverture de sa zone.

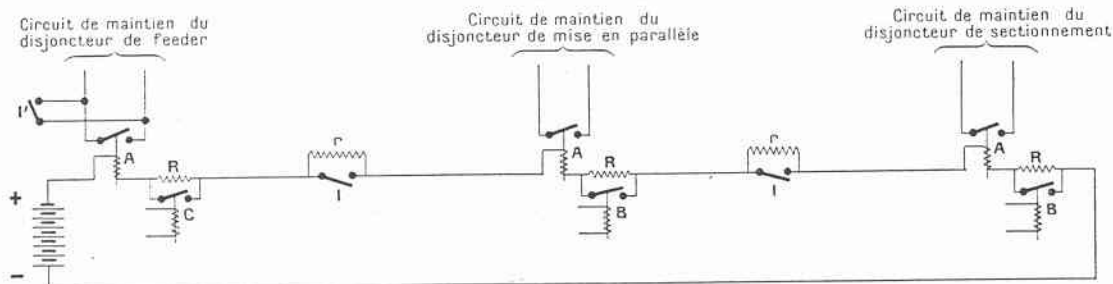


Fig. 338 — Lignes de contact de la Compagnie des chemins de fer du P. O.  
Circuit de déclenchement général

- I Interrupteur de déclenchement général
- R, r résistances
- I' Interrupteur de mise hors service du déclenchement général
- A Relais en série sur le circuit de déclenchement général

- B Relais s'ouvrant par déclenchement des disjoncteurs de sectionnement ou de mise en parallèle
- C Relais s'ouvrant par déclenchement du disjoncteur de feeder.

Entre Etampes et Vierzon le système d'alimentation décrit ci-dessous a été utilisé, mais les disjoncteurs de mise en parallèle et de sectionnement des voies principales sont manœuvrés des gares ou du poste sémaphorique le plus voisin au lieu d'être commandés de la sous-station. En outre, il n'a pas été installé de système de déclenchement général et la coupure du courant ne peut être faite que par demande téléphonique.

Les coffrets de déclenchement sont remplacés, à cet effet, par des coffrets espacés tous les 300 m renfermant des prises téléphoniques permettant l'emploi des appareils portatifs prévus sur les locomotives.

**Exploitation des installations.** — Le dispatcher ou régulateur de section, qui contrôle la circulation des trains, contrôle également les conditions d'alimentation des voies principales. C'est lui qui accorde les coupures de courant pour l'entretien et les travaux; en cas d'incident, il prend toutes mesures utiles pour localiser les tronçons avariés et arrête, d'accord avec les services intéressés, les conditions de remise en état. Les électriciens des sous-stations veillent au maintien sous tension des lignes de contact de leur zone.

En cas de déclenchement des disjoncteurs d'alimentation, il est procédé à 3 tentatives successives de réenclenchement; en cas d'in-

IV

## Différents systèmes de traction électrique

**112. GÉNÉRALITES.** — Les différents systèmes de traction électrique peuvent être classés, d'après la nature du courant et la tension d'alimentation, en cinq catégories :

- 1<sup>o</sup> Traction par courant continu basse tension (jusqu'à 600 V);
- 2<sup>o</sup> Traction par courant continu haute tension (au-dessus de 600 V);
- 3<sup>o</sup> Traction par courant alternatif monophasé;
- 4<sup>o</sup> Traction par courants alternatifs triphasés;
- 5<sup>o</sup> Traction par systèmes mixtes (mono, triphasé, etc....).

La traction électrique par accumulateurs et la traction thermo-électrique feront l'objet d'un paragraphe spécial.

Les premières installations de traction furent réalisées en courant continu basse tension et la tension de 600 V était adoptée le plus couramment; ce système est toujours employé dans les réseaux de tramways et lignes de métropolitains. Lorsque les grandes Compagnies de Chemins de fer voulurent électrifier leur réseau, le courant continu basse tension ne put convenir étant donné l'importance du trafic

et la longueur des installations à électrifier; on arrivait en effet à des chutes de tension inacceptables et l'on dut chercher un autre système de traction. L'emploi du courant monophasé pour la grande traction semblait au premier abord très séduisant par suite de l'emploi de tensions élevées permettant un transport économique, de la facilité de transformation de la tension par transformateurs statiques et de la simplicité de la ligne de contact; en outre, l'on savait qu'un moteur série, lorsque les masses polaires des inducteurs sont constituées par des tôles empilées, se comportait de la même façon en alternatif qu'en continu. Mais l'on se heurta à une difficulté dès que l'on voulut résoudre le problème de la commutation; ce problème, vite résolu en courant continu par l'emploi de pôles auxiliaires, est plus délicat avec les moteurs série monophasés. Dans ces derniers, la commutation fut améliorée par l'emploi judicieux de pôles auxiliaires, mais le moteur série ainsi obtenu ne satisfaisait pas toujours aux conditions imposées par un service de traction. On utilisa alors des courants à basse fréquence et la fréquence 16 2/3 p/s fut adoptée le plus couramment. Nous verrons en outre que les locomotives monophasées sont plus compliquées que les locomotives à courant continu.

De plus les usines centrales productrices d'énergie, sont généralement triphasées et lorsque la puissance monophasée à prendre pour la traction est une fraction importante de la puissance totale triphasée produite par l'usine, il en résulte un déséquilibre important des tensions sur le réseau triphasé, déséquilibre d'autant plus grand que le facteur de puissance de la charge monophasée est plus faible. La traction monophasée a fait des progrès importants au cours de ces dernières années et la possibilité de transformer du courant triphasé 50 p/s en courant monophasé à basse fréquence à l'aide de redresseurs à grilles polarisées, semble remettre la traction monophasée en faveur.

La traction par courants triphasés fut utilisée par certaines Compagnies; elle offre de grand avantages au point de vue de la simplicité avec laquelle l'on peut utiliser le freinage par récupération; par contre la difficulté provient du fait de la complication des lignes de contact.

Certains réseaux expérimentèrent également la traction par courant continu haute tension qui possède les mêmes avantages que la traction par courant continu basse tension: moteurs robustes, facilité de régulation, simplicité de la ligne de contact.

En résumé, au point de vue technique tous les systèmes de traction se sont perfectionnés à un tel point jusqu'à ces dernières années que les avantages que l'un pouvait présenter par rapport à l'autre se sont de plus en plus atténués.

La traction électrique s'est développée dans chaque pays suivant des directives différentes. La Suisse, l'Allemagne, l'Autriche, la Hongrie, la Suède et la Norvège ont adopté presque exclusivement le courant monophasé 15 000 V à la fréquence 16 2/3 p/s, tandis qu'en Amérique on utilise le système monophasé 11 000 V 25 p/s et le courant continu 650 V 1 500 V ou 3 000 V; la France a généralisé l'application du courant continu 1 500 V pour la grande traction dans la métropole et le courant continu 3 000 V pour le Maroc et l'Algérie; l'Italie emploie le triphasé 3 700 V et le courant continu 1 500 V et 3 000 V; les Chemins de fer du Nord

de l'Espagne utilisent le courant continu 1 500 V et 3 000 V.

Des 25 plus grands Réseaux du monde, au 1<sup>er</sup> janvier 1931, 10 601 km de voies sont électrifiées en courant continu, 12 608 km en courant monophasé et 2 259 km en courant triphasé.

**113. TRACTION PAR COURANT CONTINU BASSE TENSION.** — A cette classe appartiennent tous les systèmes de traction à courant continu dont la tension d'alimentation des moteurs ne dépasse pas 600 V: tramways, chemins de fer Métropolitain, etc...

Le système de distribution le plus simple consiste à connecter le pôle positif des génératrices de la centrale ou des sous-stations au fil de contact et le pôle négatif au rail de roulement; le rail étant utilisé comme conducteur de retour, il doit avoir le moins de résistance possible pour que la chute de tension soit faible.

L'éclissage des rails doit donc être exécuté avec soin, la résistance électrique de la voie étant constituée en majeure partie par celle des joints.

L'éclissage mécanique n'étant pas suffisant pour assurer une bonne conductibilité, on est obligé de le doubler par un éclissage électrique constitué, généralement, par deux conducteurs en cuivre, disposés de chaque côté du rail et terminés, soit par des œilletons dans lesquels on engage au maillet une tête qui s'écrase et solidarise le connecteur avec le rail préalablement percé de trous à cet effet, soit par des gorges dans lesquelles on mate une goupille. Quelquefois on utilise, au lieu de conducteurs en cuivre rigide, des connecteurs en fils torsadés, beaucoup plus souples, pourvus de tête permettant le montage sur le rail. Dans certains cas pour avoir une bonne conductibilité, on soude les extrémités de rails par l'aluminothermie, procédé qui consiste à couler, dans un creuset embrassant le rail, un mélange de poudre d'aluminium et d'un oxydant tel que l'oxyde ferrique  $Fe^2 O^3$ ; le mélange est enflammé par un artifice quelconque et la réaction chimique suivante se produit :



avec un grand dégagement de chaleur portant la température du mélange vers 3 000°; le fer se porte au-dessous du mélange et l'alumine  $Al^2 O^3$  surnage.

Ce procédé est utilisé surtout pour la soudure des rails des lignes de tramways.

La bonne conductibilité de la voie est de plus nécessaire pour éviter que le courant ne trouve un chemin moins résistant par l'intermédiaire de canalisations ou de masses métalliques incluses dans le sol et passe par celles-ci au lieu d'emprunter le rail lui-même. Ceci aurait pour inconvénient très grave de détériorer ces masses métalliques (conducteurs d'eau, de gaz, etc...) par le phénomène d'électrolyse.

L'arrêté Ministériel du 30 avril 1924 fixe la perte de charge mesurée sur une longueur de voie de 1 kilomètre, prise arbitrairement à un volt en moyenne dans la zone urbaine et à deux volts en moyenne dans la zone suburbaine. Les dérivations se produisant souvent à l'endroit des joints de rails, il y a lieu de vérifier périodiquement les éclissages et de s'assurer que la chute de tension moyenne à ces joints est inférieure à 0,005 volts dans la zone urbaine et 0,010 volts dans la zone suburbaine.



Pour éviter que tout le courant de traction passe par le rail de roulement, on emploie quelquefois le système de traction par courant continu 3 fils; dans ce dispositif, on dispose à l'usine centrale de 2 machines en série avec le point milieu relié au rail de roulement; les bornes libres des machines sont reliées à 2 lignes de contact différentes; chaque rame ou chaque motrice possède deux dispositifs de prise de courant prenant contact sur l'une et l'autre ligne; de cette façon la moitié des moteurs fonctionne sur un pont et l'autre moitié sur le 2<sup>e</sup> pont; l'intensité du courant de retour par le rail de

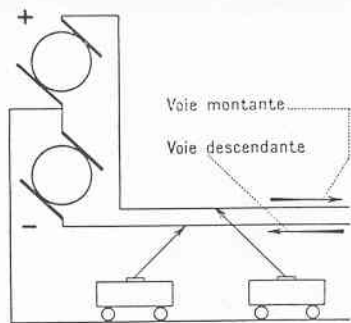


Fig. 339

roulement est alors presque nulle; c'est le dispositif qui a été utilisé sur l'ancien chemin de fer du Nord-Sud à Paris où l'alimentation se faisait sous  $2 \times 750$  V. Dans d'autres installations la ligne de traction est divisée en sections, reliées alternativement aux pôles de chaque machine et l'équilibre dans les rails de retour n'est obtenu que sur l'ensemble du réseau, le nombre des motrices fonctionnant sur un pont étant sensiblement le même que celui des motrices fonctionnant sur l'autre pont.

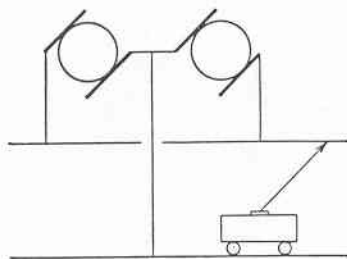


Fig. 340

Les figures 339 et 340 représentent schématiquement les deux types d'installations.

**Moteurs de traction à courant continu basse tension.** — En raison de l'effort très variable demandé au moteur de traction (démarrages très fréquents et rapides) le moteur à courant continu employé en traction électrique est le moteur série, qui a l'avantage de développer un fort couple au démarrage.

Rappelons que si l'on désigne par :

- E — la force contre-électromotrice du moteur en volts;
- U — la tension d'alimentation aux bornes du moteur en volts;
- N — la vitesse de rotation en tours par seconde;

- n — le nombre total de conducteurs périphériques de l'induit;
  - $\Phi$  — le flux émané d'un pôle en unités C. G. S.;
  - 2a — le nombre de circuits d'enroulement induit réunis en parallèle;
  - p — le nombre de paires de pôles;
  - $r_a$  — la résistance ohmique de l'induit en ohms;
  - $r_i$  — la résistance ohmique des inducteurs en ohms;
  - $R = r_a + r_i$  — la résistance totale du moteur en ohms;
  - I — l'intensité absorbée par le moteur en ampères,
- la force contre-électromotrice induite dans le moteur sera :

$$(1) \quad E = \frac{p}{a} n N \Phi 10^{-8} \text{ volts}$$

En général, dans les moteurs de traction, l'induit est bobiné en série et  $a = 1$ .

Si on fait intervenir la tension d'alimentation dans la relation (1), on obtient :

$$(2) \quad E = U - R I = \frac{p}{a} n N \Phi 10^{-8}$$

La vitesse de rotation est donnée par :

$$(3) \quad N = \frac{a}{p} \frac{E}{n \Phi} 10^8 = \frac{a}{p} \frac{U - R I}{n \Phi} 10^8$$

La chute de tension  $R I$  est faible et peut être négligée par rapport à  $U$  et la formule (3) devient alors :

$$(4) \quad N = \frac{a}{p} \frac{U}{n \Phi} 10^8$$

La relation (4) montre que 3 moyens peuvent être employés pour faire varier la vitesse  $N$  :

1° en faisant varier la tension d'alimentation  $U$  (en intercalant des résistances de démarrage ou en couplant les moteurs, soit en série, soit en parallèle);

2° en faisant varier le flux  $\Phi$  par shuntage des inducteurs;

3° en faisant varier le nombre de conducteurs périphériques de l'induit.

Cette dernière méthode de régulation de la vitesse n'offre qu'un intérêt théorique. Nous étudierons en détail ces différentes méthodes au paragraphe : « **Régulation de la marche des motrices** ».

Rappelons en outre que la puissance absorbée et la puissance utile sont données par :

$$(5) \quad P_a = U I;$$

$$(6) \quad P_u = P_a - \text{pertes} = P_a - R I^2 - p;$$

$$(7) \quad \text{avec } p = \underbrace{\text{frottement-ventilation}}_{B \Phi^{1,6} N} + \underbrace{\text{courants de Foucault}}_{D \Phi^2 N^2} + \underbrace{\text{hystérésis}}_{A N}$$

A, B et D étant des coefficients.

On considère encore dans les moteurs de traction :

1° la *puissance nominale* ou *puissance unihoraire*; c'est la puissance qu'un moteur, alimenté sous la tension normale, peut fournir pendant une heure, sans que l'échauffement dépasse  $75^\circ$  C, la température ambiante étant de  $25^\circ$  C;

2° la *puissance permanente* ou *puissance continue*; c'est la puissance qu'un moteur peut fournir dans les mêmes conditions que ci-dessus pendant 10 heures.

Le couple utile est donné par la formule :

$$(8) C_u = \frac{P_u}{2 \pi N} = \frac{UI - RI^2 - p}{2 \pi N} = \frac{EI - p}{2 \pi N}$$

Le rendement organique du moteur  $\eta_m$  et le rendement à la jante des roues  $\eta_r$  sont :

$$\eta_m = \frac{P_u}{P_a}$$

$$\eta_r = \frac{P_u - \text{pertes dans les organes de transmission}}{P_a}$$

Il est intéressant de connaître les différentes valeurs du couple utile, de la vitesse et du rendement organique d'un moteur donné, en fonction de l'intensité absorbée; à cet effet, on construit des courbes, dites *caractéristiques*, en portant en abscisse l'intensité et en ordonnée les différentes valeurs prises par le couple, la

pièces assemblées entre elles par axes et boulons. Elle présente généralement une forme octogonale avec coins arrondis. La carcasse en deux pièces, permet d'enlever l'induit d'un moteur, placé sur une voiture, sans être obligé de démonter le moteur lui-même; cet avantage est peu appréciable en réalité, car le démontage d'un moteur complet, placé sous une voiture, ne demande guère plus de temps que l'enlèvement de l'induit seul et le moteur étant démonté, il est plus aisé de profiter de l'enlèvement de l'induit pour vérifier l'état des enroulements inducteurs; de plus le démontage de l'induit en atelier, s'effectue dans des conditions de propreté beaucoup plus grandes que dans une fosse de visite, lorsque le moteur est resté sous la voiture.

En outre, le moteur avec carcasse en deux

pièces est moins étanche qu'un moteur avec carcasse en une seule pièce et le joint d'assemblage des deux demi-carasses peut, lorsque les boulons se desserrent, constituer un entrefer dans le circuit magnétique et provoquer le fonctionnement anormal du moteur. Ces diverses considérations montrent que le moteur avec carcasse en une seule pièce offre une supériorité sur le moteur constitué par deux demi-carasses assemblées et c'est pourquoi l'on a abandonné aujourd'hui la construction des carcasses en deux pièces.

La carcasse comporte, à sa partie supérieure, du côté collecteur, une trappe de visite permettant de vérifier ou nettoyer facilement le collecteur et de remplacer aisément les porte-balais ou les charbons. Venus de fonderie avec la carcasse, deux paliers permettent de fixer le moteur sur les essieux de la voiture; en outre, l'arbre de l'induit tourne dans deux paliers qui sont, soit solidaires de la carcasse, lorsque celle-ci est en deux pièces,

soit venus de fonderie avec les deux joues latérales, lorsque la carcasse est en une seule pièce.

A l'intérieur de la carcasse, sont fixées des masses polaires feuilletées supportant les bobines inductrices. Les premiers moteurs, qui étaient bipolaires, avaient une vitesse de rotation beaucoup trop grande; c'est pour avoir une vitesse plus faible que les moteurs actuels sont construits avec 4 et même 6 pôles inducteurs. En outre, certains moteurs comportent des pôles de commutation, qui sont constitués par des galettes montées sur des masses polaires plus petites, fixées entre les pôles inducteurs principaux.

Les inducteurs sont constitués par des bobinages, soit en barres rondes, soit en rubans de cuivre isolés et enroulés sur un gabarit; le bobinage terminé est imprégné à chaud et dans le vide avec un produit isolant. L'induit, qui était un anneau Gramme dans les premiers moteurs, est constitué actuellement par un bobinage en tambour, beaucoup plus simple de construction et beaucoup plus robuste.

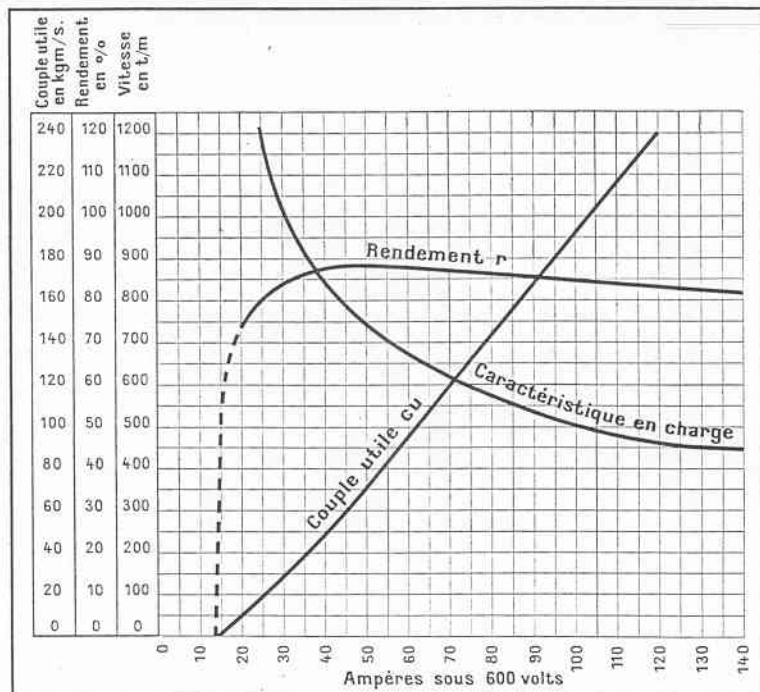


Fig. 341

vitesse et le rendement; en joignant les différents points ainsi déterminés entre eux on obtient des courbes dont la forme générale est représentée par la figure 341. Ces courbes montrent que, plus l'intensité absorbée est grande, plus la vitesse diminue et plus le couple augmente; au démarrage, c'est-à-dire pour une vitesse nulle, le courant absorbé est très grand et le couple est maximum.

Dans la construction des moteurs de traction, il faut concilier, autant que possible, un faible poids et une faible vitesse, ce qui nécessite une utilisation excellente des matériaux.

Le moteur étant généralement placé sous la voiture, à un emplacement malheureusement très accessible aux poussières et à la boue, il est nécessaire que la carcasse de celui-ci soit aussi étanche que possible, afin de protéger la partie électrique (induit, inducteurs, collecteur) contre les souillures; c'est pourquoi le moteur blindé est le type le plus couramment adopté.

La carcasse, en acier moulé magnétique, est construite, soit en une seule pièce, soit en deux

Le graissage des paliers d'essieux et d'induit est assuré généralement par des tampons en laine, munis de mèches trempant dans les réservoirs d'huile des paliers; à cet effet, les paliers sont munis à leur partie inférieure de réservoirs venus de fonderie, recueillant l'huile sortant des coussinets; un robinet de vidange permet de vider les réservoirs pour remplacer périodiquement le lubrifiant.

L'arbre d'induit est généralement monté sur roulements à billes ou à rouleaux, mais aussi, dans certains cas, sur paliers à bagues. Le graissage par bagues, que de nombreuses administrations préfèrent, n'est toutefois pas à recommander pour un service de tramways, car il est difficile de maintenir la pureté de l'huile de graissage; la poussière fine des routes, ainsi que les impuretés pouvant provenir du carter d'engrenage peuvent être, en effet, entraînées par les bagues et occasionner une usure rapide des coussinets; le système de graissage par bague ne peut être employé avantageusement que lorsqu'il s'agit de gros moteurs de locomotives, pour l'installation desquels on dispose en général d'un espace suffisant et pour lesquels il est possible de prendre toutes les mesures nécessaires pour éviter l'introduction d'impuretés dans l'huile de graissage. Les roulements à billes augmentent sensiblement le prix du moteur et demandent un soin particulier lors de la mise en place ou de l'enlèvement de l'induit.

Pour permettre d'obtenir, à poids égal, une puissance horaire plus élevée, on construit des moteurs ventilés; ces moteurs comportent à cet effet un ou plusieurs ventilateurs fixés sur l'arbre de l'induit à l'intérieur de la carcasse; pour que la ventilation soit efficace, il faut qu'elle agisse sur le rotor, le collecteur et les enroulements inducteurs, de façon qu'en service normal ces différentes parties subissent un échauffement à peu près semblable. Le passage de l'air, soit uniquement le long du rotor et du collecteur entre les bobines de champ, soit seulement à l'intérieur du rotor et du collecteur se réalise facilement au point de vue constructif, mais l'expérience a montré que ce mode de ventilation ne satisfait pas à la condition énoncée ci-dessus; leur application simultanée ne peut de même suffire à un refroidissement homogène, car l'air se réchauffant durant son parcours, une partie du moteur recevra de l'air froid, tandis que d'autres sont encore parcourues par de l'air plus ou moins chaud. Le refroidissement de beaucoup le plus favorable sera obtenu par l'emploi simultané de deux courants d'air au lieu d'un, de façon que les enroulements de champ, aussi bien que l'intérieur du rotor et du collecteur, soient parcourus par de l'air froid. Quoique cette méthode donne lieu à une construction quelque peu compliquée, elle doit cependant avoir la préférence.

Il est de toute importance que les dispositions soient telles que l'introduction de poussières, d'eau ou de neige dans le moteur soit empêchée, sans pour cela porter préjudice au refroidissement. On a tout d'abord conservé le type de moteur complètement fermé, mais la ventilation était illusoire, car l'air circulant constamment à l'intérieur du moteur sans être renouvelé emmagasinait la chaleur. Il est donc nécessaire de ménager des ouvertures pour l'apport d'air

frais et l'évacuation de l'air chaud; mais, dans ce cas, le moteur n'est plus totalement à l'abri des poussières; il sera donc peu approprié pour un service le long d'une route poussiéreuse ou dans les contrées où la neige tombe en abondance; au contraire, ces moteurs peuvent être utilisés avantageusement, aussi bien pour les lignes à plateforme indépendante que pour celles des tramways urbains.

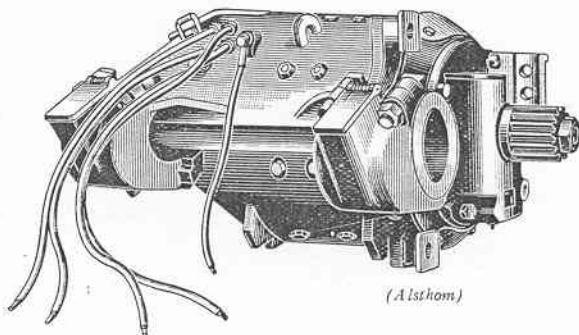


Fig. 342 — Moteur TH 523.

Lorsque le refroidissement est normal, la puissance continue d'un moteur ventilé peut atteindre 80 % de la puissance horaire, tandis que dans un moteur non ventilé elle ne dépasse pas 40 % de cette même puissance.

Il y a lieu de remarquer que dans un service de tramways par exemple, où les démarrages sont très fréquents, les moteurs ventilés ne doivent pas être choisis trop justes, car, d'une part la ventilation ne se fait d'une façon normale que lorsque le moteur est en pleine vitesse et, d'autre part, la quantité de chaleur admise par suite du fort courant de démarrage est considérable. On a souvent négligé plus ou moins cette dernière cause et les échauffements exagérés étaient attribués à la ventilation insuffisante; pourtant, dans de nombreux cas, ces échauffements proviennent

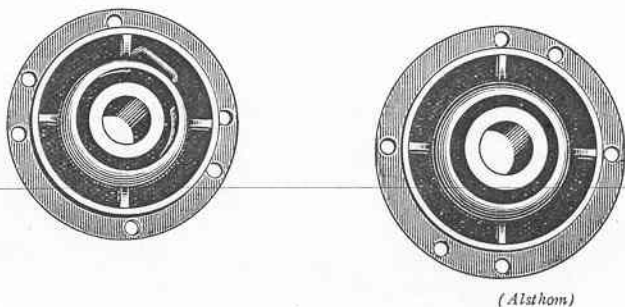


Fig. 343 — Moteur TH 523 — Flasques.

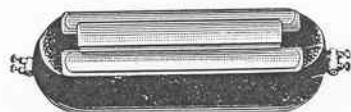
uniquement du moteur qui était choisi de puissance insuffisante.

Les moteurs ventilés sont avantageux lorsque l'écartement de la voie et le diamètre des roues motrices ne laissent que peu de place pour les moteurs et où il serait impossible d'installer un moteur non ventilé pour la puissance continue exigée. L'application de ces moteurs est en particulier très avantageuse pour les lignes à voies normales; pour les lignes à voies étroites,

au contraire, il sera souvent nécessaire de prévoir de plus grandes roues motrices, car la perte en largeur de fer efficace résultant de l'installation du ventilateur est proportionnellement beaucoup plus forte que pour la voie normale; cette perte doit souvent être compensée par l'augmentation du diamètre du rotor.

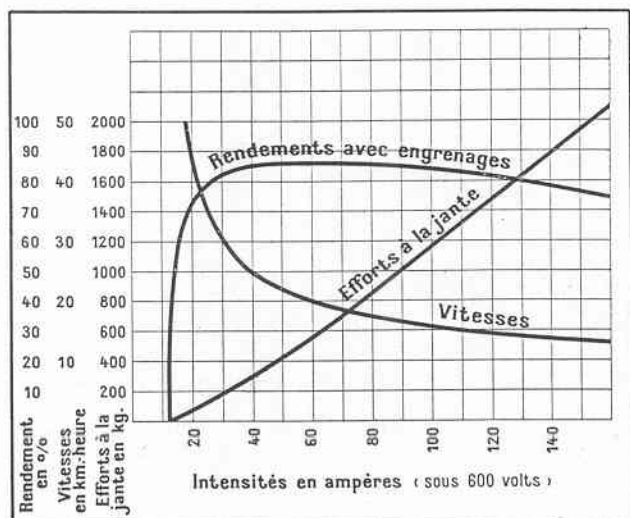
La figure 342 représente un moteur type TH 523 de 60 ch. utilisé par la S.T.C.R.P. sur quelques-unes de ses voitures; ce moteur comporte une carcasse en acier moulé magnétique et fondue en une seule pièce; elle est ouverte à chaque extrémité pour le passage de l'induit; ces deux ouvertures sont alésées pour recevoir les flasques comportant les paliers d'induit (fig. 343). Le moteur TH 523 comporte des pôles de commutation (fig. 344) donnant une grande capacité de surcharge, un fonctionnement sans étincelles au collecteur et par suite une très grande diminution de l'usure de celui-ci et des balais.

A la tension d'alimentation de 600 V, ce moteur développe une puissance de 60 ch pendant une heure, sans qu'aucune de ses parties

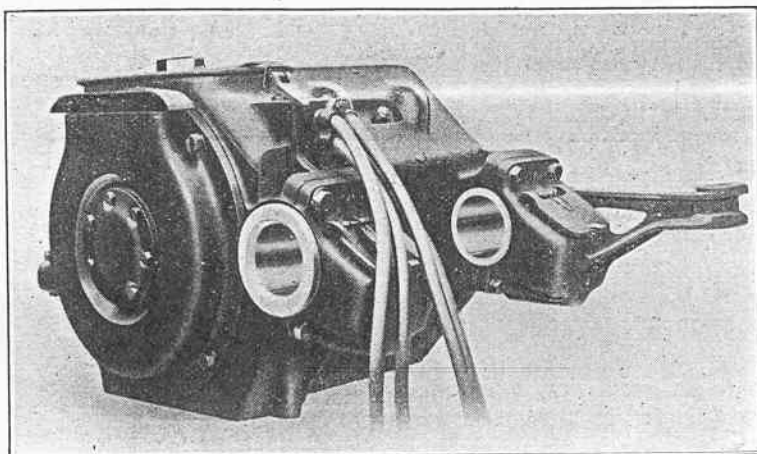


(Alsthom)  
Fig. 344 — Moteur TH 523  
Pôle de commutation.

n'atteigne une température supérieure à 75° C.; sa vitesse de régime en pleine charge est de 485 t/m; les courbes caractéristiques pour une tension de 600 V sont données par la figure 345; le poids du moteur seul est d'environ 1 230 kg.

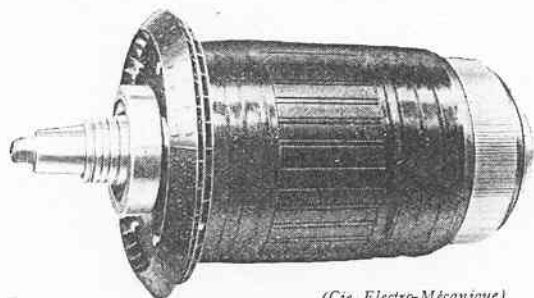


(Alsthom)  
Fig. 345 — Moteur TH 523 — Caractéristiques



(Cie Electro-Mecanique)  
Fig. 346 — Moteur HV 184.

Les figures 346 et 347 représentent un moteur type HV 184 pour courant continu 600 V ayant les mêmes dispositions que le moteur TH 523;



(Cie Electro-Mécanique)  
Fig. 347 — Moteur HV 184 — Induit.

l'induit du moteur HV 184 comporte, côté pignon, un ventilateur double qui aspire l'air à l'extérieur par des orifices grillagés ménagés à la partie supérieure des deux joues-paliers et le renvoie dans l'atmosphère par une ouverture pratiquée dans la carcasse au-dessous du collecteur; cette ouverture est munie de chicanes pour empêcher l'introduction de corps étrangers dans le moteur; le schéma de la circulation d'air réalisée est donné par la figure 348. On voit, sur ce schéma, que l'air aspiré du côté collecteur traverse l'induit; il se mêle ensuite à l'air frais aspiré côté pignon et l'ensemble refroidit les pôles inducteurs, puis le collecteur, entraînant les poussières de charbon à l'extérieur.

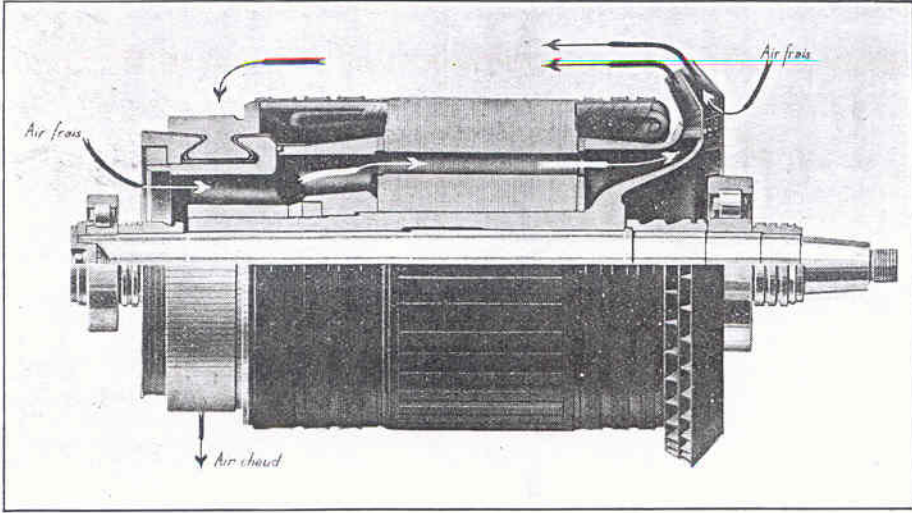
Les figures 349, 350 et 351 représentent un moteur TH 574 construit par la Société Alsthom; ce moteur est un moteur série auto-ventilé; il développe, sous 600 V, une puissance unitaire de 62 ch avec une vitesse de 650 t/m et une puissance continue de 42 ch avec une vitesse de 730 t/m.

La figure 350 représente le moteur vu côté pignon, le couvercle du palier étant enlevé pour montrer les roulements à rouleaux.

**Régulation de la marche des motrices.** —

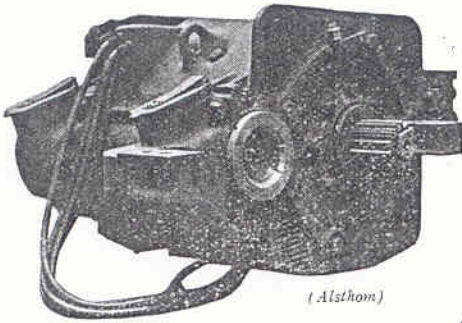
Nous avons vu que pour faire varier la vitesse d'un moteur, on pouvait agir, soit sur la ten-

*Contrôle rhéostatique.* — Cette méthode consiste à intercaler dans le circuit du moteur (fig. 352) une résistance variable R pouvant



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 348 — Moteur HV 184 — Coupe longitudinale montrant la circulation de l'air.



(Alsthom)

Fig. 349 — Moteur TH 574.

sion d'alimentation, soit sur le flux inducteur; à cet effet, on emploie les méthodes suivantes :

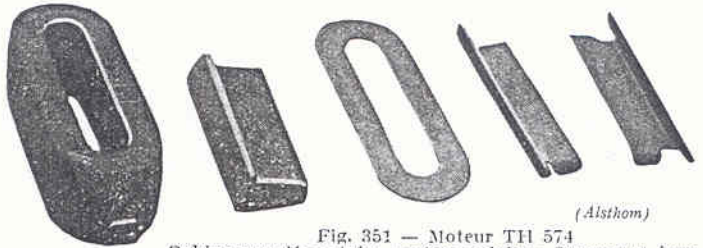
- 1° contrôle rhéostatique;
- 2° contrôle série-parallèle;
- 3° variation du flux inducteur.

supporter un échauffement momentané assez élevé.

Nous savons, que si nous appelons :

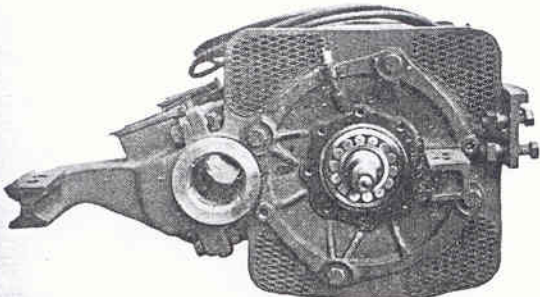
- I, le courant total absorbé par le moteur;
- U, la tension d'alimentation;
- u, la tension aux bornes de l'induit;
- $r_a$ , la résistance de l'induit;
- $r_i$ , la résistance des inducteurs;
- R, la résistance de démarrage;

nous avons :  $u = U - (R + r_i) I$ .



(Alsthom)

Fig. 351 — Moteur TH 574  
Bobine supplémentaire, masses polaires, flasques et joue.



(Alsthom)

Fig. 350 — Moteur TH 574.

Vue côté pignon couvercle du palier enlevé pour montrer les roulements à rouleaux.

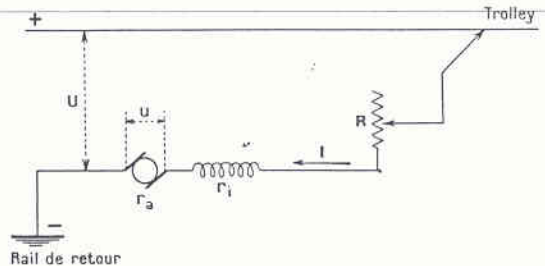


Fig. 352

Ce qui montre que, plus la valeur de la résistance R est élevée, plus la tension u aux bornes de l'induit est faible et par conséquent plus la vitesse est faible.

En pratique, la variation de cette résistance est obtenue à l'aide d'un appareil appelé *contrôleur*. Pour la description détaillée de

*Contrôle série parallèle.* — Lorsque la motrice comporte au moins 2 moteurs semblables, on branche ces moteurs, soit en série, soit en

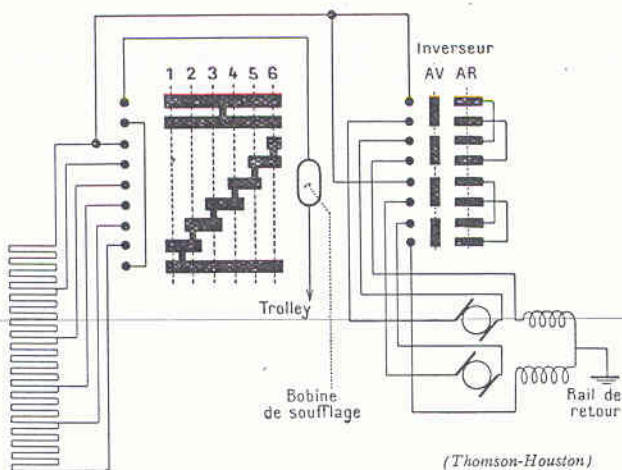


Fig. 353.

Schéma d'un branchement d'un contrôleur rhéostatique type R.

cet appareil, nous renvoyons le lecteur au N° 123.

La résistance est constituée par des éléments en fonte, appelés *grilles*, juxtaposés et mis en série.

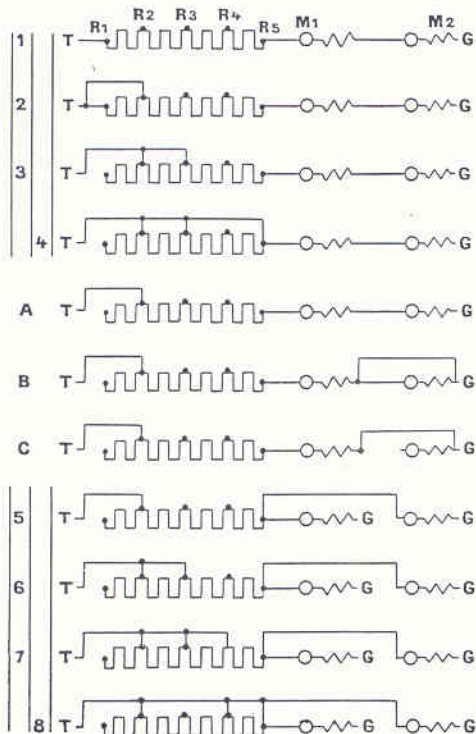


Fig. 354

Le contrôleur rhéostatique court-circuite chaque élément de résistance, jusqu'à court-circuiter complet de celle-ci.

La figure 353 représente le schéma d'un contrôleur rhéostatique type R. Thomson-Houston pour 2 moteurs.

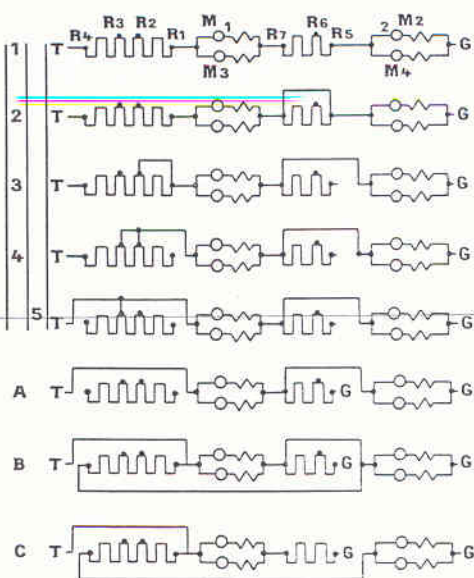


Fig. 355

parallèle de façon à les mettre sous la moitié ou sous la totalité de la tension d'alimentation; on obtient ainsi 2 vitesses de régime, l'une étant approximativement moitié de l'autre; pour obtenir un plus grand nombre de vitesses, on

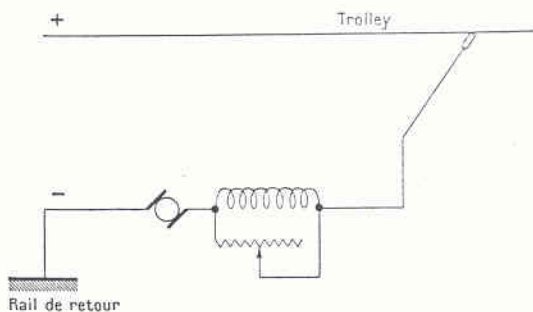
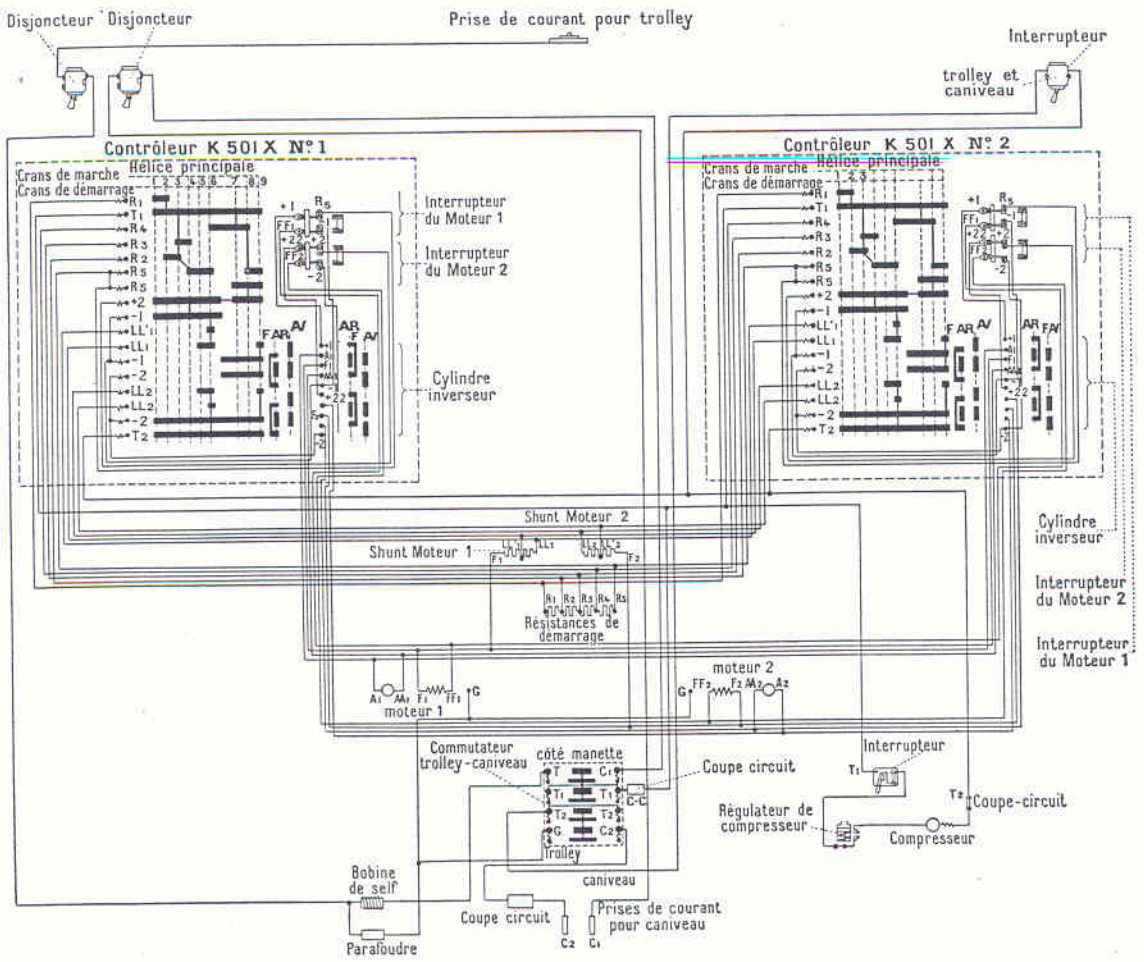


Fig. 356

ajoute une résistance variable dans le circuit des moteurs et on court-circuite progressivement chaque tronçon de résistance. Ces différentes manœuvres sont effectuées par un contrôleur, dit *contrôleur série-parallèle*, qui effectue celles-ci dans l'ordre suivant:



Développement des connexions

Démarrage en série

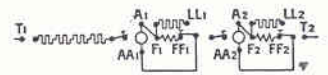
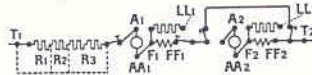
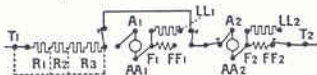
Transition entre série et parallèle

Démarrage en parallèle



Démarrage avec moteur 1 hors circuit. Démarrage avec moteur 2 hors circuit

Freinage de secours



(Thomson Houston)

Fig. 357 — Equipement à deux moteurs et contrôleurs K 501 X avec shuntage et frein de secours.

- 1° démarrage des 2 moteurs en série avec totalité des résistances;
- 2° mise en court-circuit progressive des résistances;
- 3° mise en parallèle des 2 moteurs avec résistances en série;
- 4° mise en court-circuit progressive des résistances.

Dans les premiers contrôleurs série-parallèle, pour passer du couplage série au couplage parallèle, on coupait le circuit des moteurs, ce qui avait le défaut de supprimer l'effort de traction pendant le temps du changement de couplage et de produire par suite des à-coups au véhicule.

Un deuxième dispositif consiste à mettre en court-circuit l'un des moteurs, puis à le décon-

necter et le mettre en parallèle sur l'autre; c'est la méthode du court-circuit dont le schéma (fig. 354) montre les différentes connexions réalisées par le contrôleur. Cette méthode permet de passer de l'un des couplages à l'autre sans supprimer complètement l'effort de traction, mais il a encore l'inconvénient de provoquer quelques à-coups à la transition série-parallèle.

Une troisième méthode, dite *méthode du pont*, a été imaginée; elle permet de passer du couplage série, au couplage parallèle sans couper le courant des moteurs; la figure 355 montre les connexions établies par le contrôleur.

Lorsque les voitures comportent 4 moteurs, on peut effectuer les combinaisons suivantes:

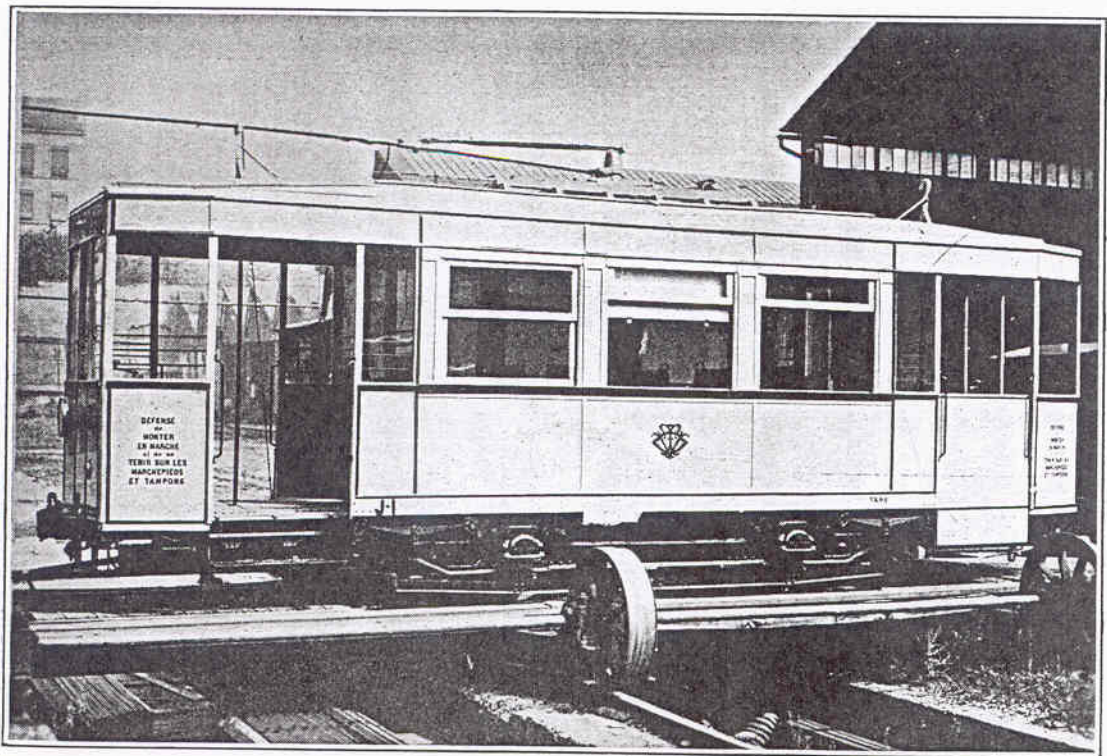
1° mise en série des 4 moteurs;

Deux dispositifs sont employés à cet effet:

a) variation du nombre de spires inductrices.

Dans le système Van de Poële ou méthode de la boucle, les inducteurs comportent un certain nombre de prises permettant de supprimer progressivement des spires inductrices; il a l'inconvénient de mal utiliser le cuivre des enroulements inducteurs. Dans le système Reckenzaun ou méthode par commutation des bobines de champ, l'inducteur est divisé en galettes indépendantes que l'on groupe en série, en parallèle ou en série-parallèle.

Ces méthodes de variation du nombre de spires inductrices sont peu employées, étant



(Forges et Ateliers de Constructions Electriques de Jeumont)  
Fig. 358 — Automotrice de la Compagnie des Tramways de l'Ouest-Varois.

2° mise en parallèle de 2 groupes de 2 moteurs en série;

3° mise en parallèle des 4 moteurs.

En général, on se contente de 2 combinaisons en mettant soit en série, soit en parallèle deux groupes de 2 moteurs en parallèle.

*Shuntage des inducteurs.* — Les méthodes précédentes, contrôle rhéostatique et contrôle série parallèle, permettent de faire varier la vitesse de régime des moteurs, la vitesse maximum étant atteinte lorsque les moteurs sont branchés en parallèle directement sous la tension d'alimentation; si l'on veut obtenir une vitesse plus grande que la vitesse maximum ci-dessus, on est alors obligé d'avoir recours à la méthode de variation du flux inducteur.

donné la complication qu'elles entraînent dans l'équipement et dans les contrôleurs.

b) Shuntage des enroulements inducteurs par résistances.

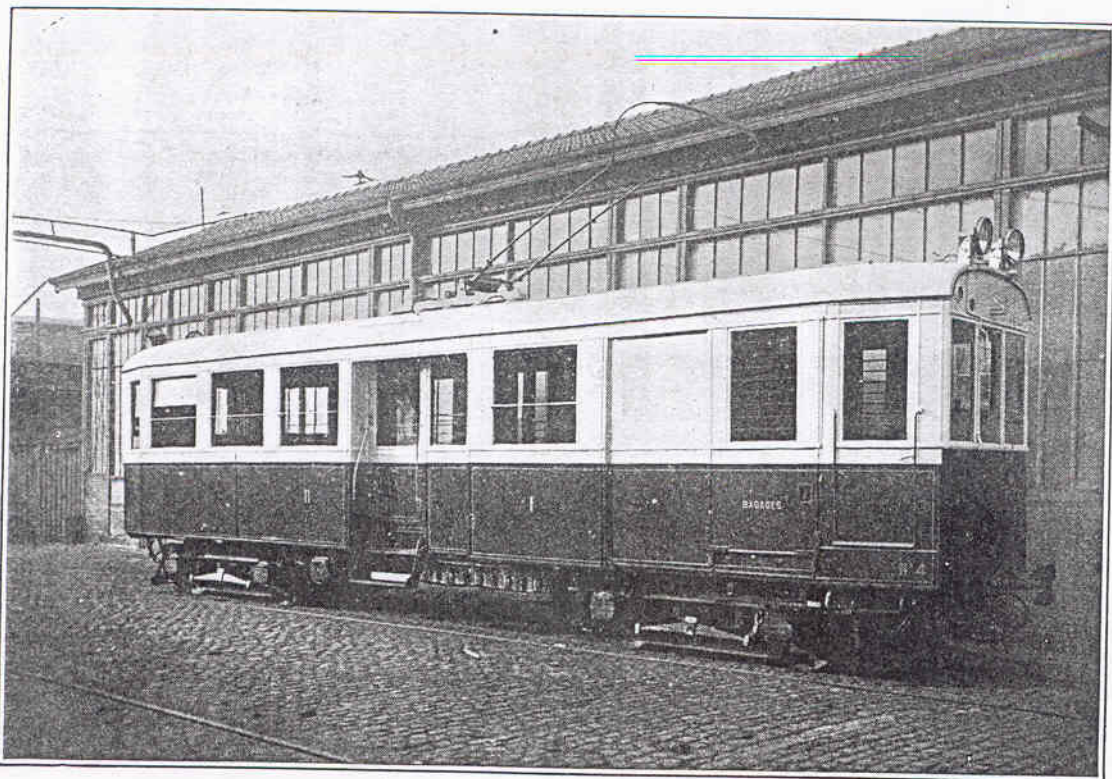
Ce procédé est le plus couramment adopté; il consiste à brancher, en parallèle sur les inducteurs, une résistance variable formant shunt (fig. 356) de manière à dériver une plus ou moins grande partie du courant inducteur; le nombre d'ampère-tours des inducteurs et par suite le flux inducteur, se trouve donc modifié.

Le schéma de la figure 357 représente l'équipement d'une voiture avec contrôleurs K 501 X Thomson-Houston, utilisant le shuntage des inducteurs.



Nous avons vu ci-dessus les dispositifs qui sont utilisés pour faire varier la vitesse de régime des moteurs d'une voiture; ces différents

de Bellegarde à Chézery; elle comporte deux moteurs de traction cuirassés de 60 ch, 525 t/m fonctionnant sous une tension de 600 V.



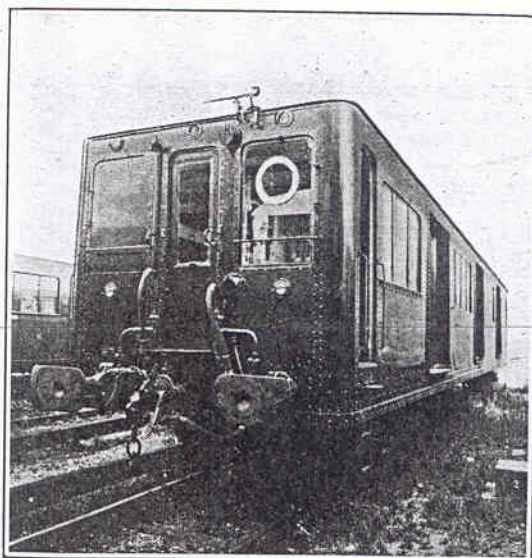
(Forges et Ateliers de Constructions Electriques de Jeumont)

Fig. 359 — Automotrice des Chemins de fer de Bellegarde à Chézery.

systèmes de régulation sont appliqués sur les tramways, qui comportent généralement deux essieux moteurs, avec un moteur sur chacun d'eux. Un contrôleur est disposé sur chaque plateforme extrême de la voiture qui circule généralement seule ou au plus avec une remorque. Dans les Chemins de fer métropolitains, au contraire, les trains sont composés d'un certain nombre de voitures et, étant donné le poids important des rames et la grande accélération imposée, il y a lieu de répartir les essieux moteurs sur la longueur du train; la commande des moteurs devient donc plus compliquée et le système par contrôleur ne peut plus convenir; on a recours alors aux systèmes de traction par unités multiples qui seront étudiés au paragraphe V.

De plus, différents systèmes sont employés actuellement en vue de la récupération de l'énergie, soit dans les déclivités, soit au cours du freinage; l'étude de ces dispositifs en est faite au paragraphe VI de ce tome.

La figure 358 représente une des automotrices pour voie de 1,44 m de la Compagnie des Tramways Electriques de l'Ouest-Varois; cette automotrice semi-métallique, sur truck double suspension, comporte deux moteurs de traction auto-ventilés d'une puissance unitaire de 40 ch fonctionnant sous une tension continue de 550 V. La figure 359 représente une automotrice à bogies pour voie normale des chemins de fer



(Forges et Ateliers de Constr. Electr. de Jeumont)

Fig. 360 — Automotrice des chemins de fer de l'Etat.

La figure 360 représente une automotrice des Chemins de fer de l'Etat pour courant continu 650 V comportant 4 moteurs de 165 ch chacun.

**114. TRACTION PAR COURANT CONTINU HAUTE TENSION.** — La traction par courant continu ne pouvait être utilisée pour la grande traction qu'en augmentant la portée de la distribution par le choix de tensions élevées. Quelques essais de traction par courant

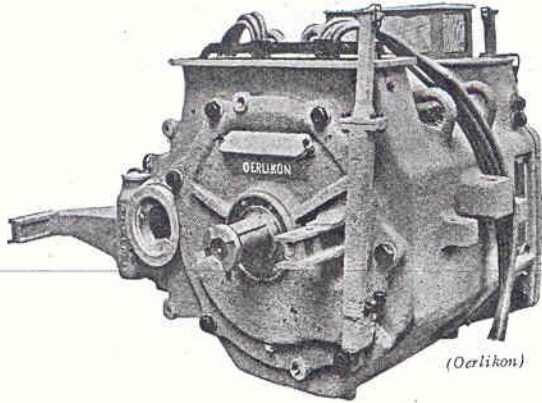


Fig. 361 — Moteur de traction type TM 3301.

continu haute tension, avaient été effectués, en particulier, en France en 1903 sur la ligne de Saint-Georges-Commiers à la Mure, qui est à 3 fils avec fil neutre à la terre et 2 400 V entre fils extrêmes; mais l'électrification la plus considérable date de 1915, époque à laquelle fut mise en service la ligne à 3 000 V du Chicago-Milwaukee et St Paul Railroad. En Amérique, à partir de 1918 les progrès de la traction par courant continu haute tension furent rapides; la France adopta la tension de 1 500 V et plus tard, l'Italie utilisa le courant continu 3 000 V pour l'électrification de ses lignes principales et secondaires; les chemins de fer de l'Algérie et du Maroc ont été électrifiés en courant continu 3 000 V.

**Moteurs de traction à courant continu haute tension.** — L'emploi du courant continu haute tension nécessite un soin particulier dans la construction des moteurs; la technique ayant fait d'ailleurs à ce sujet des progrès importants depuis un certain nombre d'années, la construction d'un moteur continu 1 500 V n'offre plus de difficulté à l'heure actuelle. Avec le continu 3 000 V, les moteurs de traction sont construits pour une tension de 1 500 V et groupés en permanence par 2 en série, malgré la possibilité de construire des moteurs 3 000 V, puisque les moteurs auxiliaires des locomotives (ventilateurs, compresseurs) fonctionnent sous cette tension avec un seul collecteur. Il y a d'ailleurs lieu de remarquer que dans la traction à 3 000 V, les moteurs 1 500 V, groupés par deux en série, peuvent dans certains cas être sous une tension bien supérieure à 1 500 V, lors du patinage d'un essieu par

exemple; dans ce cas, la tension de la ligne se répartit entre les 2 moteurs en raison directe de leurs vitesses; de même pendant la récupération, une surtension peut se produire. L'emploi des moteurs à 3 000 V n'a pas été retenu, non par suite de difficulté de construction, mais parce que l'emploi de 2 moteurs 1 500 V en série permet d'obtenir toute la gamme de vitesses nécessaire.

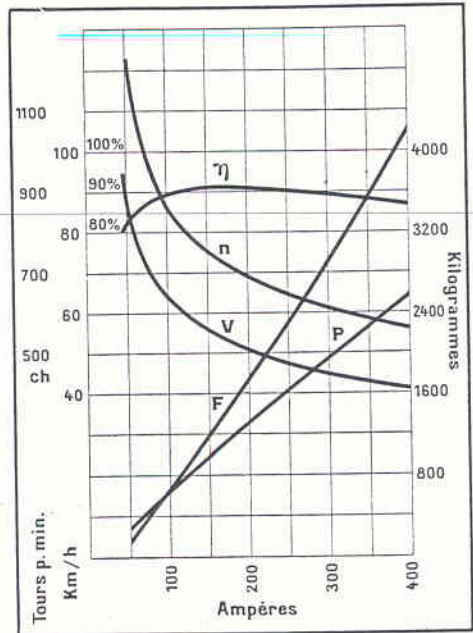


Fig. 362  
Moteur TM 3301 — Caractéristiques.

Les moteurs employés sont, soit à suspension par le nez, soit à suspension indépendante, soit jumelés. La puissance unihoraire des moteurs à suspension par le nez ne dépasse pas 500 ch, celle des moteurs à suspension indépendante atteint 1 100 ch sur les locomotives 2 D 2 de la Compagnie d'Orléans; enfin, les moteurs

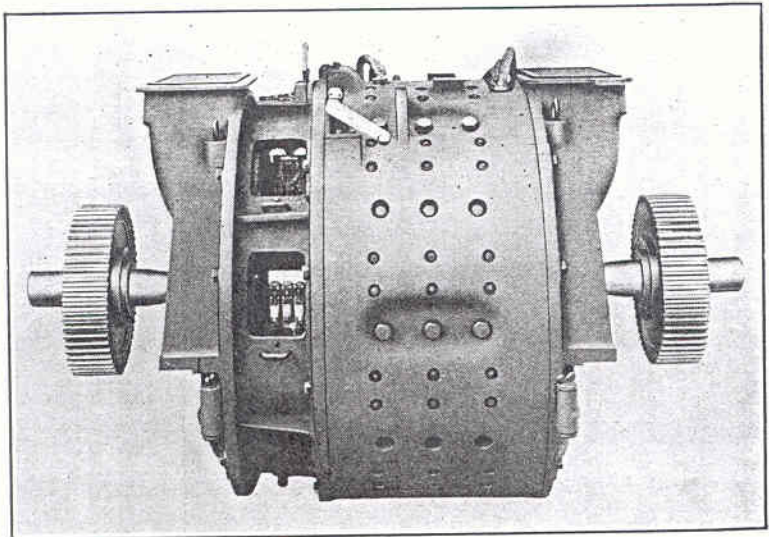
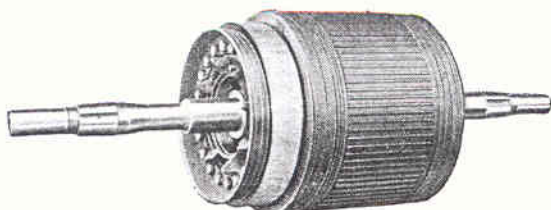


Fig. 363 — Moteur GLM 85/6.

(Cie Electro-Mécanique)

jumelés permettent d'obtenir une puissance élevée par essieu-moteur, tout en réduisant les dimensions d'encombrement.

L'autoventilation des moteurs devient insuffisante sur les locomotives et l'on a recours à la ventilation forcée; cette dernière permet d'augmenter la puissance spécifique des moteurs de 10 à 40 % suivant le poids du moteur et le régime considéré. Les moteurs sont à 4, 6 ou 8 pôles et comportent toujours des pôles de commutation. L'isolement intérieur des moteurs est particulièrement soigné et réalisé avec des

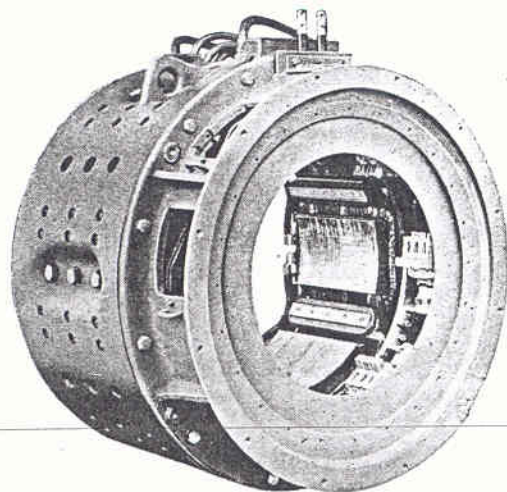


(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 364 — Moteur GLM 85/6 — Rotor

matériaux incombustibles (mica pour l'induit; mica et amiante pour les inducteurs); ceci permet d'obtenir des échauffements pouvant atteindre 120° C et d'augmenter de ce fait la puissance spécifique de 10 à 20 %.

Comme type de moteur à suspension par le nez, nous citerons le moteur type TM 3301, construit par les ateliers Oerlikon et employés sur les locomotives EBB de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Orléans; la figure 361



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 365 — Moteur GLM 85/6 — Stator

représente un moteur de ce type et la figure 362 ses caractéristiques relevées en plateforme. La puissance unihoraire du moteur TM 3301 est de 430 ch à la jante; le refroidissement est obtenu par ventilation forcée; les paliers d'induit sont à graissage à bagues avec coussinets en bronze régulé; ils ne comportent que 2 lignes de balais.

Le moteur type G. L. M. 85/6, représenté par la figure 363, à suspension individuelle et en service sur les locomotives type 2 D 2 de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Or-

léans, comporte une ventilation double assurée, d'une part, par auto-ventilation à l'aide d'un ventilateur calé sur l'arbre de l'induit et, d'autre part, par ventilation forcée à l'aide d'un ventilateur extérieur. Ce moteur comporte 6 pôles et possède des pôles de commutation; l'enroulement du rotor est maintenu par des clavettes en bois et de forts frettages; les conducteurs sont isolés au mica. Le courant est amené à l'aide de 18 balais en charbon, ayant chacun une section de 35 x 30 mm. La figure 364 montre le rotor du



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 366 — Moteur GLM 85/6 Stator avec enroulements de compensation.

moteur G. L. M. 85/6 et les figures 365 et 366 le stator de ce même moteur; on remarquera sur la figure 366 les enroulements de compensation; ce type de stator est celui qui a été utilisé sur les locomotives E 502 de la compagnie des Chemins de fer de Paris à Orléans (les moteurs de la locomotive E 501 de la même compagnie ne comportent pas d'enroulements de compensa-

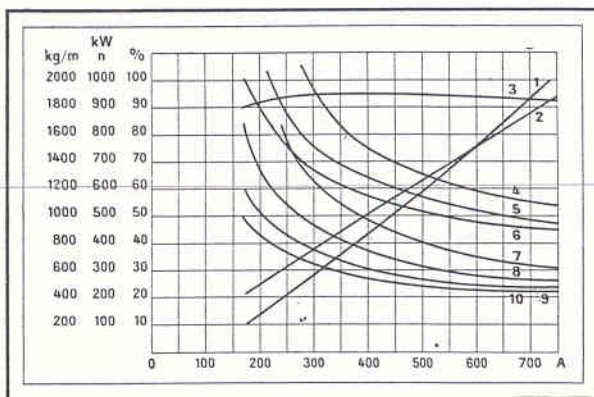
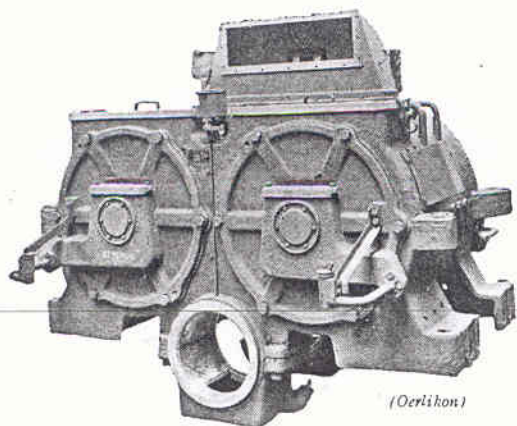


Fig. 367 — Moteur GLM 85/6 — Caractéristiques.

1. Couple en kgm.
2. Puissance en kW, 1350 V
3. Rendement en %.
4. Vitesse du moteur 1350 V 14 spires.
5. Vitesse du moteur 1350 V 18 spires.
6. Vitesse du moteur 1350 V 23 spires.
7. Vitesse du moteur 675 V 10 spires.
8. Vitesse du moteur 675 V 14 spires.
9. Vitesse du moteur 675 V 18 spires.
10. Vitesse du moteur 675 V 23 spires.

tion). Le moteur type G. L. M. 85/6, dont les caractéristiques sont représentées sur la figure 367, peut développer sur l'arbre une puissance continue de 790 ch pour une tension de 1 350 V, une



(Oerlikon)

Fig. 368 — Moteur jumelé.

intensité de 460 A et une vitesse de 540 t/m; la puissance horaire est de 950 ch pour la même tension, une intensité de 560 A et une vitesse de 500 t/m.

La figure 368 représente un moteur type double, à ventilation forcée, en service sur les locomotives 262 A E de la Compagnie des

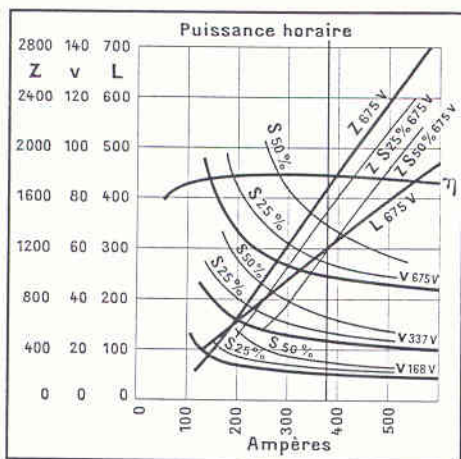


Fig. 369 — Moteur jumelé — Caractéristiques.

- Z = Efforts de traction en kg à la jante.
- L = Puissance en ch à la jante.
- V = Vitesse en km/h.
- S = Rendement total en %.

Chemins de fer du P. L. M.; la puissance unihoraire du moteur est de  $2 \times 300$  ch pour la tension normale; la figure 369 représente ses caractéristiques.

**Régulation de la marche des motrices. —**

La régulation de la vitesse s'obtient par les mêmes procédés que ceux utilisés en courant continu basse tension: contrôle rhéostatique, contrôle série-parallèle, variation du nombre de spires des inducteurs et shuntage de ceux-ci. Les différentes combinaisons de couplage et l'inversion du sens de marche sont obtenus à

l'aide de contacteurs, commandés à distance par commande, soit électropneumatique, soit par arbre à cames entraîné par servo-moteur électropneumatique ou électrique, soit électromagnétique.

Nous n'entrerons pas dans le détail de ces divers systèmes que nous retrouverons à propos des commandes par unités multiples; signalons toutefois que l'on emploie souvent autant d'inverseurs de sens de marche que de moteurs ou de groupes de moteurs; ces inverseurs sont installés immédiatement près des moteurs, afin d'éviter des câblages inutiles.

**115. LES LOCOMOTIVES 262 AE 1 à 4 DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU P. L. M. —**

Ces locomotives (fig. 370), construites par la Société Oerlikon et la Société de Construction des Batignolles, sont destinées à remorquer les trains express; elles ont été mises en service sur la ligne du Mont-Cenis en 1929; leurs caractéristiques principales sont les suivantes:

Type .....	2 Co Co 2
Puissance horaire à la roue sous 1 500 V.....	5 400 ch
Effort de traction à la roue sous 1 500 V.....	18 200 kg
Vitesse sous 1 500 V .....	80 km/h
Puissance continue à la roue sous 1 350 V.....	3 750 ch
Effort de traction à la roue sous 1 350 V.....	13 020 kg
Vitesse sous 1 350 V .....	78,5 km/h
Vitesse maximum .....	130 km/h
Effort de traction maximum....	36 000 kg
Longueur hors tout .....	23,80 m
Empattement total .....	20,80 m
Empattement fixe .....	4,60 m
Empattement des bogies porteurs .....	2,10 m
Distance des pivots des bogies ...	15,28 m
Hauteur de la locomotive .....	4,275 m
Largeur de la locomotive .....	2,916 m
Diamètre des roues motrices ...	1,60 m
Diamètre des roues porteuses ...	1,01 m
Rapport de transmission .....	1/3,185
Poids de la partie mécanique ...	103,6 t
Poids de l'équipement électrique ..	53,7 t
Sable, accessoires, personnel ...	1,7 t
Poids total en ordre de marche ..	159 t
Poids adhérent .....	108 t

La caisse, en une seule pièce, repose sur 2 bogies par des pivots sphériques et des supports latéraux; les 2 châssis contiennent chacun 3 essieux avec leurs moteurs jumelés du type décrit au N° 114 (fig. 368 et 369); le couple moteur est transmis aux essieux par train d'engrenages avec accouplement à bielles élastiques système Oerlikon (Voir paragraphe V, N° 124); les 2 châssis sont accouplés au moyen d'une articulation à rotule, de sorte que la caisse n'a aucun effort de traction à supporter. La caisse se compose d'un compartiment central et de 2 couloirs latéraux mettant en communication les 2 cabines de mécanicien extrêmes; le compartiment central renferme l'appareillage électrique, fixé ainsi que les canaux pour les câbles, sur un plancher en tôle surélevé, limité latéralement par 2 longerons atteignant presque la hauteur de la caisse; les couloirs latéraux sont disposés entre ces longerons et les parois latérales de la locomotive; quinze ouvertures ovales ont été ménagées dans chacun des longerons pour donner accès aux appareils. Dans l'un des couloirs latéraux reliant normalement les 2 ca-

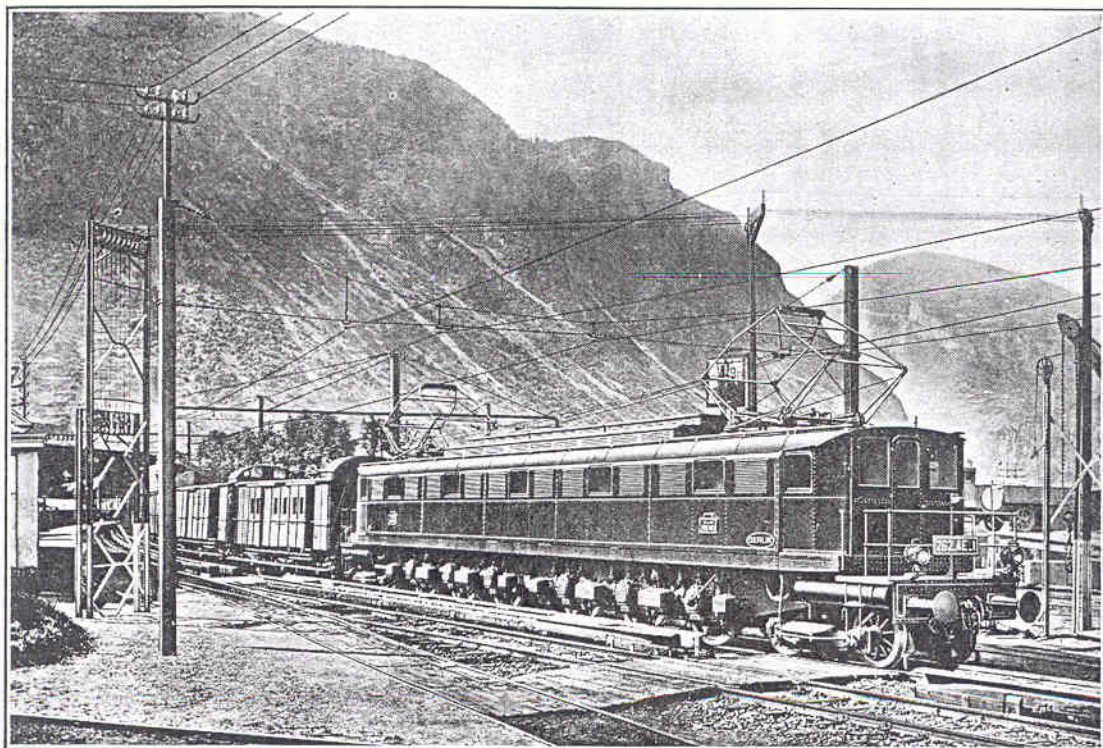


Fig. 370 — Locomotive 262 A E 1-4

(Oerlikon)

binés de mécanicien, on a rendu accessible tout l'appareillage ne présentant aucun danger tel que tableaux de relais, tableau de recharge des accumulateurs, ventilateurs, etc.

L'autre couloir latéral est fermé par deux portes qui sont verrouillées et ne peuvent être ouvertes qu'après coupure du courant, les interrupteurs principaux étant ouverts et les pantographes abaissés; c'est par ce couloir que l'on a accès aux appareils à haute tension.

Le courant peut être capté, soit à l'aide de 2 pantographes articulés, soit par 4 frotteurs placés de chaque côté de la locomotive. Les moteurs jumelés au nombre de 6 permettent les combinaisons de couplage suivantes :

Couplage série :

12 induits en série.

Couplage série parallèle :

6 induits en série.

2 groupes en parallèle.

Couplage parallèle série :

4 induits en série.

3 groupes en parallèle.

Couplage en parallèle :

3 induits en série.

4 groupes en parallèle.

En outre en dernière position de chaque groupement on peut réduire le champ inducteur à 70 % et à 55 %, ce qui donne en totalité 12 vitesses économiques.

Les résistances de démarrage sont montées dans un lanterneau situé sur la locomotive et sont refroidies naturellement par l'air. Les différents contacteurs, interrupteurs, appareils de couplage sont à commande électropneumatique.

Les interrupteurs principaux ont été disposés par 2 en série de façon à obtenir une plus grande sécurité de coupure. Les inverseurs des moteurs sont également à commande électropneumatique et servent à éliminer un ou plusieurs groupes de moteurs en cas d'avarie. La disposition des appareils a été réalisée de telle sorte que tout l'appareillage peut être divisé en 2 parties permettant, en cas d'incident à un appareil quelconque, d'utiliser l'une ou l'autre de ces parties seulement pour marcher à vitesse réduite.

La protection contre les surcharges inadmissibles comporte :

1 relais à maximum d'intensité pour le courant total de la locomotive;

1 relais à maximum d'intensité dans chaque circuit moteur;

1 relais à tension nulle;

1 relais de surtension.

Les circuits auxiliaires de la locomotive comprennent : 2 groupes ventilateurs pour les moteurs de traction; 2 groupes compresseurs comprimant chacun sous une pression de 8 atmosphères 1 450 litres d'air aspiré à la minute.

Ces groupes et le chauffage des cabines de manœuvre sont alimentés par des contacteurs à commande électromagnétique branchés sur la ligne de contact; ces circuits auxiliaires sont protégés par des coupe-circuits à cartouches.

Le courant nécessaire à la commande des appareils et à l'éclairage est fourni par une batterie d'accumulateurs au fer-nickel branchée entre les moteurs auxiliaires et la terre et chargée avec le courant de ces moteurs.

**116. LES LOCOMOTIVES A COURANT CONTINU DE 4 000 CH DE LA COMPAGNIE DU P. O.** — En 1925, la Compagnie Electro-Mécanique a livré à la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans (P. O.) deux locomotives pour trains directs qui sont remarquables, non seulement à cause de leur puissance élevée, mais encore par certaines particularités d'exécution.

Chaque locomotive devait pouvoir remorquer entre Paris et Vierzon des trains omnibus de 650 t et des trains directs de 530 t; la vitesse de ces machines devait atteindre 130 km/h, sans qu'il se produise de trépidations exagérées ou de détérioration de la voie. Les courbes de 500 m de rayon devaient être passées à la vitesse de 100 km/h, celles de 150 m de rayon à la vitesse de 40 km/h et celles de 80 m de rayon à 6 km/h.

Le type de machine adopté a été le type 2 D 2 à 4 essieux moteurs et 1 bogie directeur à chaque extrémité (fig. 371); la figure 372 donne la répartition des charges sur chaque essieu et les dimensions principales de la locomotive.

Les données principales de ces locomotives sont les suivantes :

	Type E <sub>2</sub> d <sub>2</sub> — 501	Type E <sub>2</sub> d <sub>2</sub> — 502
Ecartement de la voie	1445 mm	1445 mm
Diamètre d'une roue motrice .....	1750 mm	1750 mm
Diamètre d'une roue porteuse .....	970 mm	970 mm
Longueur totale hors tampon.....	17780 mm	17780 mm
Empattement total..	14150 mm	14150 mm
Empattement des essieux moteurs ....	5750 mm	5750 mm
Rapport de réduction des engrenages ....	1/2,55	1/2,55
Poids adhérent .....	72 t	72 t

	Type E <sub>2</sub> d <sub>2</sub> — 501	Type E <sub>2</sub> d <sub>2</sub> — 502
Poids de la partie mécanique.....	74,5 t	74,5 t
Poids de l'équipement électrique .....	43,6 t	49,2 t
Poids total de la locomotive .....	118,6 t	124,2 t
Tension normale pour la ligne de contact à vide.....	1500 V	1500 V
Tension moyenne au pantographe de la locomotive .....	1350 V env.	1350 V env.
Puissance horaire totale aux arbres des 4 moteurs à 1350 V.	3800 ch	3800 ch
Vitesse à la puissance horaire et à 1350 V.	65/73/85,5 km/h	62/71,5/79,5 km/h
Effort de traction à la jante pendant une heure .....	15200/13200 kg	15900/13900 kg
Vitesse maximum ..	130 km/h	130 km/h
Effort de traction maximum à la jante = 30 % du poids adhérent .....	21600 kg	21600 kg

Des 2 locomotives livrées en 1925, la locomotive E 501 ne comportait pas de dispositif de récupération, tandis que la locomotive E 502 était munie d'un tel dispositif.

**Partie mécanique.** — Le châssis supportant la caisse de la locomotive est composé de 2 longerons en tôle placés entre les roues motrices; ces 2 longerons sont réunis par des fortes entretoises spécialement entre les essieux moteurs, au-dessus des pivots et aux extrémités. Les

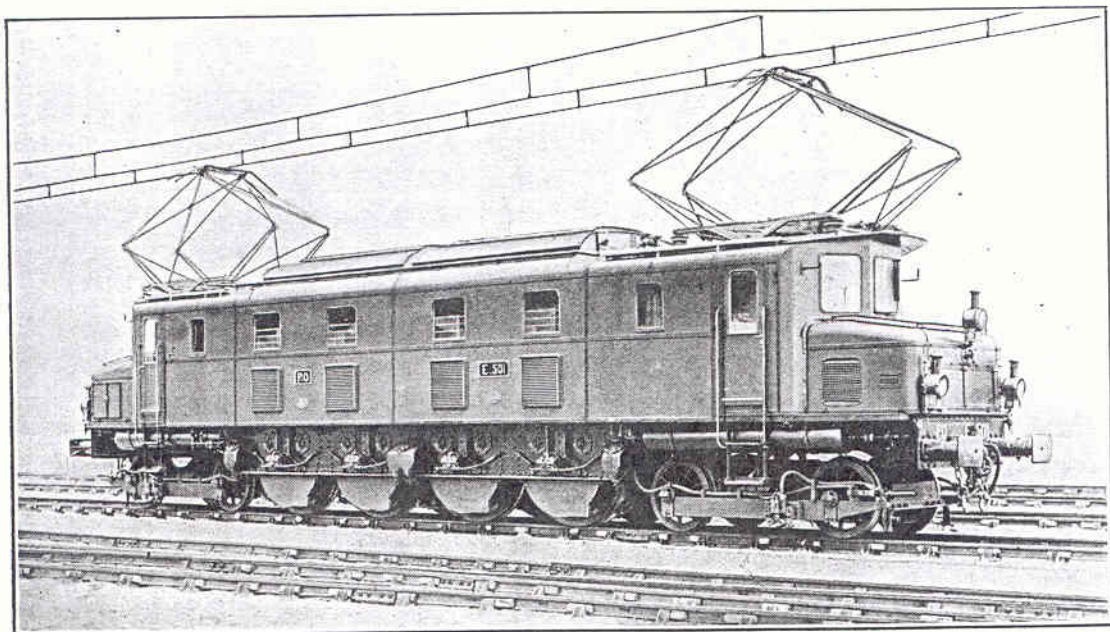


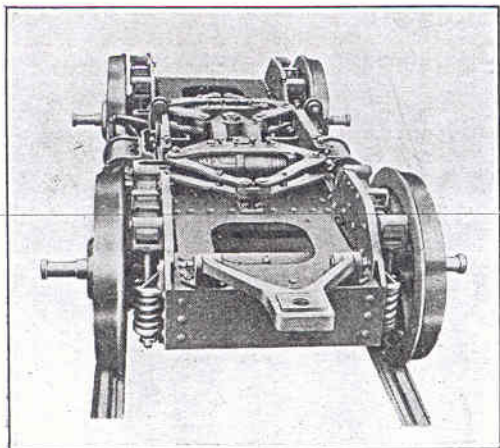
Fig. 371 — Locomotive de 4000 ch du P.O.

(Cie Electro-Mécanique)



traverses d'extrémités portent les dispositifs de traction et de chocs. La partie médiane de chaque longeron est en outre renforcée par un longeron auxiliaire en tôle placé à l'extérieur des roues motrices.

Le châssis complet est porté à la fois par les 4 essieux moteurs et les 2 bogies extérieurs au moyen de pivots et de dispositifs d'appuis laté-

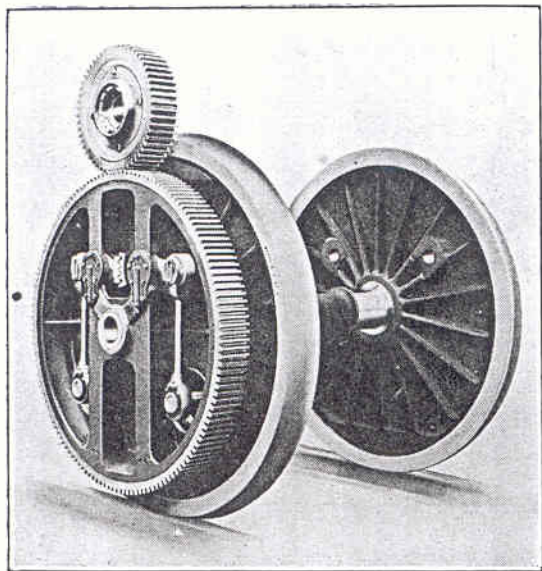


(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 373 — Locomotive de 4000 ch du P.O. Bogie.

raux. Les essieux moteurs sont montés avec des boîtes à huile au-dessous desquelles se trouvent des ressorts plats auxquels le châssis de la locomotive est suspendu par l'intermédiaire de tiges de suspension. Les tiges de suspension des extrémités sont fixées directement au châssis, tandis que les autres points de fixation, situés entre les roues motrices, sont reliés à des balanciers pour obtenir une bonne répartition de la charge entre les essieux.

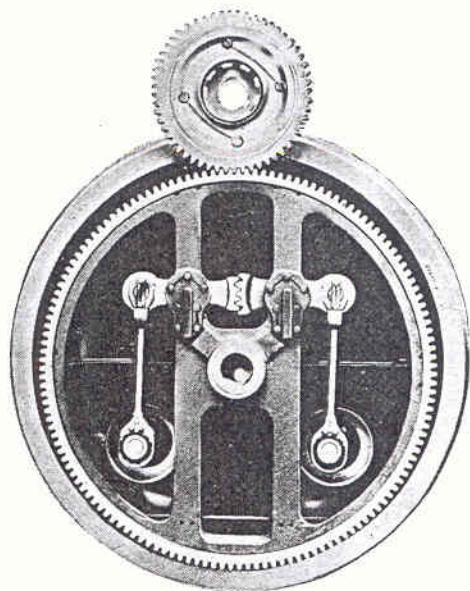
Pour éviter les mouvements en lacets et pouvoir faire circuler la locomotive dans des courbes



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 374 — Locomotive de 4000 ch du P.O.  
Commande des essieux.

de très faible rayon, les bogies (fig. 373) ont été construits d'une façon particulière avec un dispositif de rappel. Les essieux-moteurs sont entraînés par commande individuelle des essieux système Brown Boveri (Voir N° 124 de ce tome II); étant donné la grande puissance des moteurs, on a choisi une commande double par essieu-moteur; à cet effet, chaque moteur a un pignon monté sur ressort à chaque extrémité de son arbre, les pignons engrenant chacun avec une grande roue dentée librement sur un tourillon et qui transmet l'effort moteur à la roue à l'aide de biellettes mobiles dans tous les sens et de leviers à segments dentés (fig. 374 et 375). Le graissage des roues dentées et des pignons est assuré par une circulation d'huile obtenue à l'aide d'une petite pompe à piston disposée à l'extrémité du tourillon de la grande roue dentée; la grande roue dentée plongeant dans un bain d'huile, projette cette huile, par suite de sa rotation, dans des poches latérales, d'où elle coule dans la pompe à piston;



(Cie Electro-Mécanique)

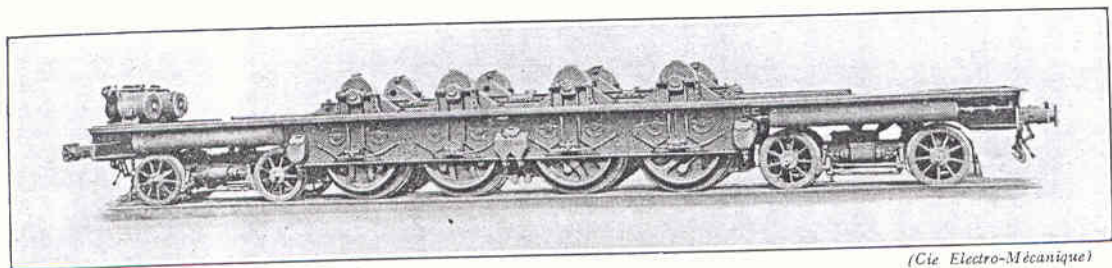
Fig. 375

Locomotive de 4000 ch du P.O.  
Détail de la commande des essieux.

cette pompe refoule l'huile dans les articulations du système d'accouplement, puis elle retombe dans le bain d'huile, d'où elle est reprise par la roue dentée pour être renvoyée vers la pompe après filtrage.

Le freinage est obtenu par sabots de frein du type normal de la Compagnie d'Orléans. Chaque bogie comporte, de chaque côté, 2 sabots de frein agissant chacun sur une roue et commandés par un seul cylindre, par l'intermédiaire d'un levier unique. Le freinage des essieux-moteurs est assuré par 2 cylindres plus grands, chacun d'eux actionnant les 4 sabots des 2 essieux-moteurs à l'aide d'une timonerie. Avec une pression d'air de 3,5 kg/cm<sup>2</sup> la pression totale exercée par tous les sabots est de 84 000 kg soit environ 70 % du poids de la locomotive. Il a été prévu en outre un frein à vis commandé à main, agissant sur les 2 essieux-moteurs les plus proches.





(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 376 — Locomotive de 4000 ch du P.O. Châssis.

Un dispositif de protection contre le patinage a été prévu; ce dispositif consiste à produire, avant chaque augmentation de couple, un freinage sous faible pression à l'aide d'une pédale placée dans le poste de commande; la pression est de 0,8 à 1 kg/cm<sup>2</sup>; de cette façon une augmentation de vitesse d'essieux isolés, pour un démarrage en couplage série ou série parallèle, est évitée et les autres essieux moteurs qui n'ont pas tendance à patiner, mais dont les moteurs se trouvent dans le même circuit électrique que le moteur de l'essieu patinant, ne perdent pas partiellement leur couple.

La figure 376 représente le châssis de la locomotive avec les essieux-porteurs et moteurs; à l'une des extrémités du châssis, on distingue les compresseurs et à chaque extrémité on aperçoit deux réservoirs à sable au-dessus des bogies; il y a 2 autres réservoirs de l'autre côté du châssis.

La caisse de la locomotive comporte, à la partie centrale, la chambre des machines

(batterie, groupes moteur-compresseur) et l'outillage.

Toutes les portes des cabines d'appareillages sont verrouillées et ne peuvent être ouvertes que lorsque les appareils ne sont pas sous tension.

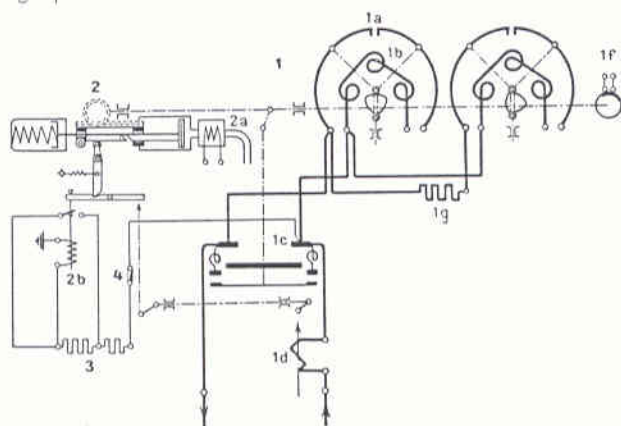
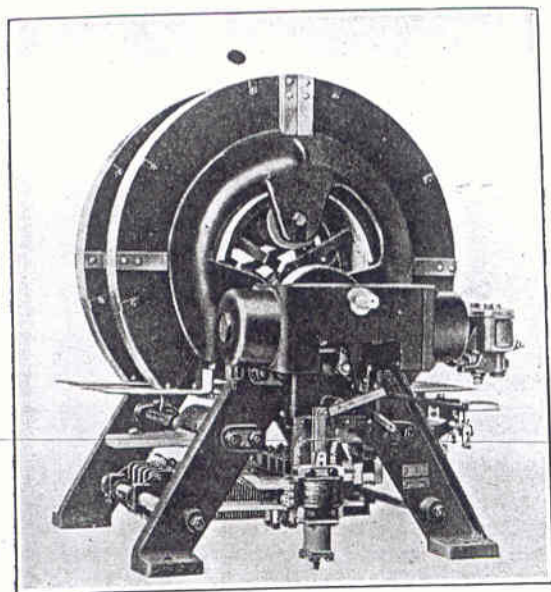


Fig. 378

1. Interrupteur automatique.
- 1a. Cornes pare-étincelles.
- 1b. Bobine de soufflage.
- 1c. Balai principal.
- 1d. Relais à maximum d'intensité.
- 1f. Interrupteur auxiliaire.
- 1g. Résistance de protection.
2. Commande pneumatique à déclenchement par électro-aimant.
- 2a. Soupape électro-pneumatique.
- 2b. Electro-aimant à minimum de tension.
3. Résistance additionnelle.
4. Fusible.



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 377

Locomotive de 4000 ch du P.O. Interrupteur principal

et à chaque extrémité, une cabine de mécanicien. Entre les cabines de commande et les tampons se trouvent des avant-corps dans lesquels sont disposés certains appareils (machines auxiliaires,

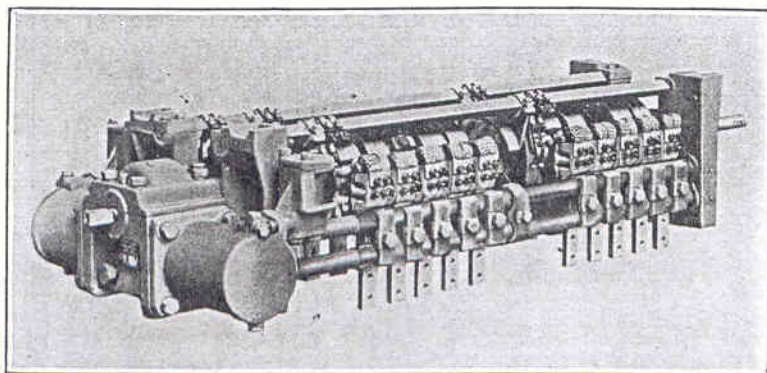
Une échelle en fer, verrouillée, permet d'accéder au toit de la locomotive; si on utilise cette échelle, un robinet à air s'ouvre automatiquement et laisse échapper l'air du cylindre de commande du pantographe qui s'abaisse.

**Partie électrique.** — La captation du courant se fait à l'aide de 2 pantographes avec double arceau ou au moyen de frotteurs sur troisième rail fixés sur traverses-en-chêne de chaque côté des bogies.

Les pantographes et frotteurs sont actionnés pneumatiquement et maintenus en pression sur la ligne de contact par l'air comprimé.

Un commutateur permet d'alimenter les moteurs, soit par les pantographes, soit par les frotteurs, soit par les 2 ensemble; une position 0 du commutateur libère une clef permettant d'ouvrir la porte de la cabine de l'interrupteur à haute tension.

L'interrupteur principal de la locomotive (fig. 377) comporte des relais à maximum d'intensité et à minimum de tension; il est constitué par un interrupteur à air, avec soufflage auxi-



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 379 — Locomotive de 4000 ch du P.O. Inverseur de marche

liaire aux contacts et deux contacts à cornes avec soufflage énergique de l'arc et une résistance branchée entre les paires de cornes.

La figure 378 montre le branchement des contacts et des bobines de soufflage. L'interrupteur est construit pour un courant horaire de 2 100 A et un courant permanent de 1850 A; son déclenchement peut être réglé pour des valeurs comprises entre 2 400 et 4 000 A. Quelques contacts auxiliaires de l'interrupteur principal servent à la commande à distance de lampes-témoins et au déclenchement des machines auxiliaires.

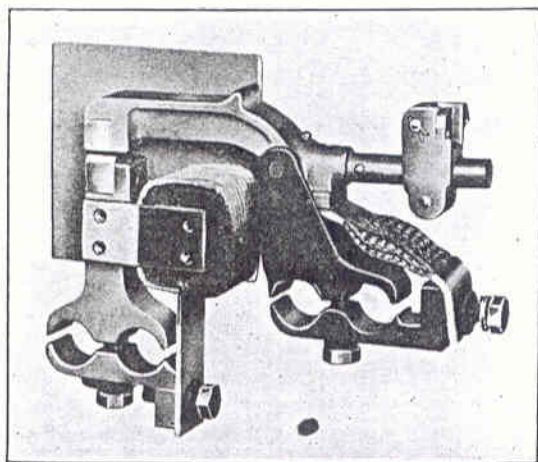
Les moteurs de traction sont du type G. L. M. 85/6 qui ont été décrits précédemment; ces moteurs sont fixés au châssis de la locomotive immédiatement au-dessus des essieux moteurs.

On obtient avec ces moteurs et l'emploi des couplages série, série-parallèle et parallèle, 11 vitesses économiques, correspondant à 116, 131, 155, 205, 255, 285, 340, 440, 540, 595 et 690 t/mn et aux vitesses de 15, 17, 20, 26,5, 33, 37, 44, 57, 70, 77 et 89 km/h avec un courant de 460 A aux moteurs et une tension de 1350 V. Un inverseur de marche (fig. 379) est placé entre chaque groupe de 2 moteurs; chaque inverseur se compose de deux groupes de contacts, chaque groupe se rapportant à un moteur; chaque moitié du cylindre, correspondant à chacun de ces groupes de contacts, peut être séparée de l'autre moitié et mise en position 0 pour isoler

un moteur en cas d'avarie. La commande des deux inverseurs de la locomotive est faite par l'air comprimé, les deux inverseurs étant en outre accouplés mécaniquement l'un à l'autre pour qu'ils effectuent exactement les mêmes mouvements.

Les différents couplages série, série-parallèle et parallèle sont obtenus par un combinateur (fig. 380) constitué par des contacteurs individuels commandés par l'arbre à cames; la figure 381 représente l'un de ces contacteurs; on distingue sur cette figure la bobine de soufflage.

Les contacts des contacteurs se ferment sous l'action des ressorts visibles sur la figure 380 et s'ouvrent sous l'action des cames de l'arbre à cames, de telle sorte qu'il



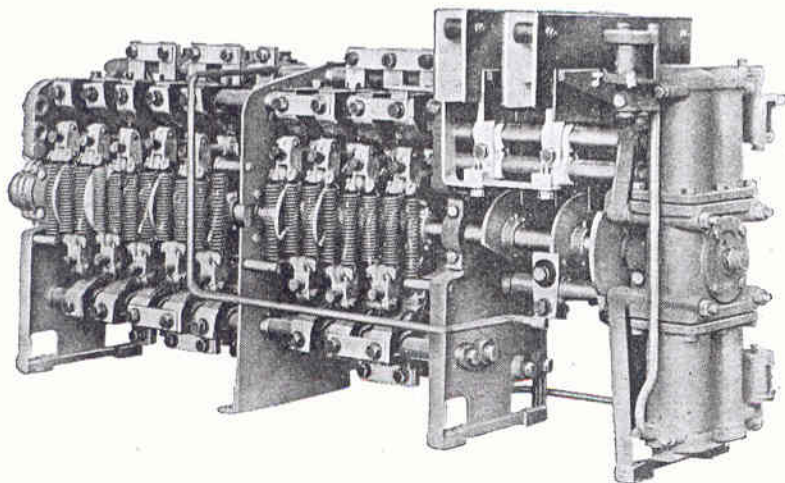
(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 331 — Locomotive de 4000 ch du P.O. Élément de contacteur

est impossible que les contacts se soudent entre eux. L'arbre à cames comporte 3 positions correspondant aux 3 couplages; il est amené dans l'une de ces trois positions par un moteur à air comprimé à 4 cylindres dont les soupapes d'admission et d'échappement sont commandées électriquement.

Le schéma simplifié (fig. 385 a et b) montre les différents couplages réalisés par le combinateur.

Les résistances de démarrage sont constituées par 2 groupes identiques de 17 châssis semblables à celui représenté par la figure 382; les éléments de résistance sont en fonte spéciale. Chaque groupe de résistance est divisé en 12 parties avec 13 bornes; la résistance d'un groupe est de 3,22 ohms.



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 380 — Locomotive de 4000 ch du P.O. Combinateur.

La mise en ou hors circuit des éléments de résistances est effectuée par deux contrôleurs principaux (un pour chaque groupe de résistances) commandant en outre l'affaiblissement du champ des moteurs; ces contrôleurs (fig. 383 et 384) sont composés de contacteurs individuels, commandés par un arbre à cames.

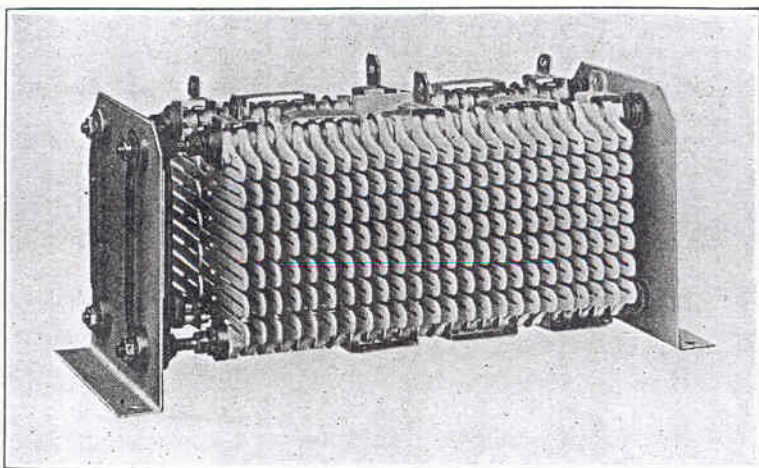
Les deux contrôleurs sont accouplés, mécaniquement, par un arbre monté sur rouleaux et longeant la paroi de la locomotive dans le couloir latéral. Cet arbre est actionné, soit par un moteur pilote, soit de chaque cabine de commande par un volant en cas de dérangement dans le moteur pilote ou dans les appareils auxiliaires.

La figure 386 représente le groupe de commande avec moteur pilote, ce moteur et tous les appareils qui s'y rapportent fonctionnent avec du courant continu 72 V.

Le manipulateur (fig. 387) comporte deux jeux de contacts; le jeu de contacts supérieur sert à commander les inverseurs et le combinateur; le jeu de contacts inférieur sert à la commande du groupe de commande et du moteur pilote.

Les circuits auxiliaires de la locomotive sont alimentés sous la tension de 1 500 V; ces circuits auxiliaires comprennent :

- 1° des ventilateurs pour le refroidissement des moteurs de traction (fig. 388 et 389); les ventilateurs peuvent débiter 120 m<sup>3</sup> d'air par minute sous une pression de 100 mm de colonne d'eau; ils sont entraînés par



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 382 — Locomotive de 4000 ch du P. O. Châssis portant les résistances en fonte.

groupes de deux par un moteur série accouplé semi-élastiquement; ce moteur peut fournir une puissance permanente de 12 kW pour une vitesse de 2100 t/m et une tension de 1350 V. Le démarrage du groupe est assuré par un contacteur électro-magnétique représenté par la figure 390;

- 2° deux groupes moteur-compresseur (fig. 391) produisant l'air comprimé nécessaire à l'actionnement des freins et des appareils; chacun d'eux peut refouler 1200 litres d'air par minute à la pression atmosphérique sous une contre-pression de 8 kg/cm<sup>2</sup>; le moteur a une puissance horaire de 8 kW sous une tension de 1350 V et une vitesse de 500 t/m. La commande du groupe est effectuée par un régulateur

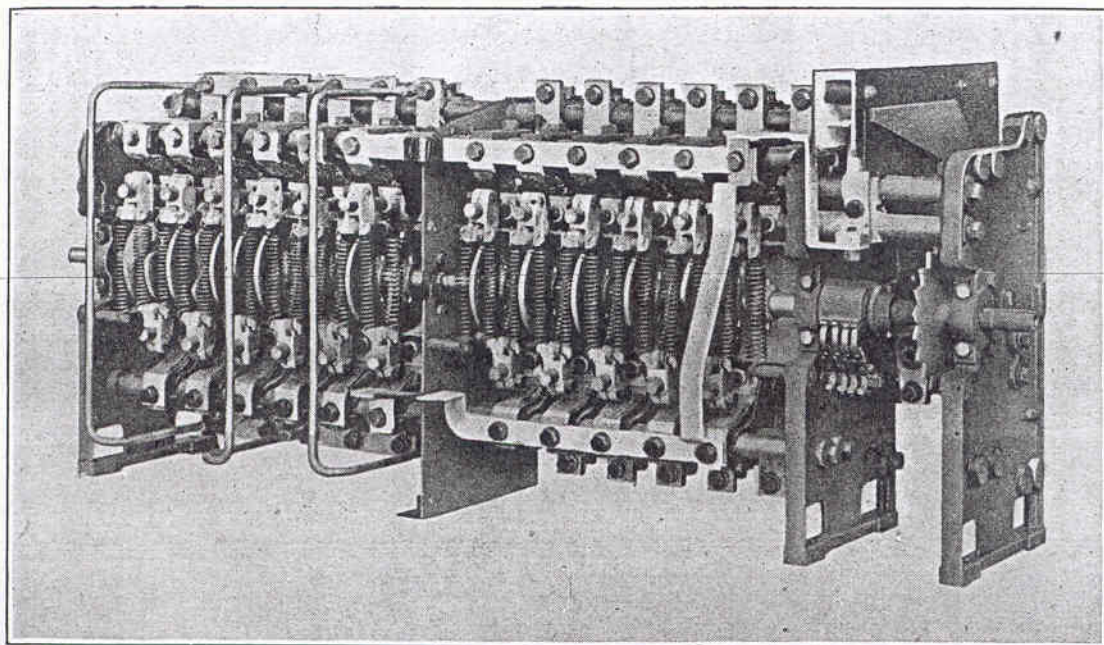


Fig. 383

Locomotive de 4000 ch du P. O. Contrôleur — Vue avant.

(Cie Electro-Mécanique)

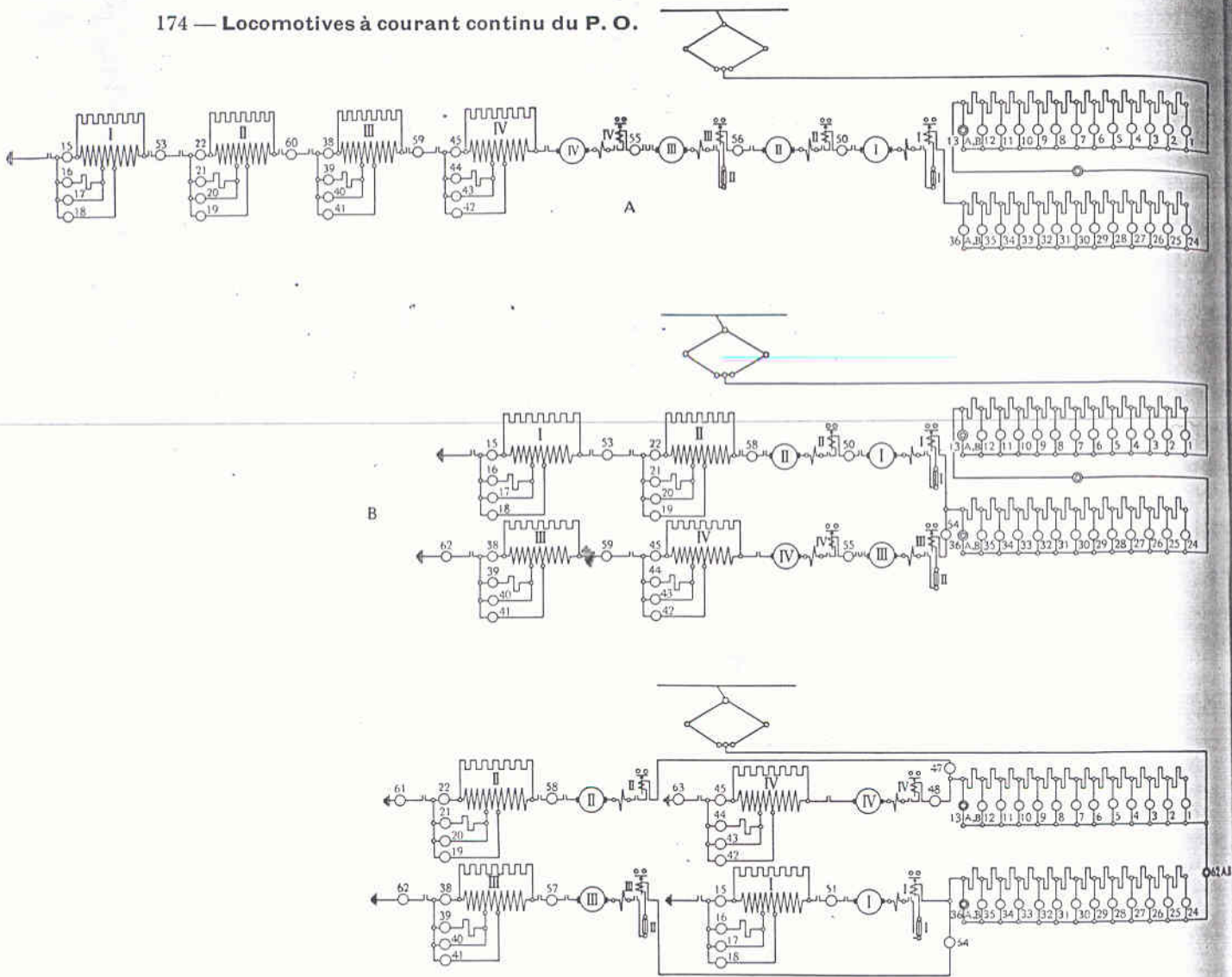


Fig. 385 a — Locomotive de 4000 ch du P. O. — Schéma

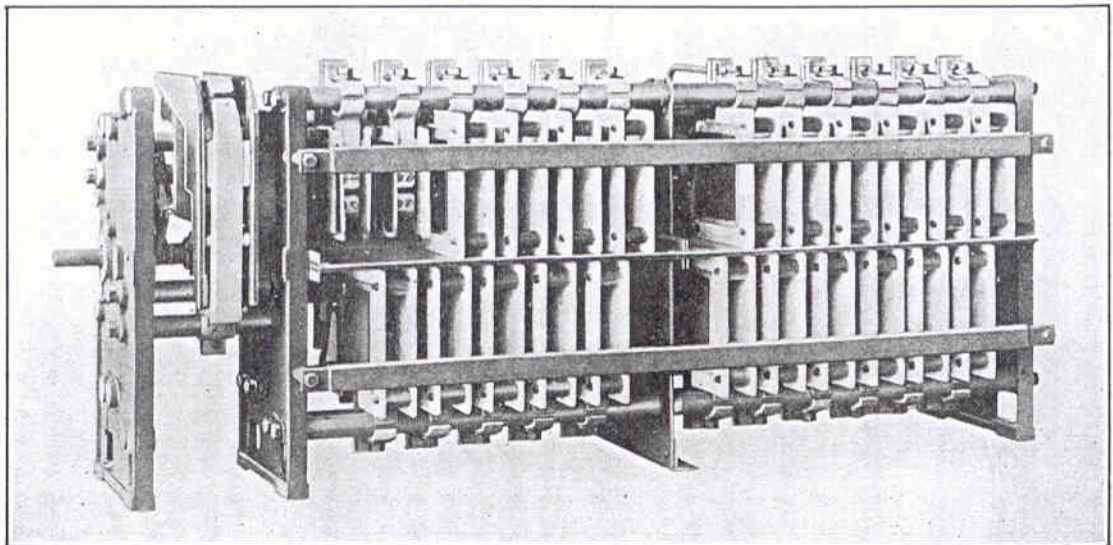


Fig. 384 — Locomotive de 4000 ch du P. O. Contrôleur — Vue arrière.

(Cie Electro-Mécanique)



de signalisation et de commande. La génératrice est munie d'un régulateur d'éclairage fonctionnant en parallèle avec une batterie d'accumulateurs au fer-nickel de 72 Ah composée de 54 éléments.

Chaque cabine de commande comporte en plus des appareils de commande, tous les appareils de contrôle nécessaires :

- 1° un indicateur de vitesse « Teloc »; l'indicateur de l'une des cabines comporte, en plus du dispositif indicateur, un totalisateur kilométrique et un dispositif enregistreur; cet indicateur est en outre relié à un dispositif de pointage de la vigilance du personnel et d'enregistrement des signaux;
- 2° un voltmètre haute tension branché par l'intermédiaire d'une résis-

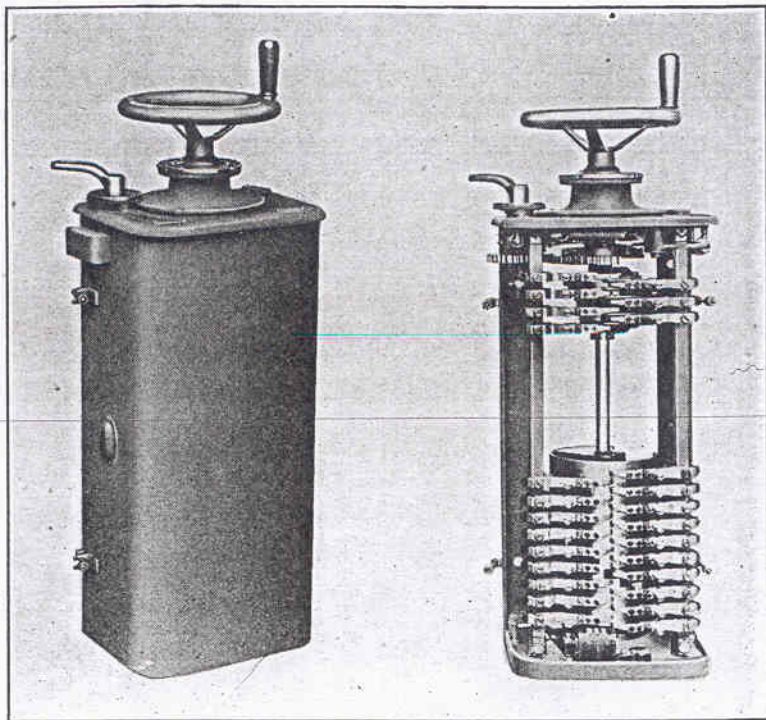


Fig. 387 — Locomotive de 4000 ch du P. O. Manipulateur. (Cie Electro-Mécanique)

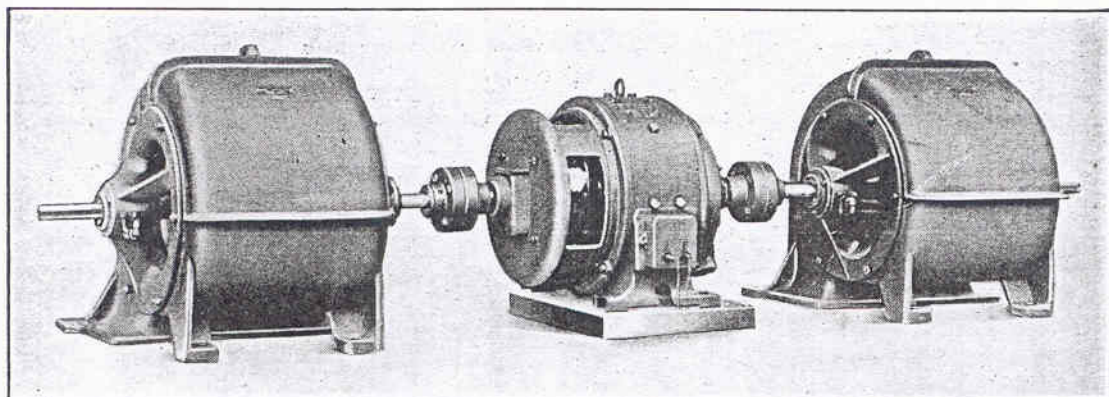


Fig. 388 — Locomotive de 4000 ch du P. O. Groupe de ventilation. (Cie Electro-Mécanique)

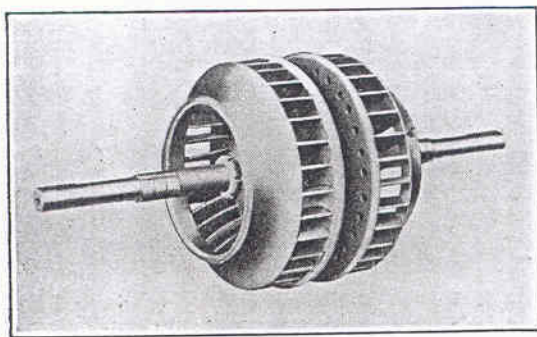


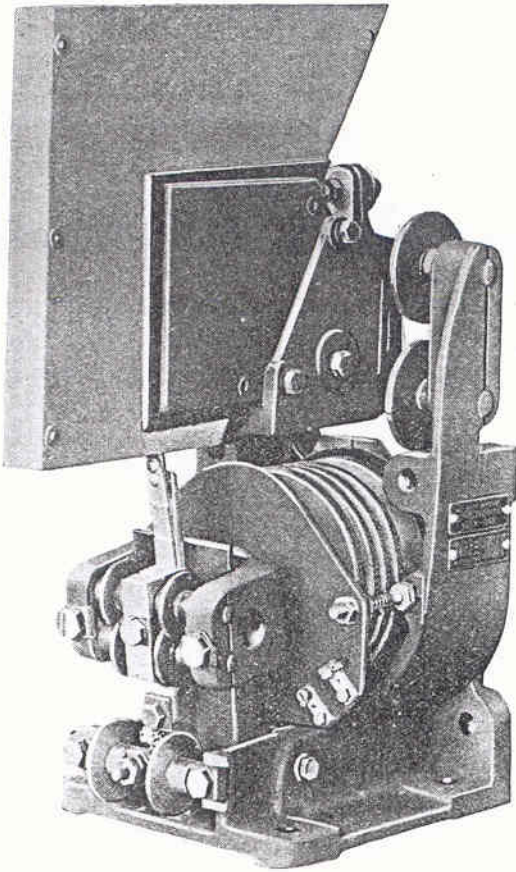
Fig. 389 (Cie Electro-Mécanique)  
Locomotive de 4000 ch du P. O. Roue d'un ventilateur.

tance à la borne côté terre de l'interrupteur à haute tension;

- 3° un ampèremètre branché dans le circuit d'un des moteurs;
- 4° un compteur d'énergie électrique.

La locomotive E 502 diffère sur quelques points de la locomotive E 501.

Les moteurs de la locomotive E 502 sont des moteurs série G. L. M. 85/6 munis d'enroulements de compensation; dans ces moteurs on a poussé l'affaiblissement du champ plus loin que dans les moteurs de la locomotive E 501; en plus du champ maximum il y a 2 prises et 2 shunts partiels sur l'enroulement d'excitation correspondant à 26, 39, 57 et 74 % des ampères-tours totaux.

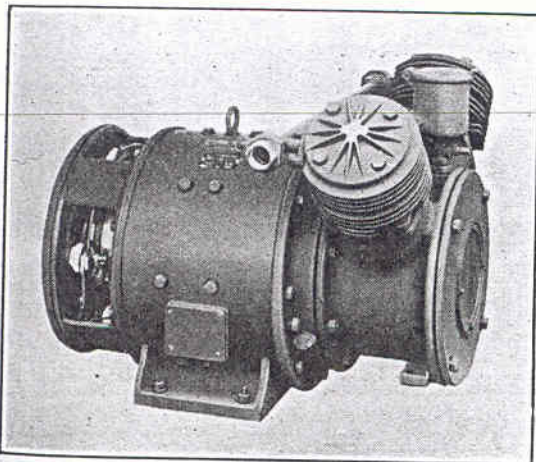


(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 390 — Locomotive de 4000 ch du P. O.  
Contacteur électro-magnétique.

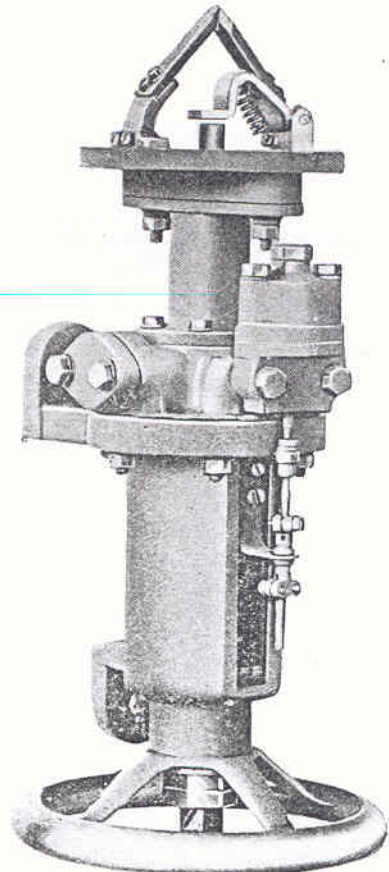
On obtient ainsi 13 vitesses économiques : 5 pour le couplage série, 5 pour le couplage série-parallèle et 3 pour le couplage parallèle, les 2 derniers crans ayant été supprimés pour des raisons de commutation.

La locomotive E 502 comporte, en outre un système de récupération constitué par un



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 391 — Locomotive de 4000 ch du P. O.  
Groupe moteur-compresseur.

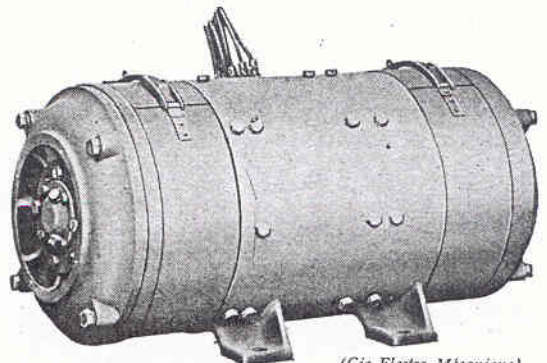


(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 392 — Locomotive de 4000 ch du P. O.  
Régulateur de pression.

groupe convertisseur spécial (fig. 394) composé d'un moteur d'une puissance de 22 kW sous une tension de 1350 V et de 2 excitatrices de 12 à 25 V. Ces excitatrices ont une excitation propre et une excitation séparée alimentée par le groupe convertisseur d'éclairage et de la batterie.

Le circuit des moteurs de traction étant fermé aussitôt qu'ils sont en couplage de récupération, dès que le groupe convertisseur de récupération est mis en marche, il se produit une excitation minimum des moteurs de traction;



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 393 — Locomotive de 4000 ch du P. O.  
Groupe convertisseur d'éclairage.

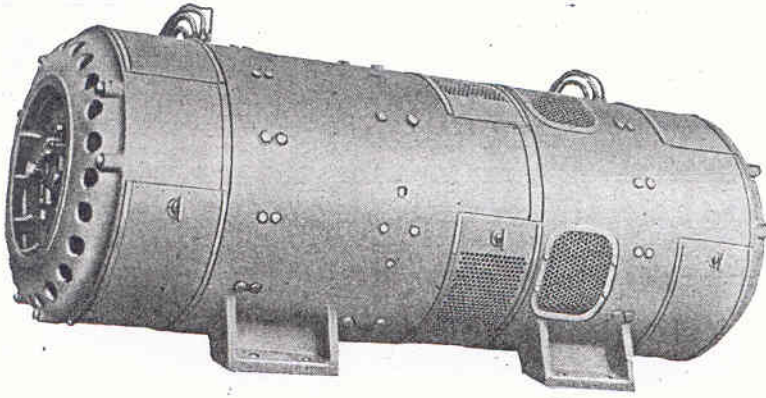


Fig. 394 — Locomotive de 4000 ch du P. O. Groupe convertisseur pour marche en récupération.

cette excitation peut être augmentée par la variation de l'excitation des excitatrices et par suite de leur tension ou en réduisant la valeur des résistances de stabilisation placées dans le circuit d'excitation des moteurs de traction.

Le démarrage du groupe, pour marche en récupération et du groupe de ventilation pour la réfrigération des résistances insérées dans les circuits des moteurs pendant le freinage sont commandés par le manipulateur (fig. 395); ce dernier possède à cet effet une manette spéciale à 2 positions: *Traction* et *Récupération*.

Le couplage des moteurs pour la marche en récupération est effectué à l'aide d'un combinatoire spécial à commande pneumatique représenté sur la figure 396.

La figure 397 représente le groupe de résistances pour la marche en récupération avec le ventilateur de réfrigération.

Un ampèremètre contrôle le courant d'excitation des moteurs de traction et un compteur spécial enregistre l'énergie récupérée.

La figure 398 représente une cabine de mécanicien de la locomotive E 502; on distingue sur cette photographie, au premier plan, les soupapes avec poignée et volant du frein Westinghouse modérable et à action rapide; au milieu et à côté du frein se trouve le manipulateur; plus à droite il y a la vis verticale du frein à main et plus loin encore un volant à axe horizontal pour le réglage de la résistance de stabilisation pendant la marche en récupération. Sur le pupitre, se trouvent un volant pour le réglage de la tension des excitatrices de freinage et des interrupteurs pour la commande des compresseurs et des ventilateurs; un interrupteur sert en outre à shunter le relais d'accélération. Sur la paroi avant se trouvent différents manomètres et au-dessous de ceux-ci les instruments de mesure.

A l'arrière plan, dans l'angle, on distingue l'indicateur de vitesse « Teloc » qui ne comporte pas d'enregistreur et au-dessous de cet appareil la boîte de l'interrupteur du dispositif d'appel. Au plafond on remarque des poignées et tringles pour le sifflet et le déclenchement de secours de l'interrupteur principal.

Ces machines ont donné aux essais et depuis leur mise en service des résultats satisfaisants et la compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans a commandé, en 1932, 25 locomotives de ce type qui doivent être exécutées par la Compagnie Electro-Mécanique en collaboration avec la Compagnie de Fives-Lille.

### 117. TRACTION PAR COURANT ALTERNATIF MONOPHASE. —

L'utilisation du courant alternatif monophasé pour la traction électrique a reçu de nombreuses applications, quoique ce système ne soit entré dans le domaine pratique que depuis peu de temps. La traction par courant alternatif monophasé, utilisée d'abord aux Etats-Unis dès 1908, puis en Suisse en 1910, fut employée en France par la Compagnie des Chemins de fer du Midi. Par la suite cette dernière Compagnie transforma ses installations pour adopter la traction par courant continu 1500 V, comme le prescrit la Décision ministérielle de 1920. Les Chemins de fer Fédéraux de Suisse généralisèrent, par la suite, l'application de la traction par

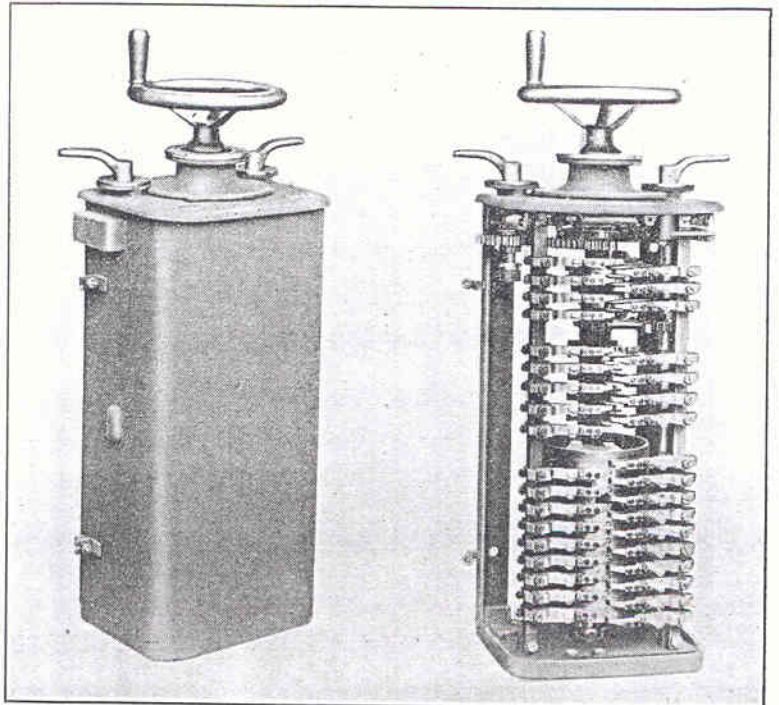


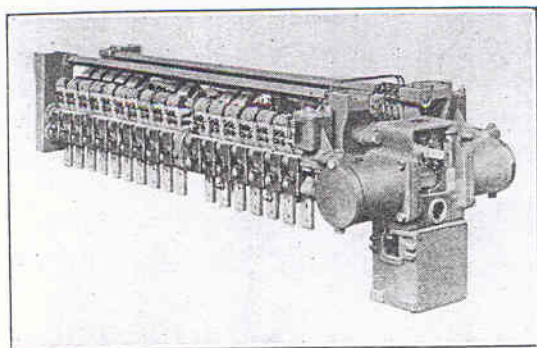
Fig. 395 — Locomotive de 4000 ch du P.O. Manipulateur avec cylindre pour marche en récupération.

(Cie Electro-Mécanique)



courant alternatif monophasé. En Allemagne, en Autriche, en Hongrie, en Suède et en Norvège, ce système de traction a été presque exclusivement adopté.

La traction par courant monophasé présente les avantages des courants alternatifs : facilité de transformation, transport de l'énergie sous très hautes tensions, et de plus possède les particularités du courant continu : simplicité

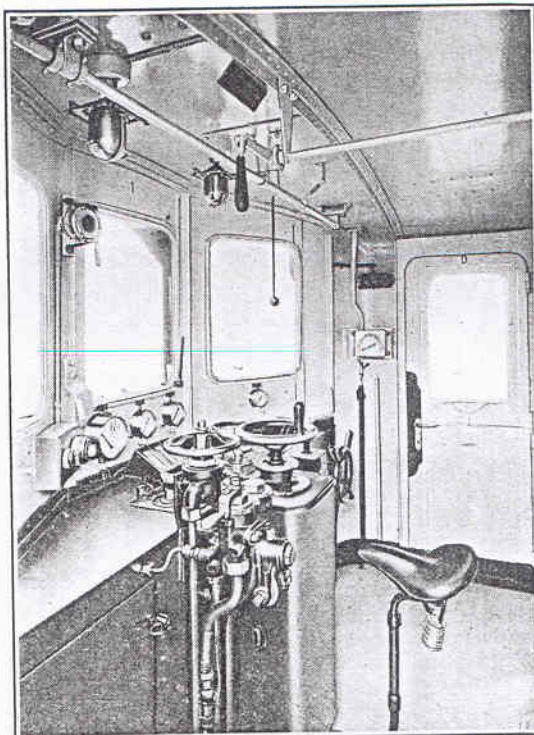


(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 396 — Locomotive de 4000 ch du P. O. Combinateur de marche en récupération.

de la ligne de contact, moteurs robustes ayant un fort couple au démarrage et une régulation facile.

Par contre la traction monophasée est la cause de perturbations graves, rendant parfois toute communication impossible, dans les lignes télégraphiques et téléphoniques voisines. Différents systèmes ont été imaginés pour supprimer cette influence. Nous citerons le dispositif qui avait été employé par la Compagnie du Midi sur la ligne de Perpignan à Villefranche, ligne équipée en monophasé au début de son électrification. Ce dispositif consiste à installer (fig. 399) le long de la ligne de traction des transformateurs d'intensité dits « transformateurs suceurs » dont l'enroulement primaire est branché en série sur la ligne de contact et l'enroulement secondaire sur le rail qui sert de conducteur de retour.



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 398 — Locomotive de 4000 ch du P. O. Cabine de mécanicien de la locomotive E 502.

Sur la ligne précitée, les transformateurs suceurs étaient installés tous les 3,500 km et étaient prévus pour une intensité de 200 A; le rôle de ces transformateurs est de drainer le courant de retour dans le rail. C'est ce dispositif qui est utilisé par les Chemins de fer de l'Etat Suédois. Les Chemins de fer allemands se sont bornés à mettre en câble souterrain les lignes trop rapprochées et à prendre certaines dispositions : pas de mise à la terre dans les circuits téléphoniques, montage symétrique des appareils.

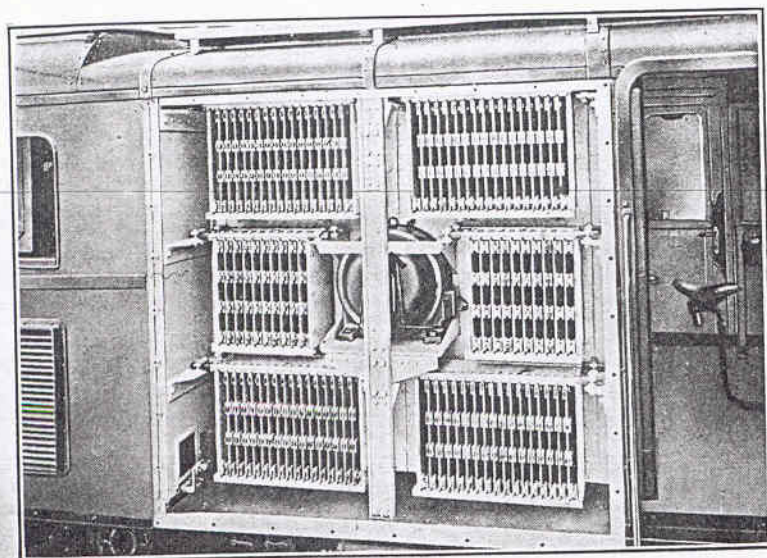
#### Moteurs de traction monophasés.

— Le moteur d'induction ne développe pas de couple au démarrage suffisant pour être employé en traction électrique, c'est pourquoi, seuls les moteurs à collecteur sont utilisés, parce qu'ils présentent une caractéristique série, semblable à celle des moteurs série à courant continu; de plus ils se prêtent à la récupération.

Les différents types de moteurs-employés sont :

- 1° le moteur série;
- 2° le moteur série compensé;
- 3° le moteur à répulsion;
- 4° le moteur à répulsion compensé.

**Moteur série.** — Le sens de rotation et le sens du couple d'un moteur série étant indépendants du sens du courant qui parcourt l'ensemble



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 397 — Locomotive de 4000 ch du P. O. Résistances avec ventilateur pour marche en récupération.

induit et inducteurs, il est évident qu'en alimentant un moteur série par du courant alternatif monophasé, ce moteur se comportera comme un moteur série à courant continu.

La seule différence qui existe entre un moteur série monophasé et un moteur série courant continu est que le premier ayant ses inducteurs

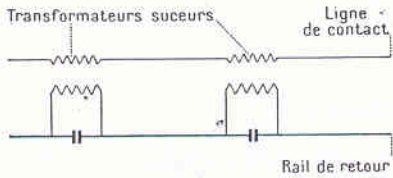


Fig. 399

parcourus par un courant alternatif doit avoir un circuit magnétique inducteur feuilleté; en général le circuit inducteur est bobiné en stator d'alternateur, de façon à avoir un entrefer constant.

Par contre, il y a lieu de remarquer que le moteur série alimenté par du courant alternatif décale fortement le courant par rapport à la tension, par suite de la self-induction élevée des enroulements induit et inducteur; de plus les spires de l'induit court-circuitées par les balais se comportent comme un transformateur sous l'action du champ alternatif et dans ces spires prend naissance une certaine tension de transformation, variable avec la tension du réseau. C'est à cause de cette tension induite, que la bonne commutation des moteurs série est plus difficile à obtenir avec le courant alternatif qu'avec le courant continu. La commutation a pu être améliorée par l'emploi de pôles auxiliaires ou de commutation et par l'alimentation des moteurs par du courant à basse fréquence (16 2/3 ou 25 p/s).

**Moteur série compensé.** — Pour diminuer l'inductance des enroulements induit et inducteur du moteur série ainsi que la tension de transformation, on a recours à un enroulement de compensation situé dans l'axe des balais.

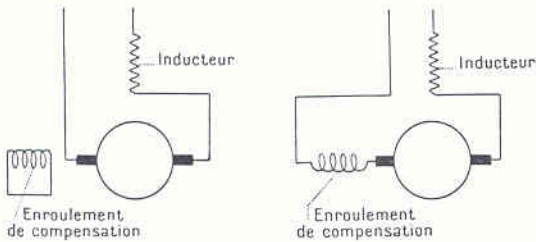


Fig. 400

Fig. 401

Cet enroulement de compensation est, soit indépendant et en court-circuit (fig. 400), soit en série avec le rotor (fig. 401).

Le moteur série compensé doit tourner à une vitesse hyper-synchrone, de l'ordre de 3 fois la vitesse de synchronisme pour que son facteur de puissance soit satisfaisant; la vitesse d'un moteur en régime ne peut dépasser 900 t/m environ, ce qui correspondrait à une vitesse de synchronisme de  $\frac{900}{3} = 300$  t/m; en supposant

que l'on veuille faire fonctionner un tel moteur sur une distribution de 50 p/s, il faudrait un nombre de pôle égal à 20; en effet, nous savons

que si  $p$  représente le nombre de paires de pôles,  $f$  la fréquence du courant et  $N$  la vitesse de synchronisme :

$$p = \frac{60 f}{N} = \frac{60 \times 50}{300} = 10$$

soit 10 paires de pôles ou 20 pôles.

Ceci entraînerait à un diamètre prohibitif du moteur; le moteur série compensé est donc impropre à fonctionner à 50 p/s; en outre la tension pour laquelle il est possible de réaliser le moteur est d'autant plus basse que la fréquence est élevée.

C'est pour ces raisons que la fréquence 16 2/3 p/s est employée le plus couramment et qu'en Amérique cette fréquence a été choisie égale à 25 p/s.

**Moteur à répulsion.** — Dans ce moteur, l'induit est séparé du réseau et seul l'enroulement inducteur est alimenté; l'induit est mis en court-circuit par les balais reliés entre eux et décalés de 45° environ sur la ligne neutre (fig. 402). Ce moteur a l'avantage de permettre de construire l'induit pour une tension appropriée, tout en admettant une tension beaucoup plus élevée au stator. Pour faire varier la vitesse de rotation, on peut, soit changer le calage des balais, soit faire varier la tension d'alimentation. Au démarrage ces moteurs absorbent un courant de forte intensité et ils ont un mauvais cos  $\phi$ . La commutation est optimum au voisinage du synchronisme et la vitesse du moteur peut

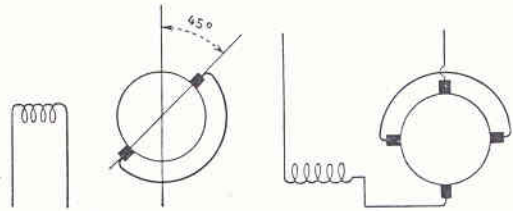


Fig. 402

Fig. 403

être choisie près de celle-ci; ce moteur peut donc être utilisé en traction avec une fréquence de 50 p/s. La puissance limite actuellement réalisable dans de bonnes conditions pour l'utilisation sur voie de 1 m et roues de 0.90 m est de l'ordre de 70 ch avec moteur à 6 pôles.

**Moteur à répulsion compensé.** — Ce moteur est une combinaison du moteur série et du moteur à répulsion (fig. 403); il possède les avantages de chacun d'eux: commutation parfaite en vitesse comme le moteur à répulsion et couple au démarrage aussi bon que celui du moteur série compensé; le facteur de puissance du moteur à répulsion compensé est en outre excellent et supérieur à celui d'un moteur à répulsion. Le couple au démarrage croît avec la tension, passe par un maximum qui peut atteindre 4 fois le couple normal, pour diminuer ensuite; il existe donc, pour un moteur donné, une tension optimum d'alimentation. Le réglage de la vitesse se fait, soit par décalage des balais, soit par variation de la tension d'alimentation. Ce moteur convient parfaitement pour les distributions à 50 p/s.

Différents moteurs de construction un peu différente mais dérivant des types de moteurs ci-dessus ont été utilisés.

**Moteur à répulsion compensé Winter-Eichberg.** — Ces moteurs construits par la firme allemande « Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft » et utili-

sés sur la locomotive d'Oranienburg qui est équipée avec 3 moteurs d'une puissance unihoraire de 350 ch, comportaient 4 lignes de balais par jeu de pôles : deux lignes de balais transversaux court-circuités et deux lignes de balais connectés en série avec les inducteurs (fig. 404).

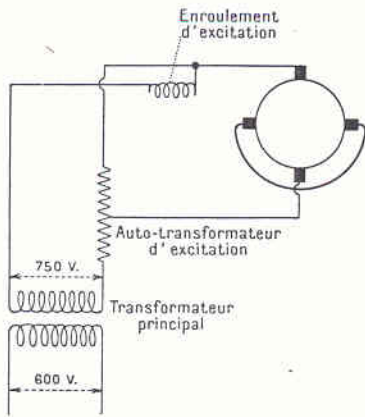


Fig. 404

La régulation de la vitesse était obtenue en changeant le rapport de transformation de l'auto-transformateur d'excitation.

**Moteur série-répulsion Alexander.** — Ce moteur construit par la General Electric Co présente 2 montages : l'un pour le démarrage l'autre pour la marche normale. Les schémas de ces montages sont représentés figure 405.

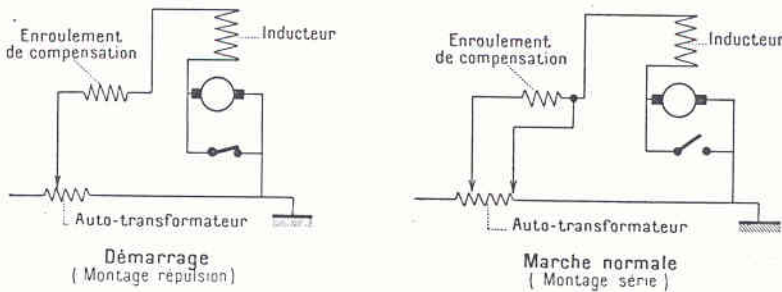


Fig. 405

**Moteur répulsion-série-répulsion Thomson-Houston.** — C'est le dispositif qui a été employé sur les premières locomotives monophasées des Chemins de fer du Midi. La locomotive comportait 2 moteurs d'une puissance unihoraire de 750 ch qui démarraient en répulsion de façon à avoir une bonne commutation, puis fon-

tionnaient en série-répulsion en marche normale (fig. 406).

**Moteur série compensé répulsion Jeumont.** — Dans ce système au démarrage et aux faibles vitesses, le moteur est branché en répulsion ; puis en marche normale, le moteur est branché en série compensé comme l'indique la figure 407.

Nous citerons encore le moteur *Schoen-Krupp*, qui est un moteur d'induction d'une construction tout à fait spéciale. Le moteur Schoen-Krupp

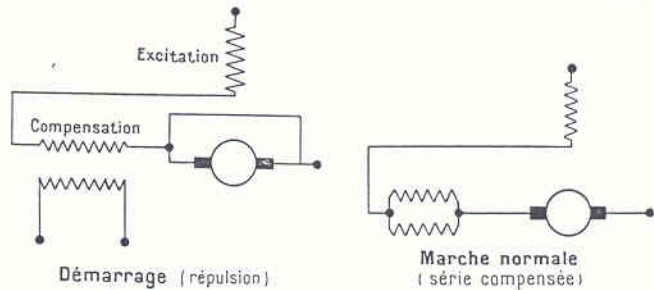


Fig. 407

est composé d'un stator monophasé et de 2 rotors concentriques.

1° Un rotor intermédiaire, constitué par une couronne de tôles de quelques centimètres de hauteur, sur laquelle sont bobinés 2 enroulements : un enroulement en cage d'écureuil et un enroulement triphasé alimenté par une excitatrice en courant continu.

2° Un rotor central portant un bobinage triphasé ordinaire relié à 3 bagues.

Le rotor intermédiaire peut tourner librement et c'est le rotor central qui produit le couple moteur.

Le fonctionnement de ce moteur est le suivant : on démarre, suivant les procédés connus, le rotor intermédiaire du moteur ; ce rotor, qui est libre, tourne à vide et atteint rapidement la vitesse de synchronisme ; dès que

celle-ci est atteinte, on envoie du courant continu dans le bobinage triphasé du rotor intermédiaire, qui fonctionne comme un moteur synchrone ; la machine se comporte alors comme un moteur d'induction à champ tournant. Le moteur Schoen-Krupp possède la propriété remarquable d'avoir un facteur de puissance égale à 1, quelle

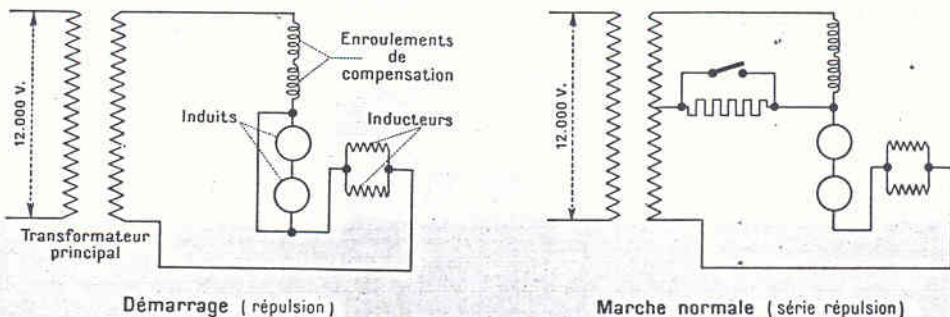


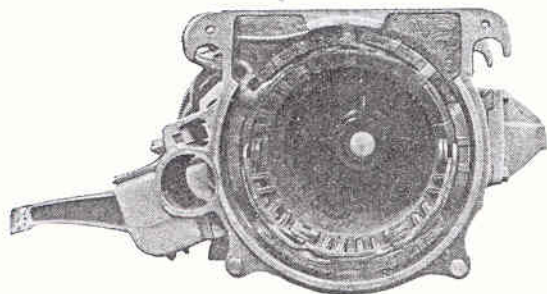
Fig. 406

que soit la vitesse. Le réglage du couple peut s'obtenir par variation du courant d'excitation et celui de la vitesse par la variation de la résistance rotorique; en outre ce moteur a un courant de court-circuit inférieur au courant normal.

Deux locomotives de manœuvre ont été mises en service dans un gisement de lignite à Halle près de Leipzig; chaque locomotive comporte un moteur Schœn-Krupp de 320 ch à 8 pôles alimenté par du courant monophasé 3000 V 50 p/s et un moteur asynchrone triphasé de 320 ch à 8 pôles également. Lorsque les 2 moteurs sont couplés en cascade la vitesse de marche de la machine est 6 km/h; lorsque le moteur Schœn-Krupp fonctionne seul, cette vitesse atteint 12 km/h.

La construction des moteurs de traction monophasés a fait des progrès importants au cours de ces dernières années. Par une réduction convenable de la saturation et une utilisation rationnelle des sections de fer, on a pu améliorer la forme de la courbe du courant. Il était difficile autrefois de déterminer les conditions de commutation, parce que la théorie et l'expérience faisaient défaut; aujourd'hui le problème a été solutionné: les saturations du fer ont été égalisées, les dents des pôles de commutation ont été élargies; les enroulements ont été concentrés près du fer, pour diminuer la dispersion; l'enroulement de compensation a été calculé d'une façon exacte.

En outre la technique des isolants s'est développée et on a pu réduire l'épaisseur de ceux-ci grâce à l'emploi d'isolants ayant une plus grande rigidité diélectrique. Pour éviter la déformation des enroulements on presse ceux-ci à chaud après les avoir logés dans les encoches. Pour l'isolation des porte balais on emploie généralement des manchons isolants dans des tubes métalliques munis de rondelles de porcelaine comme protection contre les arcs rampants. Les paliers sont en général avec graissage par bagues pour les moteurs de forte puissance et à rouleaux pour les puissances inférieures à 300 kW. Dans les moteurs de construction récente, pour éviter



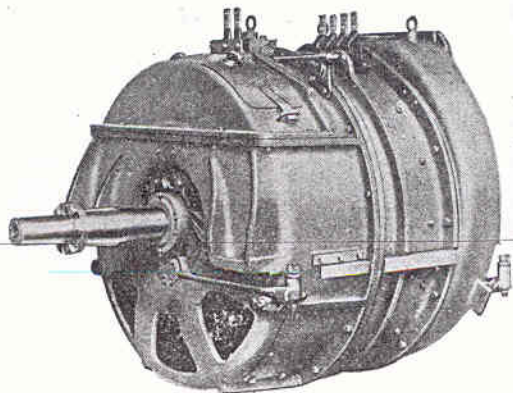
(Forges et Ateliers de Constr. Electr. Jeumont)

Fig. 408 — Moteur monophasé série compensé.

d'occasionner des perturbations dans les lignes de télécommunication on construit le rotor des moteurs avec encoches inclinées.

La figure 408 représente un moteur de traction monophasé série compensé d'une puissance unihoraire de 60 ch fonctionnant sous une tension d'alimentation de 350 V 25 p/s; ce moteur est en service sur les voitures de tramways de l'Ain est cuirassé et à suspension par paliers d'essieu. Sur la figure 408 on distingue chacun des 6 enroulements inducteurs et les enroulements compensateurs bobinés entre chacun des pôles

principaux. La figure 409 représente un moteur E L M 100/16 série de 775 ch unihoraires à 16 pôles; ce moteur construit par la Société Anonyme Brown Boveri a été monté sur les locomotives monophasées type 2 Do 1 des Chemins de fer Fédéraux Suisses. Le moteur est fixé sur



(Brown Boveri)

Fig. 409 — Moteur monophasé E L M 100/16.

le châssis de la locomotive par des oreilles venues de fonte avec les flasques en acier coulé. L'arbre du rotor est supporté par 2 paliers faisant partie des flasques et par un palier fixé sur le châssis de la locomotive.

#### Régulation de la marche des motrices. —

Dans les débuts de la traction monophasée, on a utilisé différents systèmes pour faire varier la vitesse et le couple des moteurs; nous citerons celui employé sur les locomotives d'essai des Chemins de fer du Midi dont les moteurs démarraient en moteur à répulsion avec balais en court-circuit, puis étaient couplés en série quand la vitesse synchrone était atteinte; sur la grosse locomotive 2 D 1 à 1 seul moteur série de 5 000 ch des Chemins de fer d'Etat Hessois-Prussiens, le réglage était effectué par couplage graduel pour les faibles vitesses et par décalage des balais pour les grandes vitesses; ce moteur était d'une construction tout à fait spéciale; il tournait à une vitesse de 240 t/m, absorbait une intensité de 7 000 A et comportait 36 pôles inducteurs. Pour faire varier la vitesse et le couple des moteurs monophasés, on ne connecte pas comme en courant continu ces moteurs en série ou en parallèle, ils sont toujours connectés en parallèle sauf lorsqu'on emploie des moteurs jumelés qui sont constamment branchés en série; il n'est pas fait usage non plus de la variation de vitesse par shuntage des inducteurs ou variation du nombre de spires de ceux-ci. Le seul système utilisé aujourd'hui est la régulation par variation de la tension appliquée aux bornes des moteurs.

La motrice captant le courant sous une tension très élevée (généralement 15 000 V) il y a lieu d'installer un transformateur abaissant cette tension à une valeur suffisamment faible (250 à 500 V) pour être utilisée sur les moteurs; ce transformateur est à prises variables sur l'enroulement basse tension (quelquefois sur l'enroulement haute tension) et c'est en connectant les moteurs successivement sur les différentes prises du transformateur que l'on fait varier la tension d'alimentation des moteurs. Ces différentes connexions sont effectuées, soit par un combinateur ou graduateur de tension,

soit par contacteurs commandés individuellement à main, à air comprimé ou électromagnétiques.

*Graduateur de tension système Brown Boveri.* — La graduateur de tension système Brown Boveri, employé sur les locomotives des Chemins de fer Fédéraux, se compose de deux barres de contact : une barre principale avec un balai glissant et une barre secondaire parallèle à la première avec un

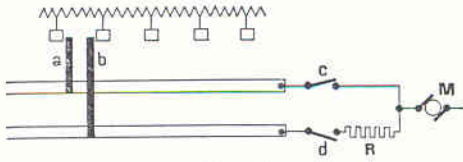


Fig. 410

balai correspondant. Les deux balais isolés l'un de l'autre sont solidaires d'un écrou se déplaçant le long d'un arbre fileté. Le fonctionnement de cet appareil est le suivant (fig. 410) :

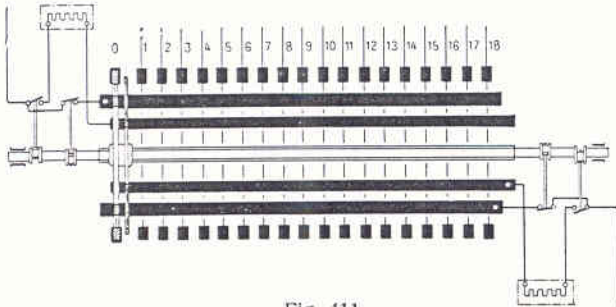


Fig. 411

Le moteur étant alimenté par le balai *a*, le rupteur *c* est fermé et le rupteur *d* est ouvert; lorsque l'ensemble des deux balais se déplace vers la droite par exemple, le balai *b* entre en contact avec le plot suivant avant que le balai *a* ait quitté son plot; le rupteur *d* se ferme ensuite, le rupteur *c* s'ouvre et le balai *a* quitte le plot sur lequel il était; le moteur *M* est alors alimenté par l'intermédiaire de la résistance *R*; on voit aisément que, par ce dispositif, les balais ne quittant pas les plots en charge, tout arc de rupture aux contacts est évité. Les rupteurs sont commandés par cames entraînées par l'arbre fileté.

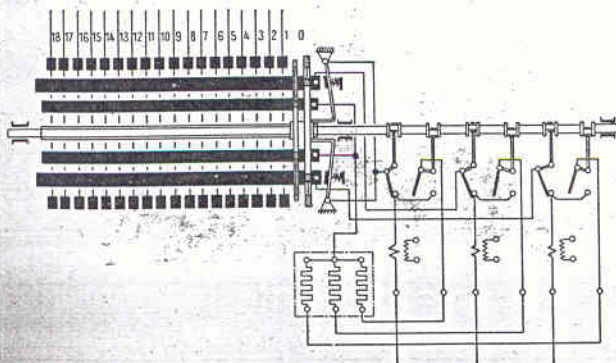
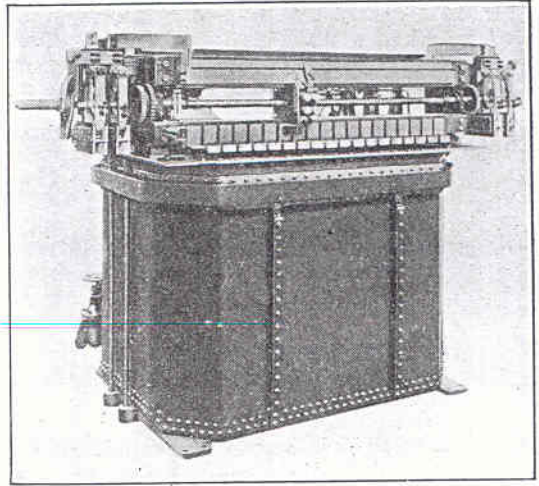


Fig. 412



(Cie Electro-Mécanique)

Fig. 413 — Graduateur de tension disposé sur transformateur.

Le même arbre peut déplacer plusieurs jeux de balais et commander simultanément plusieurs moteurs. Les figures 411 et 412 représentant schématiquement 2 graduateurs de tension l'un 2 pour moteurs l'autre pour 3 moteurs.

Le graduateur de tension peut être fixé en un point quelconque de la voiture, mais il est plus généralement monté directement sur le transformateur à prises variables (fig. 413). La construction des transformateurs à rapport variable est assez délicate et l'on ne peut guère dépasser 18 prises au secondaire. Pour certaines motrices de forte puissance, on

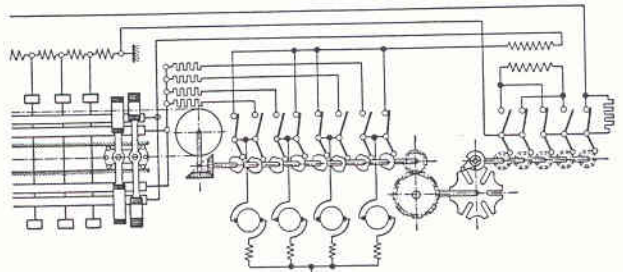


Fig. 414

peut avoir besoin d'un nombre supérieur de prises au graduateur, afin d'avoir un démarrage irréprochable.

La Sté An. Brown Boveri et Co a imaginé un système permettant d'obtenir un nombre d'étage de démarrage supérieur à 18. La figure 414 représente schématiquement ce dispositif pouvant donner 21 positions de démarrage avec un transformateur à 7 prises secondaires. Le principe de fonctionnement est le suivant :

A chaque prise de transformateur, c'est-à-dire à chaque position du graduateur correspondent 3 valeurs de la tension appliquée au moteur; ces 3 valeurs sont obtenues à l'aide d'un transformateur auxiliaire mis en série sur le circuit secon-

daire du transformateur principal. L'enroulement secondaire du transformateur auxiliaire est d'abord branché de manière que sa tension soit opposée à celle du transformateur principal; puis la tension auxiliaire est annulée et enfin le transformateur auxiliaire est relié de telle façon que sa tension s'ajoute à la tension du transformateur principal. On obtient donc 3 valeurs de la tension pour chaque prise du transformateur principal, soit 21 valeurs pour un transformateur à 7 prises au secondaire. Ce dispositif a été employé sur les motrices à 4 moteurs de 775 ch unihoraires des Chemins de fer Fédéraux.

La commande du graduateur de tension est faite, soit à la main, soit à l'aide d'un servomoteur.

**Contacteurs.** — Dans ce système de commande, chaque prise du transformateur peut être reliée tour à tour à 2 barres générales par l'intermédiaire de contacteurs électropneumatiques ou électromagnétiques; les deux barres sont reliées ensemble par une self de passage dont le point milieu est relié aux moteurs.

D'autres dispositifs ont été imaginés; la Sté Oerlikon utilise notamment sur les locomotives du type 1 C 1 de 91 tonnes comportant 2 moteurs série compensés de 825 ch et 2 transformateurs, un contrôleur de marche à 12 contacts par transformateur actionné par commande électro-pneumatique; on obtient ainsi 23 vitesses de régime.

Sur les locomotives pour trains express 1 B B 1 de 113 tonnes avec 4 moteurs de 560 ch le même dispositif a été utilisé mais avec commande par servomoteur électrique.

Sur les machines pour trains de marchandises 1 C C 1 de 128 tonnes avec 4 moteurs de 550 ch et 2 transformateurs on emploie un appareil dit interrupteur à gradins qui établit les différentes connexions nécessaires aux prises du secondaire du transformateur à l'aide de touches et de bras articulés.

**Régulateur d'induction.** — Ce procédé consiste à intercaler, en série, avec le secondaire du transformateur d'arrivée, le circuit secondaire d'un régulateur d'induction. Cet appareil est analogue à un moteur d'induction monophasé avec primaire fixe et secondaire mobile; le primaire est fixe et le secondaire peut être décalé par rotation autour de son axe de manière à embrasser plus ou moins de flux primaire. Ce procédé a été utilisé par les Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est sur des automotrices d'essai livrées à la Cie des Chemins de fer du Midi lorsque cette compagnie utilisait le courant monophasé. Ces automotrices comportaient 2 transformateurs à rapport de transformation fixe 12000/240; les primaires de ces transformateurs étaient alimentés en parallèle sur la ligne et les secondaires comportaient chacun en série, l'enroulement secondaire d'un régulateur d'induction dont la tension pouvait varier entre

0 et 140 volts, soit dans le même sens, soit en sens inverse de la tension du transformateur. L'ensemble des secondaires des 2 transformateurs et ceux des 2 régulateurs étant en série, la tension pouvait varier entre les limites :

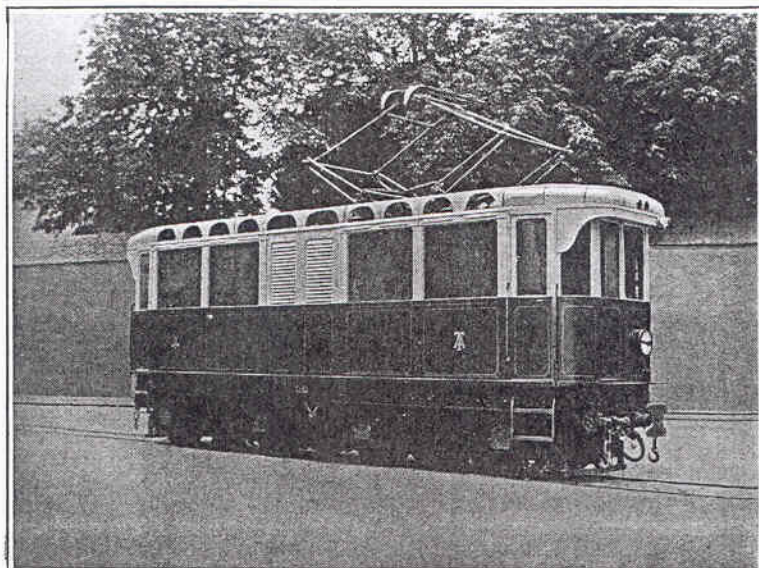
$$2 \times (240 - 140) = 200 \text{ V}$$

$$\text{et } 2 \times (240 + 140) = 760 \text{ V}$$

Les deux régulateurs d'induction étaient commandés par servomoteur. Ce système de régulation permet d'obtenir un réglage de la tension progressif et continu, sans à-coups; il supprime l'inconvénient que présente l'emploi de transformateurs à nombreuses prises. Par contre, ce dispositif augmente l'encombrement, le poids de l'équipement et contribue à abaisser le facteur de puissance du système.

Nous avons vu que le courant, capté sous une tension très élevée, doit être transformé avant d'être envoyé aux moteurs. Autrefois, on estimait indispensable de diviser la tension en deux et de la munir de 2 transformateurs de manière à ce qu'elle puisse encore fonctionner sous puissance moitié, en cas d'avarie à un transformateur. La pratique a montré que cette précaution n'était pas indispensable et on n'installe qu'un seul transformateur sur chaque motrice. Ces transformateurs sont à bain d'huile avec refroidissement, soit par circulation dans des radiateurs disposés à l'extérieur de la motrice, soit par des tubes réfrigérants traversant la cuve du transformateur et parcourus par un courant d'air froid. Le transformateur est à prises variables, généralement au secondaire, plus rarement au primaire sur la haute tension comme cela existe dans quelques locomotives de la ligne du Gothard; dans ces locomotives, le système de réglage a été placé côté haute tension dans le but de diminuer le poids.

Le transformateur comporte des prises variables jusqu'à 600 V environ pour les moteurs simples et jusqu'à 1200 V pour les moteurs jumelés; en outre une prise à 1 000 V et à 800 V est prévue pour le chauffage du train; les moteurs auxiliaires: pompe à air, ventilateurs



(Forges et Ateliers de Const. Electr. de Jeumont)

Fig. 415 — Tracteur à bogies pour courant monophasé 1000 V 25 p/s.

LOCOMOTIVE 2 D o 1. — SCHEMA GÉNÉRAL D'ÉQUIPEMENT

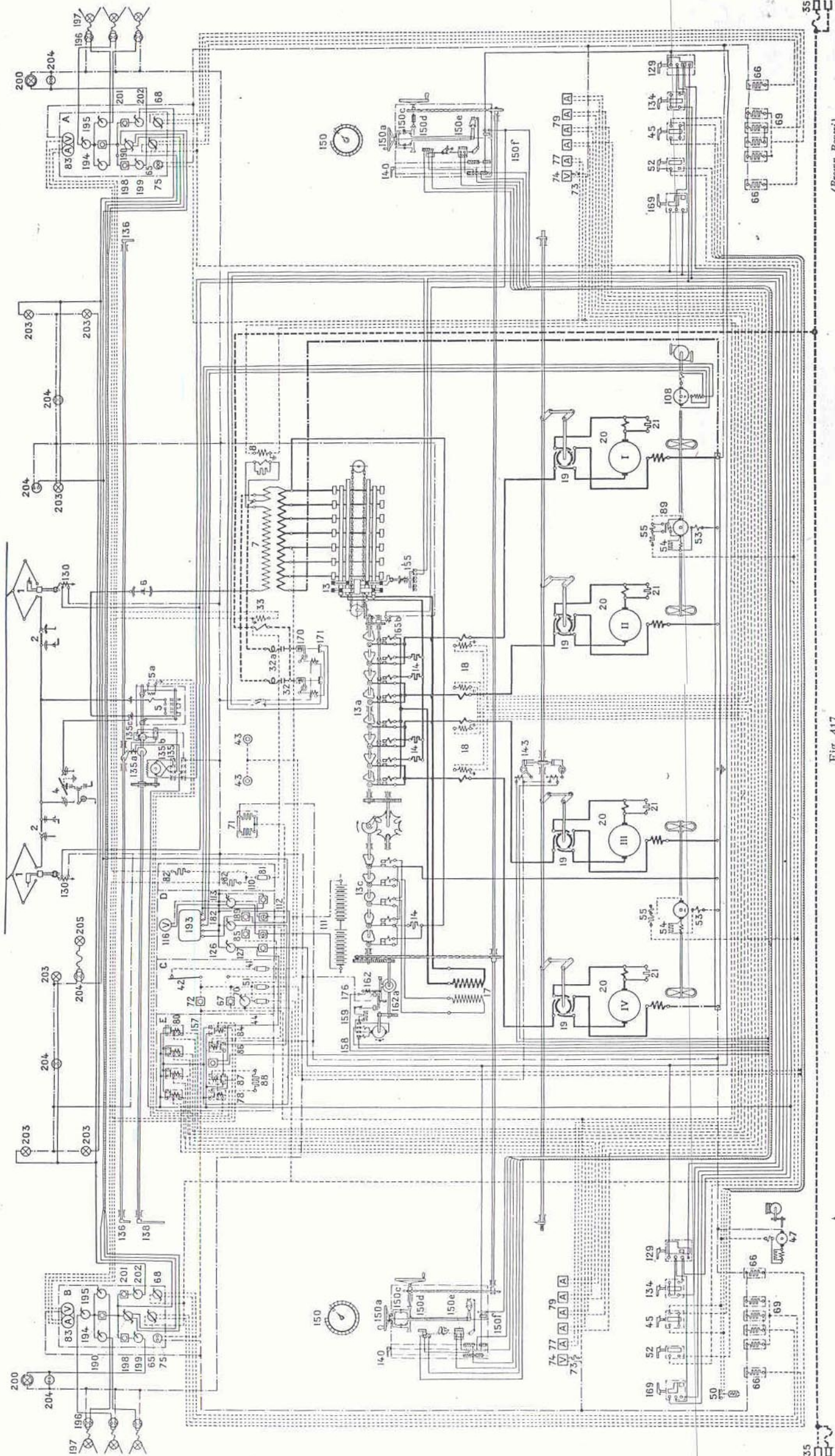
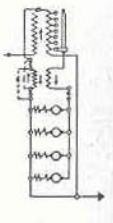


Fig. 147

(Brown Boveri)



## LEGENDE

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pantographe.</li> <li>2. Sectionneur.</li> <li>4. Interrupteur de mise à la terre.</li> <li>5. Disjoncteur principal.</li> <li>5a. Transformateur d'intensité du relais à maximum du courant.</li> <li>6. Entrée du câble haute tension.</li> <li>8. Transformateur d'intensité pour instruments de mesure.</li> <li>13. Graduateur de tension.</li> <li>13a. Interrupteur avec soufflage des étincelles.</li> <li>13c. Commutateur pour transformateur auxiliaire.</li> <li>14. Résistance d'amortissement du graduateur de tension.</li> <li>17. Transformateur auxiliaire.</li> <li>18. Transformateur d'intensité pour moteur de traction.</li> <li>19. Inverseur de marche.</li> <li>20. Moteur de traction.</li> <li>21. Shunt ohmique de pôle auxiliaire.</li> <li>32. Contacteur de chauffage du train.</li> <li>32a. Bobine d'extinction.</li> <li>33. Transformateur d'intensité de chauffage.</li> <li>35. Accouplement de chauffage.</li> <li>41. Coupe-circuit principal des services auxiliaires.</li> <li>42. Commutateur de branchement au dépôt.</li> <li>43. Boîte à fiches pour branchement au dépôt.</li> <li>44. Coupe-circuit du moteur entraînant le compresseur.</li> <li>45. Commutateur du moteur du compresseur.</li> <li>47. Moteur du compresseur.</li> <li>50. Conjoncteur-disjoncteur automatique du groupe moteur-compresseur.</li> <li>51. Coupe-circuit du moteur des ventilateurs, de la pompe à huile et de la génératrice.</li> <li>52. Interrupteur du moteur des ventilateurs, de la pompe à huile et de la génératrice.</li> <li>53. Moteur pour ventilateurs, pompe à huile et génératrice.</li> <li>54. Shunt ohmique de pôle auxiliaire.</li> <li>55. Résistance ohmique de démarrage.</li> <li>65. Commutateur pour chauffe-pieds.</li> <li>66. Chauffe-pieds.</li> <li>67. Coupe-circuit pour le chauffage de la cabine et le réchaud d'huile.</li> <li>68. Commutateur de chauffage de la cabine.</li> <li>69. Radiateur électrique de la cabine.</li> <li>70. Interrupteur du réchaud d'huile.</li> <li>71. Réchaud d'huile.</li> <li>72. Coupe-circuit des instruments de mesure.</li> <li>72. Résistance auxiliaire du voltmètre pour la haute tension.</li> <li>74. Voltmètre pour la haute tension.</li> <li>75. Boîte à fiches pour 220 volts.</li> <li>77. Ampèremètre du circuit à haute tension.</li> <li>78. Relais à maximum du courant du circuit à haute tension.</li> <li>79. Ampèremètre du moteur de traction.</li> <li>80. Relais à maximum de courant du moteur de traction.</li> <li>81. Coupe-circuit du voltmètre du chauffage.</li> <li>82. Résistance du voltmètre du chauffage.</li> <li>83. Voltmètre et ampèremètre de chauffage.</li> <li>84. Relais à maximum de courant pour le chauffage.</li> <li>85. Coupe-circuit du relais 86.</li> <li>86. Relais à tension nulle du disjoncteur principal.</li> <li>87. Relais de blocage.</li> <li>88. Résistance pour relais de blocage.</li> <li>89. Contacteur de démarrage du moteur 53.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>108. Dynamo.</li> <li>110. Coupe-circuit de la dynamo.</li> <li>111. Batterie.</li> <li>112. Coupe-circuit de la batterie.</li> <li>113. Interrupteur de batterie.</li> <li>116. Voltmètre de la batterie.</li> <li>126. Interrupteur d'asservissement.</li> <li>127. Coupe-circuit d'asservissement.</li> <li>129. Commande à distance du pantographe.</li> <li>130. Commande électro-pneumatique de la valve du pantographe.</li> <li>132. Commutateur du pantographe (seulement pour locomotives N° 10901/02).</li> <li>134. Interrupteur de commande à distance du disjoncteur principal.</li> <li>135. Moteur de commande du disjoncteur principal.</li> <li>135a. Bobine de déclenchement du disjoncteur principal.</li> <li>135b. Disque d'arrêt.</li> <li>135c. Contact de verrouillage du disjoncteur principal.</li> <li>136. Déclencheur d'alarme du disjoncteur principal.</li> <li>138. Commande auxiliaire du disjoncteur principal.</li> <li>140. Commande à distance de l'inverseur de marche.</li> <li>143. Commande électro-pneumatique de l'inverseur de marche.</li> <li>150. Commande à distance du graduateur de tension.</li> <li>150a. Contrôleur du graduateur de tension.</li> <li>150c. Dispositif de déclenchement et commande auxiliaire du graduateur de tension.</li> <li>150d. Contact de commutation pour moteur du graduateur de tension.</li> <li>150e. Contact d'enclenchement de l'électro-aimant de blocage.</li> <li>150f. Contact d'enclenchement de l'électro-aimant 165.</li> <li>155. Contacts de verrouillage du graduateur de tension.</li> <li>157. Coupe-circuit du moteur de commande du graduateur.</li> <li>158. Moteur de commande du graduateur.</li> <li>159. Résistance connectée au moteur 158.</li> <li>162. Electro-aimant de blocage avec contact de fermeture.</li> <li>162a. Accouplement à friction, disque d'arrêt et cliquets.</li> <li>165. Electro-aimant pour déclenchement instantané des moteurs de traction.</li> <li>169. Commande à distance des contacteurs de chauffage.</li> <li>170. Commande électro-pneumatique des contacteurs de chauffage.</li> <li>171. Contact de verrouillage des contacteurs de chauffage.</li> <li>176. Interrupteur de verrouillage du moteur de commande de graduateur.</li> <li>182. Interrupteur du relais 86.</li> <li>189. Coupe-circuit d'éclairage.</li> <li>190. Commutateur d'éclairage.</li> <li>193. Régulateur d'éclairage.</li> <li>194. Fusible des fanaux.</li> <li>195. Interrupteur des fanaux.</li> <li>196. Boîte à fiches des fanaux.</li> <li>197. Fanaux.</li> <li>198. Fusible de la lampe de cabine.</li> <li>199. Interrupteur de la lampe de cabine.</li> <li>200. Lampe de cabine.</li> <li>201. Fusible de lampe d'intérieur.</li> <li>202. Interrupteur de lampe d'intérieur.</li> <li>203. Lampe d'intérieur.</li> <li>204. Boîte à fiches de baladeuse.</li> <li>205. Baladeuse.</li> </ol> |
|--|---|



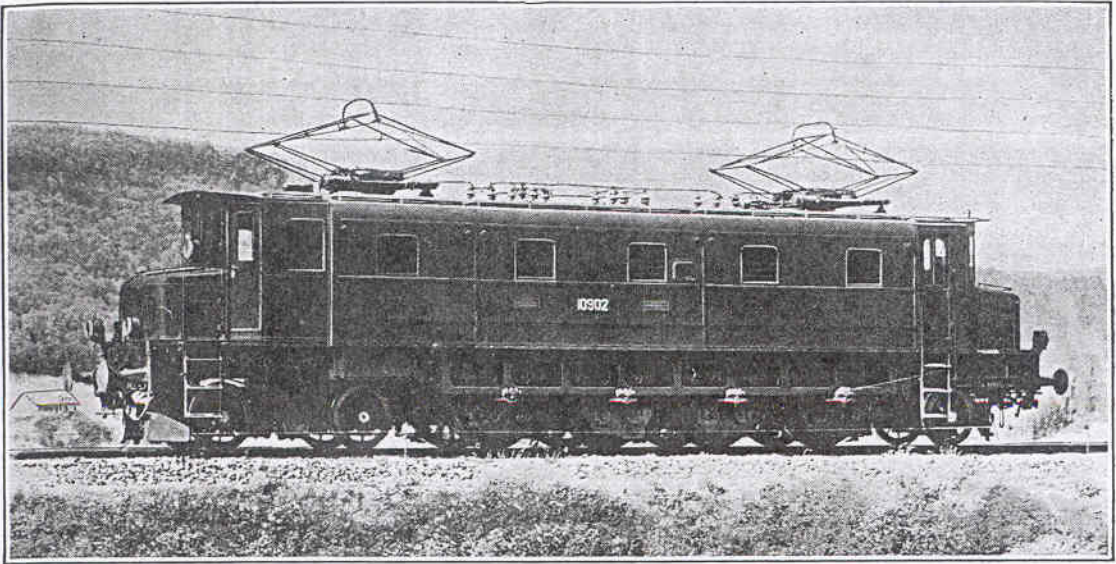


Fig. 416 — Locomotive type 2 D o 1 pour courant monophasé 15 000 V.

(Brown Boveri)

des moteurs et du transformateur, pompe à huile, convertisseur pour l'éclairage, fonctionnent sous une tension de 200 ou 220 V.

Le transformateur est presque toujours fixé dans la partie centrale de la locomotive; il comporte les contacteurs ou le gradateur de tension pour réduire les connexions le plus possible. Les inverseurs de marche sont généralement placés près des groupes de moteurs ou près de chaque moteur dans les locomotives à commande individuelle des essieux; chaque moteur possède généralement son ventilateur propre mais les ventilateurs sont ordinairement entraînés par un arbre commun actionné par un ou 2 moteurs. La figure 415 représente un tracteur à bogies à 4 moteurs pour voie de 1 m des tramways de l'Ain. L'alimentation se fait en courant monophasé 1 000 V 25 p/s; les moteurs ont une puissance unihoraire de 250 ch; le poids en ordre de marche du tracteur et de 27 t et sa vitesse atteint 18 à 45 km/h.

### 118. LES LOCOMOTIVES MONOPHASEES BROWN BOVERI TYPE 2 DO 1 DES CHEMINS DE FER FEDERAUX SUISSES.

— Les locomotives du type 2 D o 1 (fig. 416) ont été construites par la Société Anonyme des Etablissements Brown Boveri et Cie et se distinguent de celles du type 2 C o 1, construites par la même Société, par l'adjonction d'un essieu moteur supplémentaire, ce qui porte à 4 le nombre de ceux-ci; les caractéristiques des moteurs sont les mêmes pour ces deux types de locomotives et les organes de transmissions sont identiques; la transmission de l'effort moteur à la jante des roues se fait par commande individuelle des essieux type Brown Boveri (Voir N° 124).

Les caractéristiques principales des locomotives 2 Do 1 sont les suivantes :

Ecartement .....	1435 mm
Rayon de courbure minimum..	180 m
	(114 m dans les aiguilles)
Charge maximum admissible par essieu.....	20 t

Vitesse maximum .....	100 km/h
Diamètre des roues motrices ..	1610 mm
Diamètre des roues porteuses ..	950 mm
Rapport de réduction .....	1 : 2,57
Longueur hors tampons .....	16700 mm
Empattement total .....	12675 mm
Poids de la partie mécanique ..	63,5 t
Poids de la partie électrique ...	54,0 t
Poids de la locomotive, en ordre de service .....	117,5 t
Poids adhérent .....	80 t

La locomotive 2 D o 1 devait pouvoir remorquer un train de 600 t à la vitesse de 90 km/h sur une rampe de 2‰; avec une rampe de 12‰ et le même poids remorqué, la vitesse devait être de 65 km/h.

Pour rendre possible l'équilibrage du poids de la commande mécanique qui se trouve concentré d'un seul côté et pour rendre la salle des machines plus spacieuse, on a renoncé à la disposition avec deux couloirs de service. La caisse de la locomotive est divisée en trois parties et se prolonge aux deux extrémités par deux avant-corps de protection.

Un châssis en acier coulé, vissé au châssis de la locomotive, supporte les fourillons des roues dentées de chaque commande; ce châssis supporte en outre les pompes de graissage. Les deux essieux intérieurs ont un jeu latéral, ce qui a permis de conserver un empattement rigide assez grand.

On remarque sur la figure 416 que la locomotive comporte à une extrémité un bogie normal des Chemins de fer Fédéraux et à l'autre extrémité un bissel; ceci provient de l'asymétrie dans la répartition des charges, entraînée par le poids du transformateur ce qui a conduit à mettre un bogie du côté de celui-ci et un bissel à l'autre extrémité.

La locomotive comporte 4 moteurs du type E. L. M. 100/16 qui ont été décrits au N° 117 et dont les données se rapportant à la puissance de la locomotive sont les suivantes :

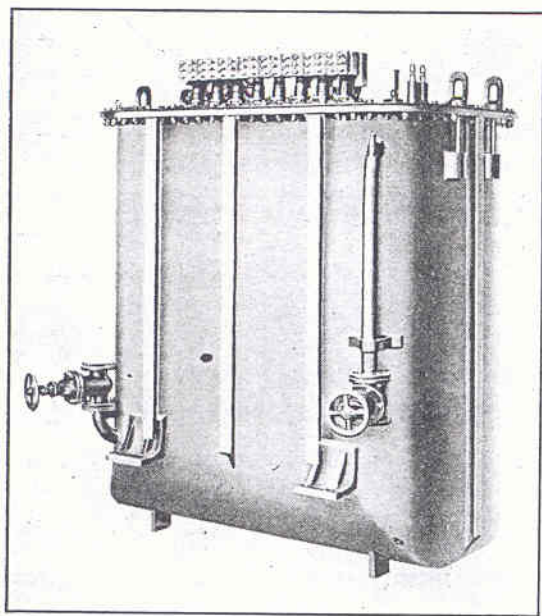
Puissance à l'arbre du moteur ch	Couple par moteur kgm	Vitesse du moteur t/m	Tension par moteur V	Effort de traction à la jante kg	Vitesse du train km/h	Durée de la charge
4 × 700	850	590	359	10.200	70	perman.
4 × 775	960	580	410	11.600	68	1 h.
4 × 930	1110	600	445	13.400	71	1/4 d'h.

L'effort de traction à la jante au démarrage est de 20 000 kg.

Dans la locomotive type 2 Do 1, le poids par cheval atteint 42 kg/ch, la puissance étant mesurée en service permanent, à l'arbre du moteur, avec ventilation forcée modérée.

Le schéma général d'équipement de la locomotive est représenté par la figure 417.

Le transformateur principal (fig. 418) est du type à noyau avec enroulement alterné, les colonnes étant placées horizontalement. La



(Brown Boveri)

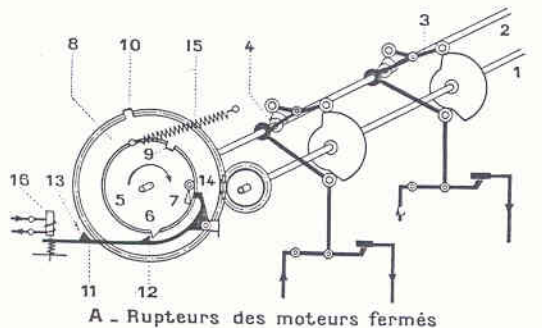
Fig. 418 — Locomotive 2 D o 1. Transformateur principal.

difficulté de construction des transformateurs de locomotive provient du grand nombre de prises nécessaires; pour diminuer ce nombre de prises, tout en obtenant le même nombre de crans de marche, la Sté Brown Boveri a utilisé sur les locomotives 2 D o 1 un transformateur principal de 2 500 kVA 15 000/85 - 525 V (fig. 418) à 7 prises au secondaire, avec un gradateur de tension et un transformateur auxiliaire de 118 kVA - 505/20 V; le nombre de crans de marche peut être ainsi porté à 21 (Voir au N° 117 le principe de fonctionnement de ce dispositif). L'enroulement primaire du transformateur principal comporte en outre 2 prises l'une à 800 V, l'autre à 1000 V pour le chauffage du train. L'enroulement primaire du transformateur auxiliaire est connecté, soit à la septième, soit à la dernière prise du transformateur et son enroulement secondaire est parcouru par le courant total du circuit de traction; de cette manière l'enroulement secondaire du transfor-

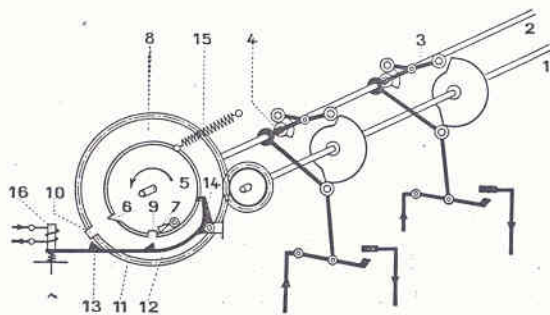
mateur auxiliaire est en série avec l'enroulement secondaire du transformateur principal et la tension secondaire du transformateur auxiliaire s'ajoute ou se retranche de celle du transformateur principal, suivant que l'on inverse ou non les connexions du primaire; si l'enroulement primaire du transformateur auxiliaire est mis en court-circuit, la tension du circuit de traction est égale à la tension du transformateur principal.

La tension aux bornes du secondaire du transformateur principal étant au minimum de 104 V, on peut ainsi obtenir sur le premier gradin du commutateur les tensions 84, 104 et 124 V aux bornes du circuit de traction, en couplant l'enroulement secondaire du transformateur en opposition, en court-circuit ou en série. Pour chaque position du gradateur on a donc 3 valeurs de la tension, soit donc 21 tensions de réglage pour les 7 prises du transformateur principal.

Le gradateur de tension comprend 3 groupes d'appareils; le premier formé de l'interrupteur à glissière permettant d'utiliser l'une quelconque des 7 prises du transformateur principal; le deuxième constitué par 4 paires de rupteurs, une paire pour chaque moteur, permettant le passage d'une prise du transformateur principal à la suivante sans production d'arc de rupture; le troisième groupe enfin comporte les commutateurs pour la commutation ou la



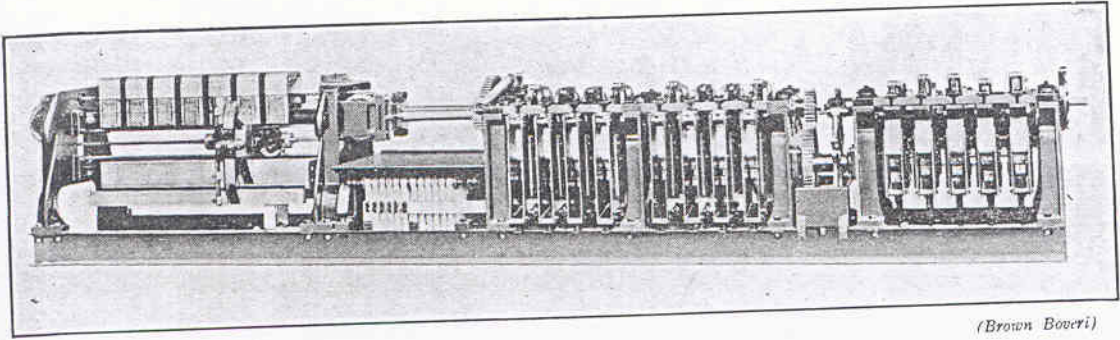
A - Rupteurs des moteurs fermés



B - Rupteurs des moteurs ouverts

(Brown Boveri)

Fig. 419 — Locomotive 2 D o 1. Dispositif de déclenchement instantané.



(Brown Boveri)

Fig. 420 — Locomotive 2 D o 1. — Graduateur de tension.

mise en court-circuit de l'enroulement primaire du transformateur auxiliaire; ce système est identique à celui représenté figure 414. Le gradateur de tension est commandé à l'aide d'un moteur à courant continu à 36 V.

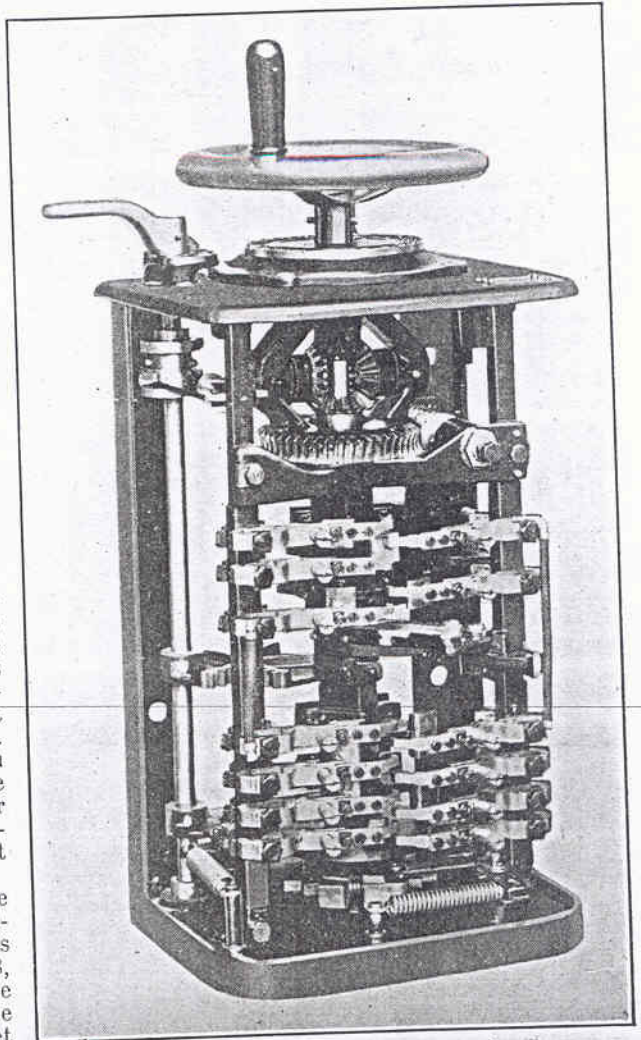
Il a été prévu en outre sur les locomotives 2 D o 1 un dispositif de déclenchement rapide des moteurs qui a pour effet de déconnecter instantanément les moteurs de traction du gradateur de tension; ce dispositif est utilisé lorsque l'on veut arrêter rapidement la locomotive, par exemple lors de signaux indiqués tardivement.

Pour réaliser le déclenchement rapide des moteurs, les fourches des interrupteurs à soufflage d'étincelles ont été pourvues d'une articulation sur leur bras supérieur (fig. 419); les fourches sont montées librement sur l'arbre auxiliaire 2; sur le même arbre sont clavetées les cames 4 et un plateau d'entraînement 5. Lorsque les interrupteurs avec soufflage d'étincelles sont fermés, le plateau d'entraînement 5 est bloqué par le taquet 12 du cliquet de déclenchement 11; les fourches 3 de l'interrupteur à cames sont fermées. Cette position est représentée à la partie supérieure de la figure 419.

Pour provoquer le déclenchement rapide des moteurs, on amène le volant du contrôleur dans la position « 00 », en le faisant passer par la position « 0 »; l'interrupteur 150 f. (fig. 417) placé dans le contrôleur ferme alors le circuit de l'électro-aimant 16 (fig. 419); le taquet 12 du cliquet 11 lâche prise. Sous l'action du ressort 15, le plateau d'entraînement 5 et l'arbre auxiliaire 2 tourneront dans le sens des aiguilles d'une montre. Les cames 4 montées sur l'arbre auxiliaire 2 provoquent l'ouverture des fourches 3 et par suite également des contacts à marteau libérés par les fourches et entraînés vers le bas par leur propre poids. Les 4 moteurs sont ainsi déconnectés du transformateur avant que le gradateur de tension soit revenu à sa position 0. Pour réenclencher les moteurs, il est alors nécessaire que le gradateur de tension soit revenu en position 0.

Lorsqu'on enclenche à nouveau, l'arbre à cames 1, actionné par le moteur de commande entraîne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, la couronne dentée 8, montée librement sur le plateau 5; la butée 9 de la couronne dentée s'appuie contre le cliquet d'entraînement 7; l'arbre auxiliaire et les cames 4 provoquent la fermeture des contacts à marteau par l'intermédiaire des fourches 3; le ressort 15 est alors tendu.

En faisant tourner encore la couronne dentée, on provoque le déplacement du cliquet d'entraînement 7 à l'aide du taquet 14 du cliquet de déclenchement; le plateau d'entraînement 5 soumis à la tension du ressort vient buter à nouveau contre le taquet 12 du cliquet de déclenchement 11; les interrupteurs sont alors fermés et le dispositif de déclenchement rapide est prêt à fonctionner à nouveau.



(Brown Boveri)

Fig. 421 — Locomotive 2 D o 1. — Contrôleur.

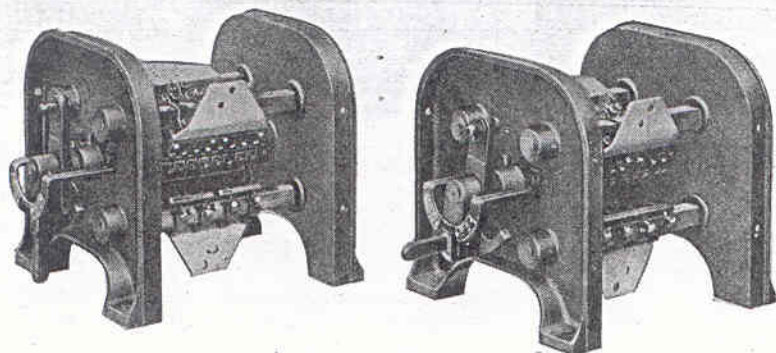
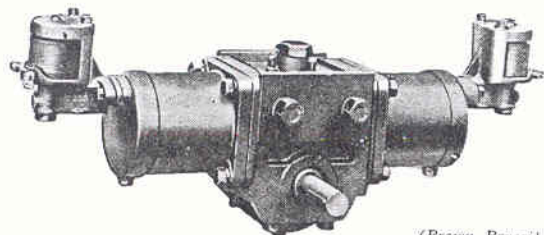


Fig. 422 — Locomotive 2 D o 1. — Inverseur de marche (à droite en position hors-service; à gauche en position marché).

Les figures 420 et 421 représentent respectivement, l'une le gradateur de tension, l'autre le contrôleur.

Pour réduire le plus possible les lignes de connexions des moteurs, les inverseurs de marche ont été adossés directement à chaque moteur; ces appareils sont représentés par la



(Brown Boveri).

Fig. 423 — Locomotive 2 D o 1. — Moteur à air comprimé à commande électro-pneumatique actionnant les 4 inverseurs de marche accouplés.

figure 422; les inverseurs sont commandés par un moteur à air comprimé à commande électro-pneumatique (fig. 423) par l'intermédiaire de bielles.

Le couplage des circuits à haute tension (fig. 424) est très simple; le courant à haute

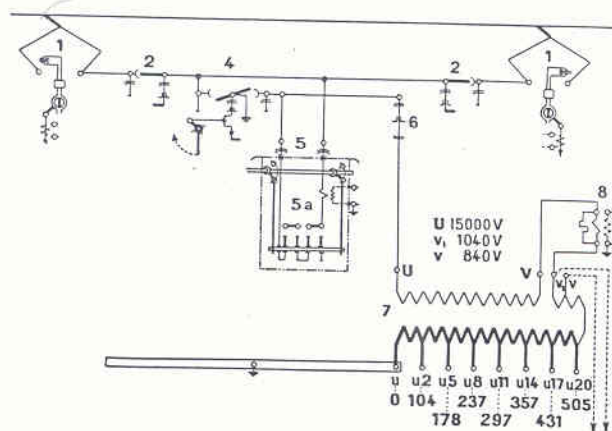


Fig. 424 — Locomotive 2 D o 1.

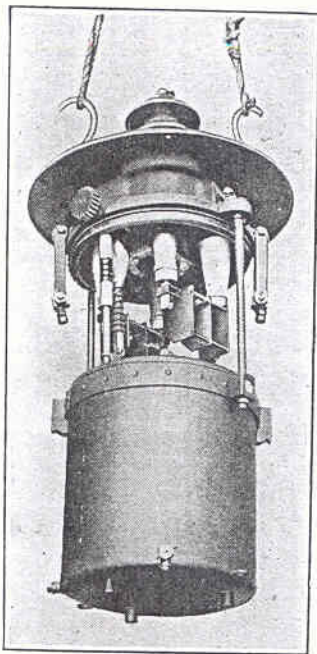
Schéma partiel des circuits à haute tension.

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1. Pantographe.                        | 5a Transformateur d'intensité.      |
| 2. Sectionneur.                        | 6. Entrée du câble à haute tension. |
| 4. Interrupteur de la mise à la terre. | 7. Transformateur à gradins.        |
| 5. Disjoncteur principal.              | 8. Transformateur d'intensité.      |

tension capté par les pantographes est amené au primaire du transformateur à gradins en passant par les sectionneurs 2 et l'interrupteur principal 5; l'interrupteur 4 permet de mettre à la terre la ligne à haute tension avant et après l'interrupteur principal; un verrouillage de cet interrupteur avec la grille fermant la cabine à haute tension ne permet l'ouverture de celle-ci que lorsque l'interrupteur 4 est mis sur position terre; en outre cette grille ne peut être ouverte que lorsque les pantographes ou l'archet sont abaissés (les dernières locomotives 2 D O 1 ayant été munies

de prise de courant à archet). La manœuvre des pantographes ou archets est électro-pneumatique.

L'interrupteur à haute tension (fig. 425) contient le transformateur d'intensité alimentant les relais à maximum d'intensité du circuit haute tension; cette disposition évite le montage d'un appareil spécial à haute tension. La fermeture de l'interrupteur à haute tension s'effectue à l'aide d'un moteur spécial commandé des



(Brown Boveri)

Fig. 425 — Locomotive 2 D o 1. — Interrupteur dans l'huile contenant le transformateur d'intensité.

cabines; l'ouverture de cet interrupteur est faite à l'aide d'un électro-aimant de déclenchement. L'interrupteur peut être en outre commandé mécaniquement des cabines; en outre cet interrupteur ne peut être enclenché électriquement que lorsque le gradateur de tension est en position 0.

L'alimentation des divers services auxiliaires de la locomotive (moteurs de

ventilateurs, dispositif de chauffage) est faite sous la tension 220 V à l'aide d'une prise spéciale du transformateur à gradins.

Les 2 moteurs monophasés des ventilateurs, d'une puissance unitaire de 21 kW à 2 200 t/m entraînent : l'un, les ventilateurs pour le refroidissement de 2 des moteurs de traction, l'autre, les ventilateurs pour le refroidissement des 2 autres moteurs de traction, la pompe de circulation d'huile et la génératrice à courant continu 36 V alimentant le circuit de commande. Chaque ventilateur de moteur débite 150 m<sup>3</sup>/min. d'air sous une pression de 100 mm de colonne d'eau ; l'air frais est aspiré par des ouvertures ménagées sur les parois latérales de la locomotive ; il est chassé à travers le stator et le rotor et après être passé sur le collecteur, il est refoulé à l'extérieur. Le chauffage des cabines de mécanicien est obtenu par 4 radiateurs de 600 W et 2 chauffe-pieds de 200 W. Un commutateur permet d'alimenter les circuits auxiliaires à 220 V, soit normalement sur la prise 220 V du transformateur à gradins, soit sur un circuit à 220 V d'un dépôt à l'aide de fiches spéciales.

Des bornes 800 V et 1 000 V du transformateur à gradins, partent 2 lignes commandées par des contacteurs depuis les cabines de mécanicien et allant aux 2 accouplements de chauffage en passant par un transformateur d'intensité.

La figure 426 représente l'intérieur de la locomotive et la figure 427 l'une des 2 cabines de mécanicien.

**119. TRACTION PAR COURANTS ALTERNATIFS TRIPHASÉS.** — La première application des moteurs triphasés à la traction électrique remonte à 1896, date à laquelle la Compagnie Brown Boveri utilisa des courants triphasés 400 V 40 p/s pour la traction des tramways de Lugano ; en 1899, la même compagnie électrifiât, suivant le même système,

le chemin de fer de Burgdorf-Thoune ; la tension d'alimentation était de 750 V et la fréquence de 40 p/s. Les motrices étaient alimentées à l'aide de 2 fils de trolley et d'un rail conducteur ; c'est le dispositif qui est encore utilisé actuellement. Depuis ces premières applications d'autres installations ont été réalisées : Chemin de fer de la Valteline (3 000 V, 15 p/s) ; Simplon (3 000 V, 16 2/3 p/s) ; Great Northern (6 000 V, 25 p/s). En Italie, la traction par courants alternatifs triphasés se développe et c'est la tension 3 700 V et la fréquence 16 p/s qui ont été choisies, sauf pour la ligne Roma-Sulmona, électrifiée en 1928, qui a été équipée pour fonctionner avec des courants triphasés 10 000 V, 45 p/s. De nombreuses lignes triphasées 3 700 V, 16 p/s sont encore en cours d'électrification.

La traction par courants triphasés présente de sérieux inconvénients : 1° Le couple au démarrage des moteurs asynchrones est sensiblement égal au couple en vitesse normale. 2° Le rendement du moteur n'est bon qu'à une vitesse de régime voisine de celle du synchronisme. 3° Le réglage de la vitesse et du couple ne se fait qu'à l'aide d'artifices exigeant des dispositions coûteuses et encombrantes. 4° Le dispositif de prise de courant est compliqué et d'installation coûteuse puisqu'il faut 2 fils de trolley et 1 rail auxiliaire. 5° La répartition de la charge entre les moteurs d'une même locomotive ou entre ceux de deux locomotives attelées à un même train ne s'effectue d'une manière égale qu'à la condition que les moteurs tournent à la même vitesse ; cela exige que les bandages des roues soient dans un même état d'usure.

Le gros avantage de la traction triphasée est la facilité avec laquelle se fait la récupération d'énergie dans les descentes, c'est pourquoi ce système a été généralement utilisé en pays de montagne.

**Moteurs de traction triphasés.** — Le seul moteur utilisé en traction électrique triphasée est le moteur asynchrone.

Nous savons que la vitesse angulaire de rotation de synchronisme d'un moteur asynchrone est donnée par la formule :

$$\omega_0 = \frac{\omega_1}{p} = \frac{2 \pi f}{p}$$

$f$  étant la fréquence en périodes par seconde du courant d'alimentation et  $p$  le nombre de paires de pôles par phase. La vitesse angulaire de rotation  $\omega$  d'un moteur asynchrone doit être inférieure à  $\omega_0$  pour que le champ tournant puisse induire dans le rotor un certain courant.

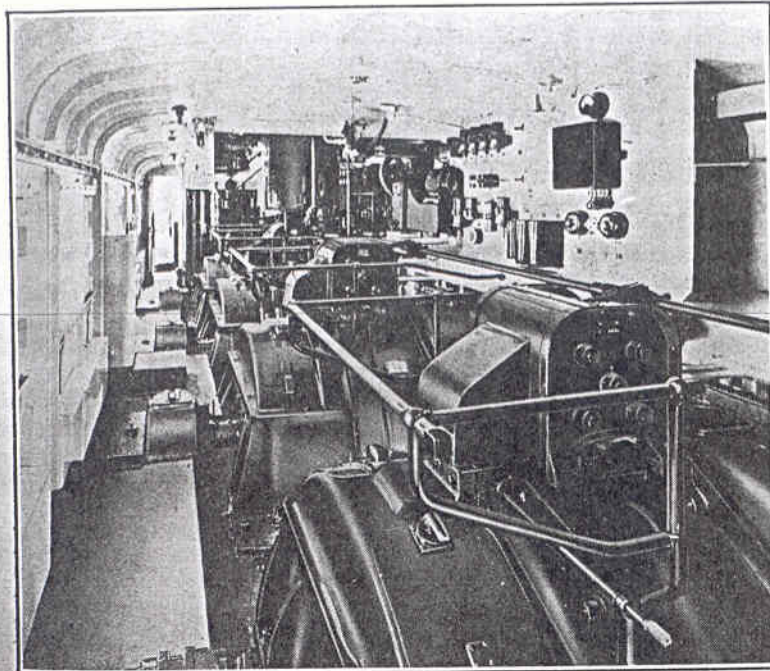
On appelle glissement  $g$  d'un moteur :

$$g = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$$

Le couple d'un moteur asynchrone est donné par la relation :

$$C = \frac{p g \omega_1 \Phi^2 N r}{8 (r^2 + g^2 \omega_1^2 \lambda^2)}$$

en désignant par :



(Brown Boveri)

Fig. 426 — Locomotive 2 D o 1. — Vue intérieure.

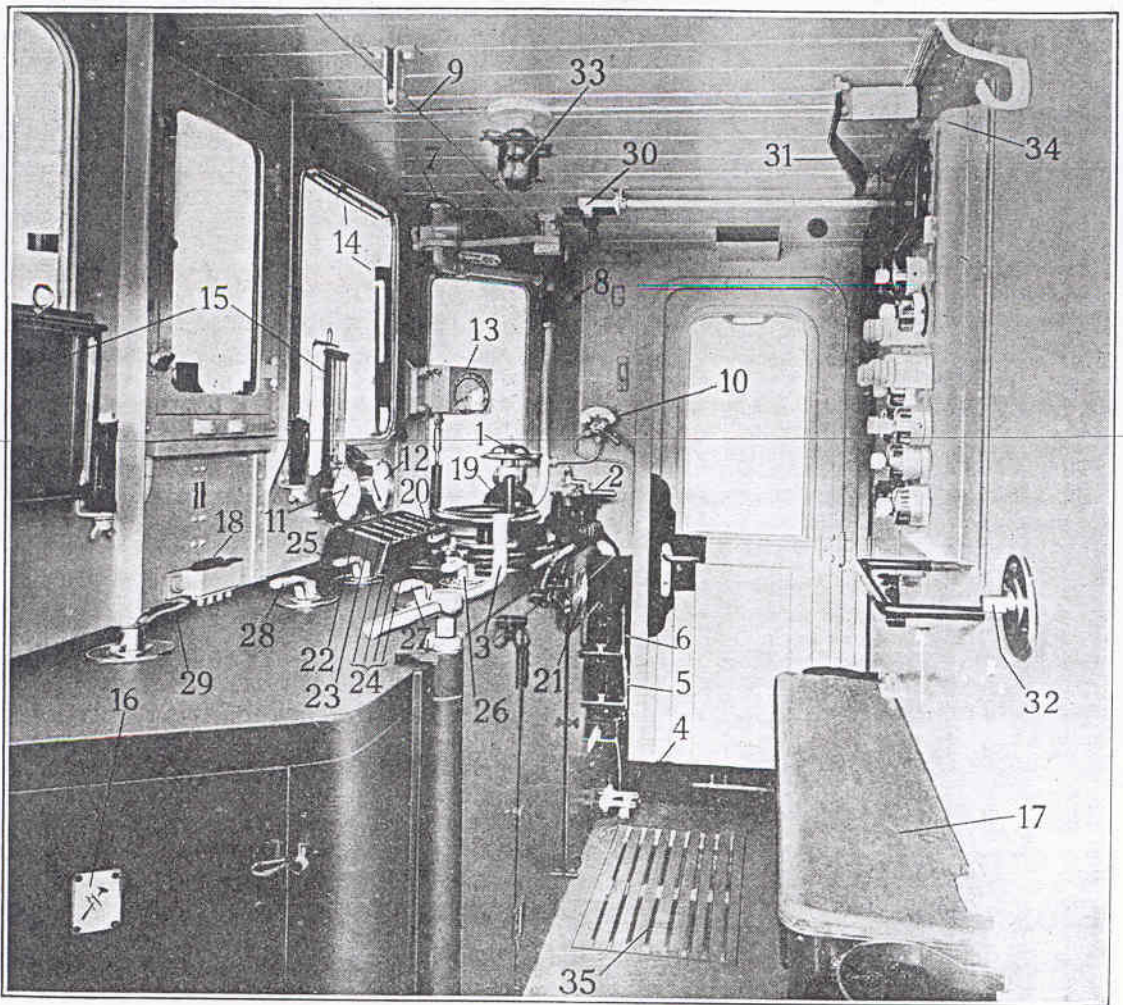


Fig. 427 — Locomotive 2 D o 1. — Cabine de mécanicien.

(Brown Boveri)

1. Valve de réglage du frein.
2. Valve de frein du mécanicien pour le freinage automatique.
3. Frein à main.
4. Soupape de déclenchement.
5. Robinet de fermeture de la soupape de réglage.
6. Robinet de fermeture de la soupape du mécanicien.
8. Robinet de fermeture du sifflet.
9. Câble de commande du sifflet.
10. Robinet de commande des sablières.
11. Manomètre pour le frein modérable.
12. Manomètre pour le frein automatique.
13. Indicateur de vitesse.
14. Essuie glace.
15. Châssis pour l'horaire.
16. Coffre à outils.
17. Réservoir de sable.
18. Graissage des essieux porteurs.
19. Volant du contrôleur.
20. Interrupteur de commande à distance de l'inverseur de marche.
21. Bout d'arbre pour le volant de la commande de secours du gradateur de tension.
22. Voltmètre pour la haute tension.
23. Ampèremètre pour la haute tension.
24. Quatre ampèremètres pour les moteurs de traction.
25. Valve du pantographe.
26. Interrupteur de la commande à distance du disjoncteur principal.
27. Interrupteur pour le groupe ventilateur-pompe à huile.
28. Interrupteur du groupe moteur-compresseur.
29. Interrupteur de la commande à distance du contacteur de chauffage.
30. Levier de déclenchement mécanique de secours du disjoncteur principal.
31. Levier d'enclenchement du disjoncteur principal (commande de secours).
32. Bout d'arbre pour la commande de secours de l'inverseur de marche.
33. Lampe de cabine et des instruments.
34. Tableau pour l'éclairage et le chauffage.
35. Chauffe-pieds avec grille en bois.

$\Phi$  le flux correspondant à un pôle tournant;  
 $N$  le nombre de génératrices périphériques sur le rotor;

$r$  la résistance ohmique d'une de ces génératrices;

$\lambda$  le coefficient de self-induction d'une de ces génératrices.

Si l'on construit les courbes d'intensité et de couple en fonction du glissement, on obtient les caractéristiques représentées sur la figure 428. Ces courbes montrent qu'au démarrage ( $g = 1$ )

la valeur de l'intensité absorbée par le moteur est importante alors que le couple développé est faible; au fur et à mesure que le moteur démarre, le couple augmente et l'intensité diminue; le couple passe par un maximum, pour diminuer très rapidement et devenir nul pour  $g = 0$ ; en outre, remarquons que dans la zone  $AB$  le fonctionnement est instable puisque pour une augmentation de charge, la vitesse diminuant, le glissement augmente et le couple moteur diminue.

Les courbes représentées figure 428 montrent encore que si l'on fait tourner le moteur à une vitesse supérieure à la vitesse de synchronisme (glissement négatif), le couple et le courant changent de sens, autrement dit, le moteur

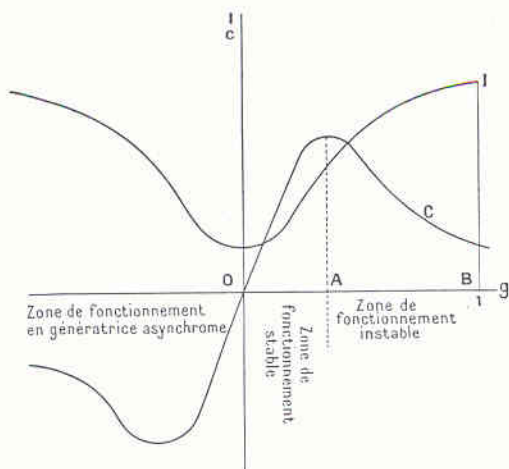


Fig. 428

fonctionne en génératrice. C'est le cas qui se présente lorsqu'une locomotive aborde une descente.

Le décalage de l'intensité par rapport à la tension est variable avec la charge; pour une faible charge, ce décalage est très grand et il diminue lorsque la charge augmente; ceci revient à dire, qu'à vide, le facteur de puissance d'un moteur asynchrone est très mauvais.

Nous avons vu que la valeur du couple était faible au démarrage ( $g = 1$ ); or, si l'on insère des résistances sur le circuit du rotor, le couple maximum ne change pas de valeur mais n'a pas lieu pour la même valeur du glissement et plus cette résistance est forte, plus élevé est le glissement pour lequel a lieu le couple maximum; on peut trouver en particulier la valeur de la résistance à insérer sur le rotor pour obtenir le couple maximum au démarrage; nous verrons dans l'étude de la régulation qu'il existe d'autres procédés, permettant de faire varier soit le couple, soit la vitesse.

La construction des moteurs asynchrones triphasés de traction a fait des progrès depuis plusieurs années et notamment de grands perfectionnements ont été apportés dans les procédés d'isolement permettant, comme nous l'avons vu pour les moteurs à courant continu, de construire des moteurs pour des tensions élevées. Nous n'insisterons pas sur ces perfectionnements qui sont analogues à ceux réalisés dans la construction des moteurs à courant continu haute tension.

**Régulation de la marche des motrices.** —

Deux systèmes de régulation sont employés suivant que l'on veut faire varier le couple en maintenant la vitesse constante, ou la vitesse en maintenant la charge constante.

*Réglage du couple.* — La formule du couple donnée plus haut montre que pour faire varier

celui-ci on doit agir sur le flux primaire  $\Phi$ ; or ce flux étant proportionnel à la tension, cela revient à faire varier cette tension; à cet effet plusieurs dispositifs sont employés :

a) par transformateur-survolteur à rapport de transformation variable (fig. 429). Le primaire du transformateur est relié à la ligne et le secondaire est branché sur le stator du moteur. En raccordant le moteur aux différentes prises, on fait varier la tension et par suite le couple;

b) par couplage étoile-triangle (fig. 430). Si  $u$  est la tension aux bornes des enroulements du moteur et  $U$  celle de la ligne, lorsque le moteur est branché en triangle  $u = U$ . Si les enroulements du moteur sont connectés en étoile

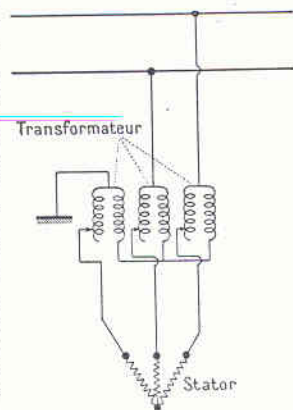


Fig. 429

$$u = \frac{U}{\sqrt{3}} = 0,577 U.$$

On démarrera donc en triangle pour avoir le plus grand couple, puis lorsque le moteur aura pris de la vitesse on connectera les enroulements en étoile;

c) par couplage série-parallèle (fig. 431). Lorsque la motrice possède plusieurs moteurs, on peut coupler



Fig. 430

les stators de ces moteurs par 2 en série pour avoir la moitié de la tension aux bornes de chacun d'eux ou bien en parallèle sur la ligne

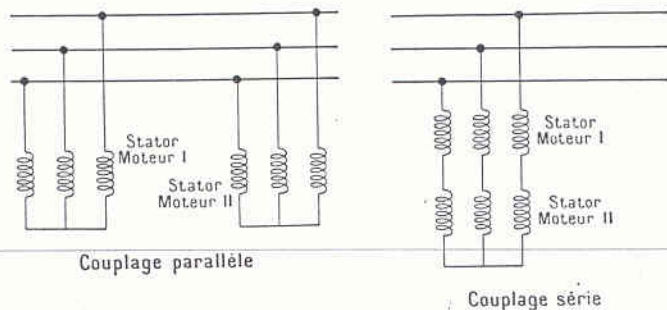


Fig. 431

pour avoir la tension totale. On démarrera donc avec les moteurs en parallèle pour avoir le plus fort couple, puis on connectera les moteurs par 2 en série pour avoir un couple plus faible lorsque le moteur aura atteint une certaine vitesse.

*Réglage de la vitesse.* — 1° par contrôle rhéostatique (fig. 432). Si l'on branche en série une résistance sur le rotor d'un moteur asynchrone triphasé, la courbe représentant la

valeur du couple en fonction du glissement varie comme l'indique la figure 433 la valeur maximum du couple ne change pas, mais se rapproche du point de glissement 1. Ceci nous montre que pour avoir un couple maximum au démarrage il faudra insérer des

2° Par modification du nombre de pôles du moteur (fig. 434). On sait que la vitesse de synchronisme est donnée par la formule :

$$n = \frac{60 f}{p}$$

si donc, on fait varier le nombre de pôles  $2p$  du stator, la vitesse de rotation du moteur varie inversement proportionnellement; si le nombre de pôles est doublé, la vitesse est réduite de moitié. On a réalisé dans ce but des moteurs avec un stator ayant un nombre de pôles variables, couplés, soit en triangle pour la petite vitesse; soit en étoile pour la grande vitesse; si le rotor est bobiné, il comporte deux enroulements correspondant chacun à une vitesse; ces enroulements sont connectés chacun à un jeu de bagues reliées aux résistances. Cette disposition nécessite donc 2 jeux de résistance.

Dans certains cas (locomotives du Simplon), pour simplifier, on a employé des moteurs à cage d'écureuil dont le rotor fonctionne par suite avec un nombre de pôles quelconque. Pour obtenir un plus grand nombre de vitesses on construit des moteurs avec stator comportant deux enroulements distincts permettant 2 vitesses chacun par modification du nombre de pôles. On est arrivé ainsi à obtenir 4 vitesses; c'est ce dispositif qui a été adopté sur les locomotives du Simplon dont l'un des bobinages peut donner 12 et 16 pôles correspondant aux vitesses de 35 et 70 km/h, l'autre bobinage donnant 16 et 8 pôles correspondant aux vitesses de 26 et 52 km/h.

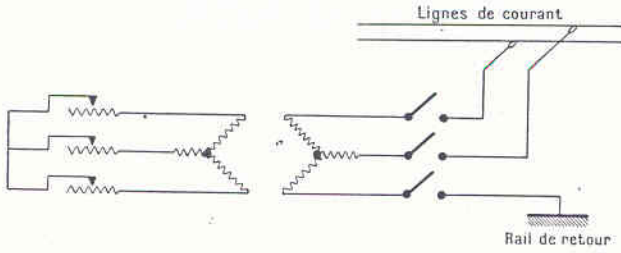


Fig. 432

résistances appropriées sur le circuit rotorique. Si l'on insère une résistance  $r'$  en série avec le rotor, le glissement est proportionnel à la résistance totale du circuit rotorique, ce qui s'exprime par la relation :

$$\frac{g'}{g} = \frac{r' + r}{r}$$

$g$  étant le glissement du moteur sans résistance additionnelle ;

$g'$  étant le glissement du moteur avec résistance additionnelle  $r'$  ;

$r$  résistance du rotor.

Le rapport des vitesses du véhicule, pour les moteurs marchant sans ou avec résistance, est :

$$\frac{V'}{V} = \frac{1 - g'}{1 - g}$$

la résistance à ajouter pour obtenir la vitesse  $V'$  est donc :

$$r' = r \left( \frac{1 - g}{g} \right) \left( 1 - \frac{V'}{V} \right).$$

Cette formule permet de calculer la valeur de la résistance  $r'$  à insérer pour obtenir des réductions de vitesses déterminées.

Ce procédé n'est pas économique puisque l'énergie est gaspillée dans des résistances et cette méthode ne doit donc être employée qu'au cours des démarrages.

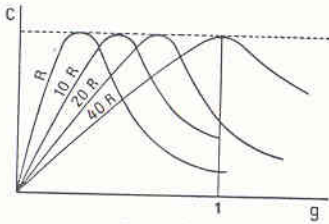


Fig. 433

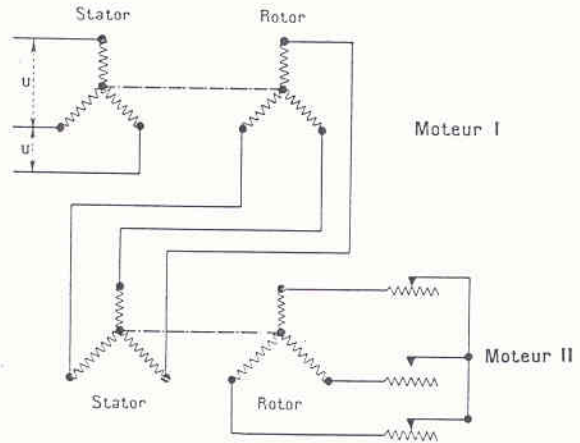


Fig. 435

Ces moteurs ne comportent pas de rotor bobiné et le démarrage est réalisé par variation de tension; le réglage de la tension est obtenu à l'aide de transformateurs à rapport de transformation variable.

3° Par groupement des moteurs en cascade (fig. 435). Le principe de cette méthode est le suivant: considérons 2 moteurs identiques triphasés dont l'un est relié au réseau, le rotor de ce moteur étant relié au stator de l'autre et ce dernier ayant son rotor fermé sur un jeu de résistances. Admettons en outre que ces 2 moteurs sont assujettis mécaniquement à tourner à la même vitesse; désignons par

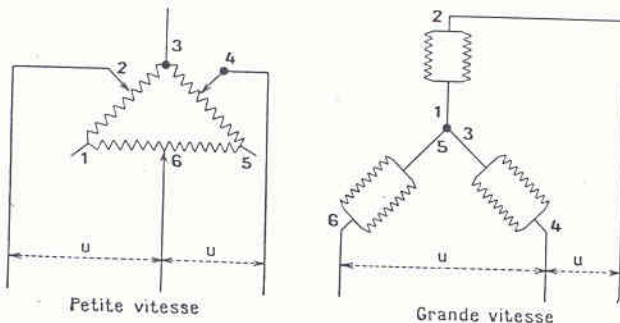


Fig. 434



$2p$ , le nombre de pôles de chaque moteur;  
 $\omega_0$ , la vitesse angulaire de synchronisme;  
 $\omega$ , la vitesse de rotation des moteurs;  
 $f$ , la fréquence du courant d'alimentation;  
 $g$ , le glissement de l'induit par rapport au champ tournant du 1<sup>er</sup> moteur;  
 $g'$ , le glissement de l'induit par rapport au champ tournant du 2<sup>e</sup> moteur.

La vitesse de synchronisme est donnée par la relation :

$$\omega_0 = \frac{2 \pi f}{p}$$

et la vitesse de rotation du premier moteur est :

$$\omega = (1 - g) \omega_0 = (1 - g) \frac{2 \pi f}{p}$$

La pulsation des courants se développant dans le rotor du premier moteur est :

$$2 \pi f - p \omega = 2 \pi f g$$

et la vitesse de synchronisme du second moteur est :

$$\omega'_0 = \frac{2 \pi f g}{p}$$

La vitesse de rotation du 2<sup>e</sup> moteur est alors donnée par :

$$\omega' = (1 - g') \times \frac{2 \pi f g}{p}$$

Comme les 2 moteurs tournent à la même vitesse :

$$\omega = \omega'$$

$$\text{et } (1-g) \frac{2 \pi f}{p} = (1-g') \frac{2 \pi f g}{p}$$

d'où l'on déduit :

$$g = \frac{1}{2} \frac{1}{1-g'}$$

comme  $g'$  est de l'ordre de 4 à 5 %,  $g$  est sensiblement égal à 1/2 et les 2 moteurs tournent à 1/2 vitesse.

Le groupement des moteurs en cascade peut être effectué de façons différentes :

- 1<sup>er</sup> moteur alimenté par son stator sur le réseau; stator du 2<sup>e</sup> moteur alimenté par le rotor du premier moteur, son rotor étant fermé sur des résistances;
- 1<sup>er</sup> moteur alimenté par son stator sur le réseau; rotor du 2<sup>e</sup> moteur alimenté par le rotor du premier moteur, son stator étant fermé sur des résistances;
- 1<sup>er</sup> moteur alimenté par son rotor sur le réseau; stator du 2<sup>e</sup> moteur alimenté par le stator du premier moteur, son rotor étant fermé sur les résistances;
- 1<sup>er</sup> moteur alimenté par son rotor sur le réseau; rotor du 2<sup>e</sup> moteur alimenté par le stator du premier moteur, son stator étant fermé sur des résistances.

La tension du courant d'alimentation des lignes triphasées étant en général assez basse, on ne dispose pas de transformateur abaisseur sur les locomotives et le courant est envoyé directement aux moteurs par l'intermédiaire du système de contrôle. Il n'y a rien de spécial dans l'équipement des motrices triphasées et nous décrirons ci-après les machines de la série E 331 des Chemins de fer de l'Etat Italien.

**120. LES LOCOMOTIVES TRIPHASÉES DE LA SÉRIE E 331 DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT ITALIEN.** — Ces locomotives à grande puissance et à grande vitesse, construites pour la partie mécanique, partie par les Ateliers de Construction Breda, partie par les Ateliers Mécaniques Miani et Silvestri à Milan et équipées par le Tecnomasio Italiano Brown Boveri à Milan devaient répondre aux caractéristiques suivantes :

Tension d'alimentation à la ligne de contact .....	3000 à 3700 V
Fréquence.....	15 à 17 p/s
Nombre de moteurs de traction .....	2
Nombre d'essieux moteurs accouplés .....	3
Nombre d'essieux porteurs répartis entre les 2 bogies ...	4
Diamètre des roues motrices	1630 mm
Diamètre des roues porteuses	960 mm

En outre, il avait été prescrit que, les roues étant mi-usées, les locomotives devaient pouvoir développer à la jante, pendant une heure, pour une tension de 3300 V et une fréquence de 16,7 p/s, les efforts de traction suivants :

Vitesse synchrone km/h	Effort de traction F. kg	Puissance $P_t$ Ch	Puissance $P_m$ Ch
37,5	9000	1250	660
50,0	9000	1670	880
75,0	9500	2640	1390
100,0	6000	2220	1170

Les valeurs  $P_t$  du tableau représentent la puissance totale développée à la jante des roues,  $P_m$  la puissance horaire de chaque moteur à l'arbre, en admettant un rendement à la transmission de 95 %.

Les locomotives devaient en outre :

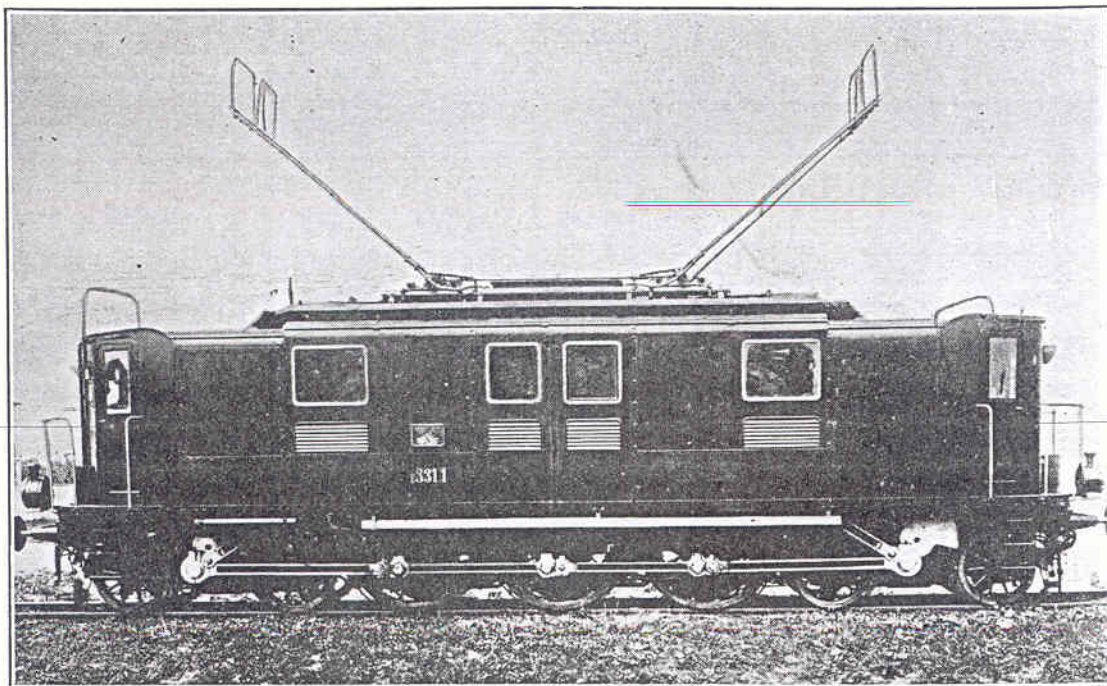
1<sup>o</sup> Être capables de développer un effort de traction au démarrage de 12 000 kg à la jante des roues.

2<sup>o</sup> Pouvoir démarrer un train de 335 t (non compris la locomotive) sur une rampe de 12 ‰ avec une accélération moyenne de 0,042 m/s/s de 0 jusqu'à la vitesse de 75 km/h.

3<sup>o</sup> Pouvoir démarrer un train de 185 t (non compris la locomotive) sur une rampe de 3,5 ‰ jusqu'à la vitesse de 100 km/h en 135 s, soit avec une accélération de 0,206 m/s/s.

4<sup>o</sup> Effectuer à intervalles de 3 minutes, 20 démarrages successifs d'un train de 335 t (non compris la locomotive) jusqu'à la vitesse de 37,5 km/h sur une voie avec courbe de 180 m de rayon et rampe de 3 ‰ au maximum, sans que l'échauffement des moteurs, résistances et appareils ne dépasse de 75° C la température ambiante.

De plus, il était spécifié, qu'une locomotive comportant des roues munies de bandages neufs, d'un diamètre de 1630 mm devait pouvoir marcher en double traction avec une machine ayant des roues munies de bandages usés d'un diamètre de 1575 mm.



(Brown Boveri)

Fig. 436 — Locomotive type E 331 pour courants triphasés.

Les locomotives du type E 331, représentées par la figure 436, comportent 3 essieux moteurs accouplés et actionnés par les moteurs de traction, à l'aide de faux essieux placés directement au-dessus des pivots des bogies. Les caractéristiques principales de ces locomotives sont données par le tableau suivant :

Empattement total .....	10 600 mm
Empattement fixe .....	3 600 mm
Distance entre traverses de tête ..	12 170 mm
Distance entre les tampons ....	13 370 mm
Largeur maximum de la caisse ..	2 950 mm
Poids de la partie mécanique ..	50 t
Poids de la partie électrique ...	42 t
Poids adhérent .....	49,5 t

Le châssis principal et les bogies reposent sur les boîtes d'essieux par l'intermédiaire de ressorts à lames.

Le freinage est effectué à l'aide de 2 sabots par essieu commandés par un frein automatique et modérable à air comprimé système Westinghouse.

Pour obtenir les quatre vitesses de régime imposées, on a utilisé des moteurs de traction à nombre variable de pôles (6 ou 8) que l'on a couplés soit en cascade, soit en parallèle.

À la fréquence 16,7 p/s, les différentes vitesses obtenues sont les suivantes :

Vitesse km h	Nombre de pôles	Couplage	Nombre de tours synchrones
37,5	8	cascade	125
50	6	do	167
75	8	parallèle	250
100	6	do	333

La figure 437 montre comment ces couplages ont été réalisés; nous appellerons *moteur primaire*, celui qui est branché constamment à la ligne de contact et *moteur secondaire* l'autre.

Dans le couplage en cascade, les rotors des deux moteurs sont reliés entre eux et les résistances de démarrage sont branchées aux bornes du stator du moteur secondaire; à la première vitesse les 3 phases du stator du moteur secondaire sont reliées en triangle et les résistances de démarrage en étoile; celles-ci ne reçoivent donc au démarrage que la tension simple :

$$\frac{3300}{\sqrt{3}} = 1910 \text{ V ;}$$

à la deuxième vitesse les phases du stator sont reliées en étoile.

Dans le couplage en parallèle, les résistances sont groupées en triangle et reliées aux bornes des rotors des deux moteurs.

On peut craindre dans ce système (moteurs dont les rotors sont reliés mécaniquement) que des courants de compensation prennent naissance; or il a été reconnu pratiquement que, si le montage des rotors est bien effectué, si les enroulements de ces rotors sont placés dans la même position par rapport aux stators, ces courants de compensation seront très faibles; d'ailleurs, il est à remarquer qu'aux vitesses de régime, ces courants disparaissent puisque les rotors sont mis en court-circuit.

La variation du nombre de pôles des rotors et stators est obtenue au moyen de commutateurs spéciaux; à cet effet, chaque phase des stators comprend 6 parties d'enroulement à 2 extrémités, soit en tout 36 extrémités qui sortent de chaque stator; un commutateur à 2 positions procède aux opérations de couplage.

Par contre, comme il aurait été impossible de relier les 36 câbles de sortie du rotor à des

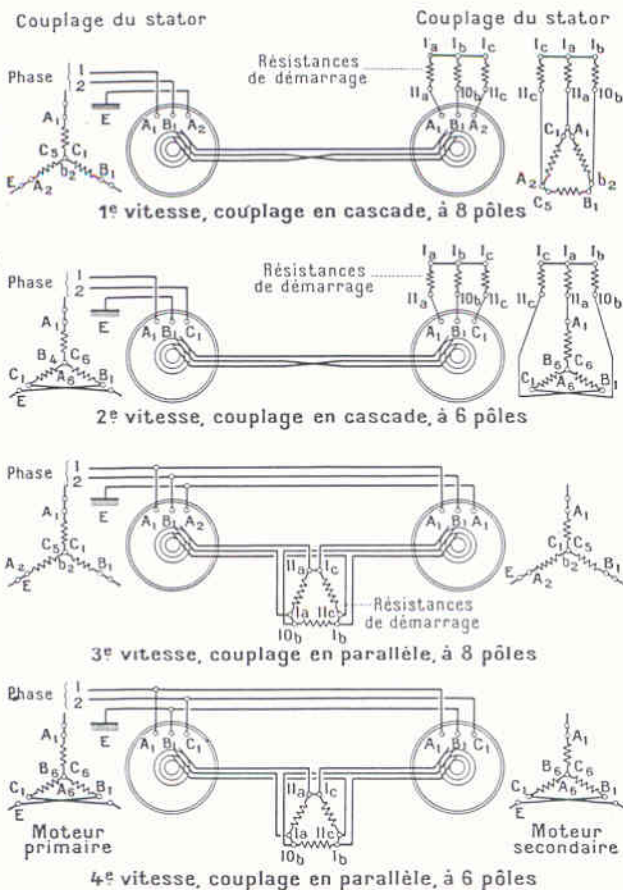


Fig. 437 — Locomotive type E 331. — Schéma général des circuits

- A1-b2 / B1-C5 / C1-A2 ) Phases du stator dans le couplage à 8 pôles
- A1-A6 / B1-B6 / C1-C6 ) Phases du stator dans le couplage à 6 pôles
- 1a-11a / 1b-10b ) Phases des résistances de démarrage.
- 1c-11c )

bagues, on a monté concentriquement sur l'arbre du rotor et tournant avec lui un commutateur à commande pneumatique.

Les moteurs de traction, répondent aux caractéristiques de la figure 438. Les encoches du stator et du rotor sont mi-ouvertes; celles du rotor sont obliques pour éviter les déformations d'ondes produites par les dents. Le refroidissement des moteurs est obtenu artificiellement par des ventilateurs qui aspirent l'air à la périphérie du stator.

L'amenée de courant à la locomotive se fait à l'aide de 2 prises de courant bipolaires à archets; des bobines de self et des parafoudres système Wurtz ont été installés sur l'arrivée.

L'interrupteur principal de la locomotive, bipolaire et à bain d'huile (fig. 439), est à commande pneumatique; il possède un relais à tension nulle et deux relais à action différée pour courant maximum; il peut être en outre déclenché à distance par commande électrique. Le changement du sens de rotation des moteurs est effectué par un inverseur de marche qui

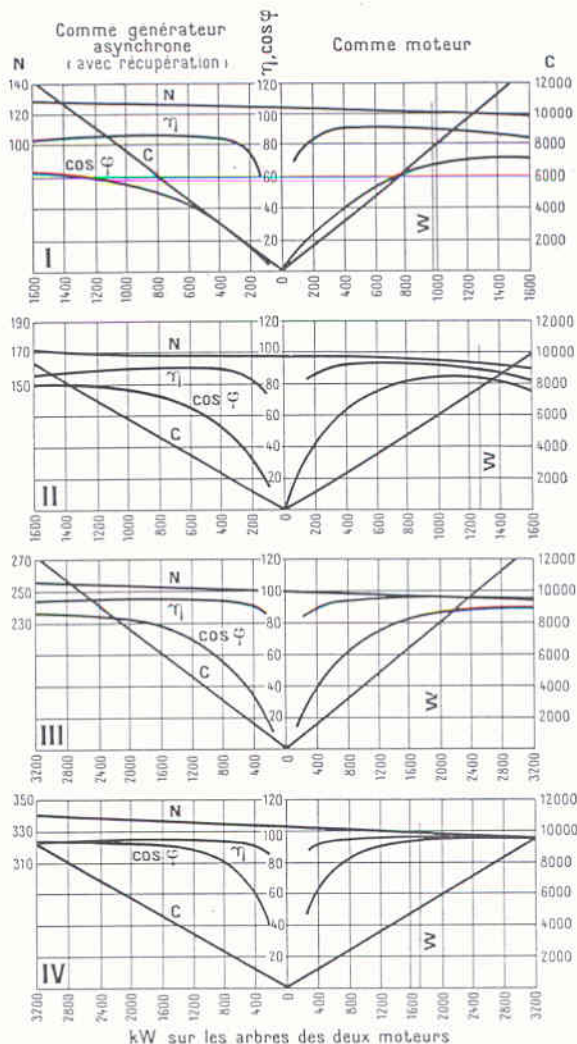


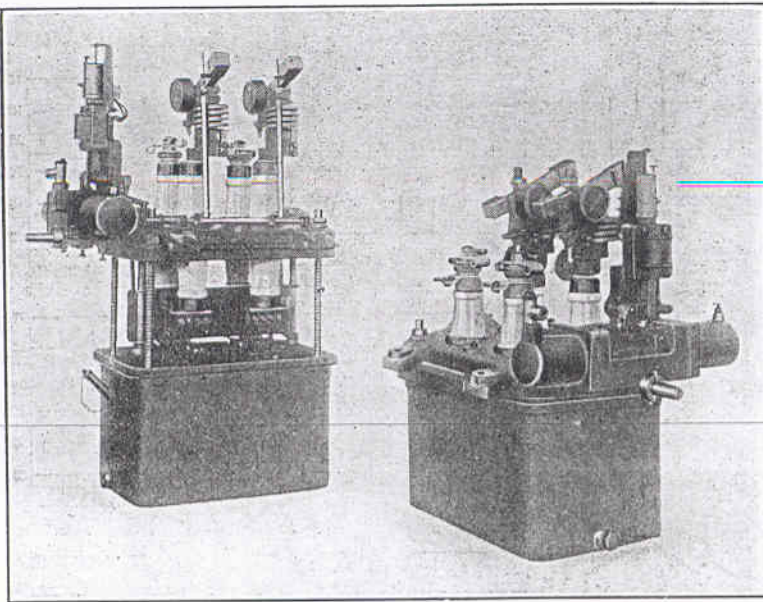
Fig. 438 Locomotive type E 331. — Caractéristiques des moteurs

- I. Connexion à 8 pôles, 2 moteurs en cascade.
- II. Connexion à 6 pôles, 2 moteurs en cascade.
- III. Connexion à 8 pôles, 2 moteurs en parallèle.
- IV. Connexion à 6 pôles, 2 moteurs en parallèle.
- N. Nombre de tours par minute.
- η. Rendement en %
- cos φ. Facteur de puissance.
- C. Couple en kgm.
- W. Puissance horaire des 2 moteurs en kW.

intervertit deux fils de phase des stators des moteurs. Ainsi que nous l'avons vu plus haut, 2 commutateurs statoriques et 2 commutateurs rotoriques, ces derniers montés concentriquement à l'arbre des rotors, effectuent les opérations de couplage pour la marche à 6 ou 8 pôles.

Un commutateur de cascade sert à brancher les résistances de démarrage sur le stator du moteur secondaire ou sur les 2 rotors et à établir les connexions des moteurs pour la marche en cascade ou en parallèle; un autre commutateur établit les connexions en étoile ou en triangle des phases du stator du moteur secondaire.

Les résistances de démarrage sont constituées par des rubans en nickeline ondulés; elles sont refroidies par les ventilateurs qui aèrent les moteurs de traction.



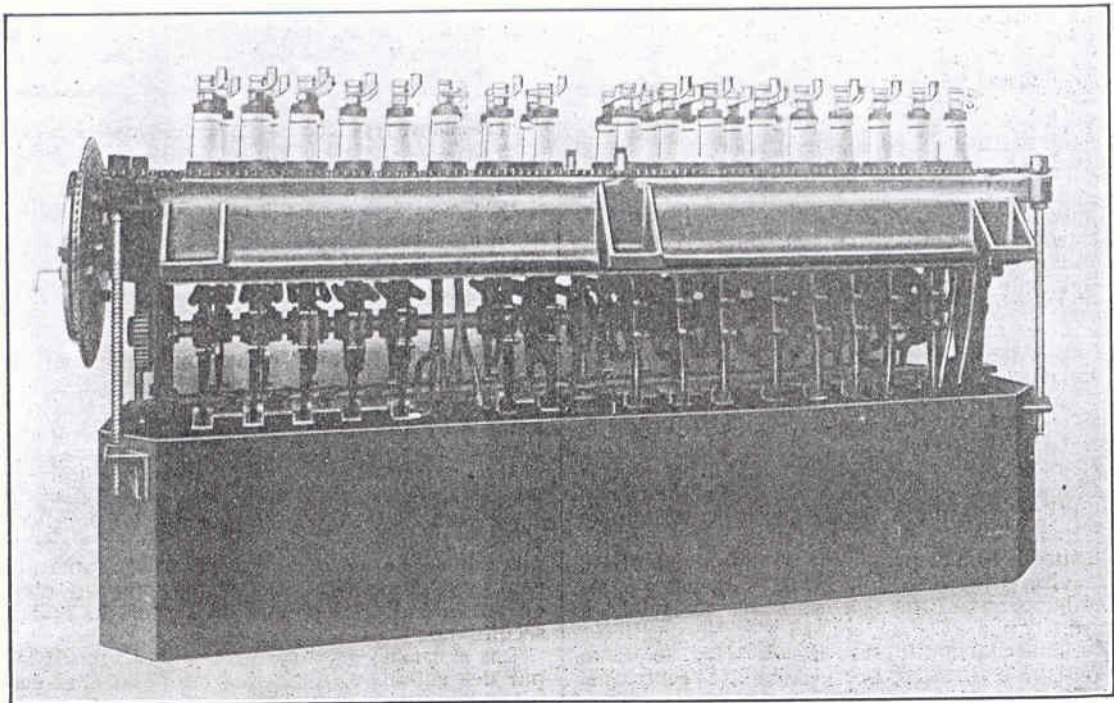
(Brown Boveri)

Fig. 439 — Locomotive type E 331. — Interrupteur principal.

Les résistances peuvent être groupées de 2 façons différentes, soit en étoile pour la marche en cascade, soit en triangle pour la marche en parallèle à l'aide du combinateur de résistances; ces résistances sont éliminées progressivement par le commutateur de démarrage (fig. 440).

La commande des divers commutateurs est pneumatique; ils sont tous à bain d'huile, à l'exception du combinateur de résistances et des commutateurs de pôles des rotors.

celle des moteurs de l'autre locomotive; il peut arriver que la locomotive à vitesse supérieure doive trainer tout le train et même fournir de l'énergie à l'autre locomotive, les moteurs de celle-ci débitant en génératrices asynchrones sur le réseau; les moteurs de la première machine seraient donc surchargés. Pour éviter cela, on corrigera le glissement de la locomotive qui marche le plus vite à l'aide des résistances dont il a été question plus haut, jusqu'à ce que les 2 locomotives développent sensiblement le



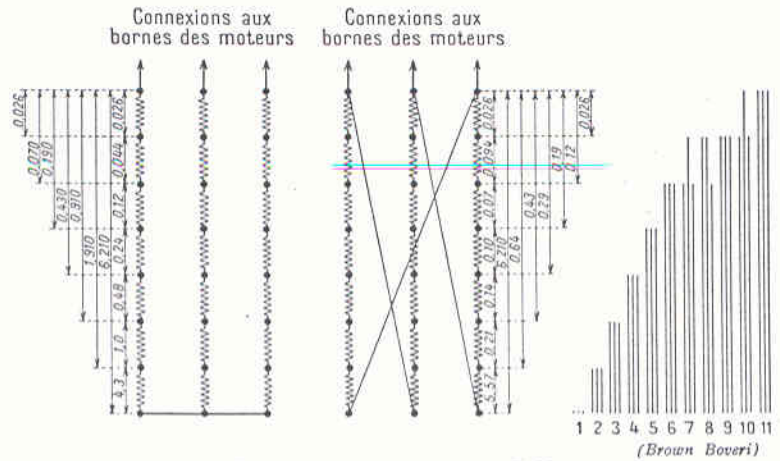
(Brown Boveri)

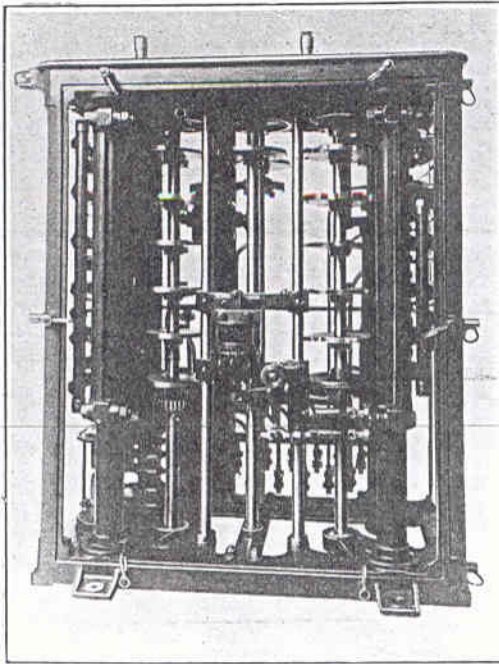
Fig. 440. — Locomotive type E 331. Commutateur de démarrage.

même effort de traction; cette opération s'effectue pratiquement en mettant le commutateur de démarrage sur l'un des cinq derniers crans.

Tout l'appareillage du circuit principal servant à obtenir les diverses vitesses est à commande pneumatique; les différentes conduites pneumatiques sont représentées sur la figure 442.

Le contrôleur (fig. 443) comprend deux systèmes de cames, dont l'un (contrôleur de vitesse) établit les 4 vitesses de régime par la commande des commutateurs de pôles du stator et du rotor des moteurs, du commutateur de cascade, du combinateur des résis-





(Brown Boveri)

Fig. 443 — Locomotive type E 331. — Contrôleur.

tances et du commutateur étoile-triangle du moteur secondaire; l'autre (contrôleur de démarrage) commande le commutateur de démarrage. Chacun de ces systèmes comprend un certain nombre de cames agissant par l'intermédiaire des leviers sur des valves (fig. 444) mettant les cylindres de commande des divers appareils en communication avec le réservoir principal ou avec l'atmosphère.

Les cylindres des divers commutateurs et combinatoires ainsi que ceux de l'inverseur de marche sont doubles; le commutateur de démarrage comporte 3 cylindres dont les bielles sont décalées entre elles de  $120^\circ$  et attaquent un arbre tournant; pour obtenir les 11 positions de démarrage et la position 0, l'arbre fait 4 tours complets, quand la manette du contrôleur est déplacée de la position 0 à la position 11; le mouvement de l'arbre tournant est transmis à celui du commutateur par une chaîne avec pignons dans le rapport de 1 à 4.

Sur l'arbre du commutateur est fixée une came qui commande la valve pneumatique de l'interrupteur principal, de sorte que dans la position 0 du contrôleur, l'interrupteur principal est ouvert.

Le commutateur de démarrage et sa commande, installés dans une caisse, sont représentés sur la figure 445; au milieu de la caisse se trouve le commutateur, à gauche la commande, les bobines de self et l'interrupteur principal et à droite les sectionneurs et parafoudres.

Les contrôleurs de vitesse et de démarrage sont asservis mécaniquement ed telle façon que le contrôleur de démarrage ne peut être manœuvré que lorsque la manette du contrôleur de vitesse se trouve sur une position 37,50, 75 ou 100 km/h et non sur la

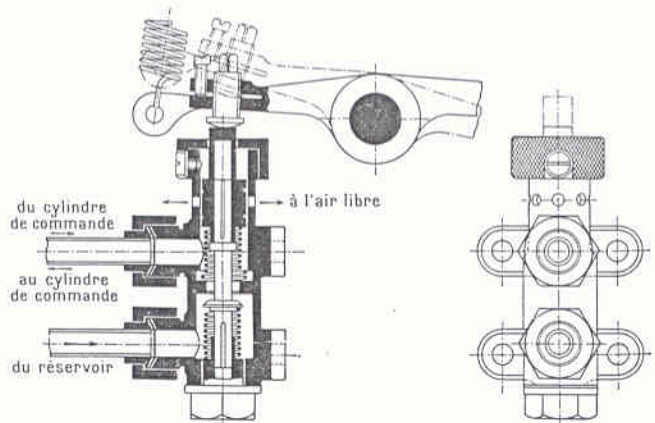
position 0; en outre, le contrôleur de vitesse ne peut être manœuvré que si le contrôleur de démarrage est en position 0.

Le changement de marche s'opère à l'aide d'une manette spéciale placée sur le contrôleur et agissant sur la valve de commande pneumatique de l'inverseur; la manette de changement de marche ne peut être enlevée que lorsqu'elle est en position 0 et les contrôleurs de démarrage et de vitesse ne peuvent être manœuvrés lorsque la manette de changement de marche est en position 0 ou enlevée.

**121. SYSTEMES MIXTES.** — Nous avons étudié différents systèmes de traction dans lesquels les caractéristiques du courant d'alimentation des moteurs étaient les mêmes que celles du courant capté par la motrice; nous avons vu que chacun de ces systèmes présentait des avantages sur les autres, avantages beaucoup moins sensibles depuis les progrès considérables réalisés en traction électrique. On a essayé de profiter de ces avantages en constituant des systèmes mixtes, dans lesquels le courant d'alimentation des moteurs n'est pas de même nature que celui capté sur la ligne de contact. On a voulu ainsi utiliser la facilité de transport et la simplicité d'établissement de la ligne de contact de la traction par courant alternatif monophasé tout en profitant des avantages, soit de la traction par courant continu (robustesse des moteurs et facilité de la régulation), soit de la traction par courants alternatifs triphasés (récupération facile) et on a, à cet effet, imaginé les systèmes mono-continu et mono-triphasé.

**Système mono-continu.** — Dans ce système, le courant monophasé reçu par la locomotive est transformé en courant continu, soit par un groupe moteur-générateur, soit par une commutatrice, soit par un redresseur à vapeur de mercure; ces appareils de transformation sont disposés sur la locomotive elle-même, ce qui augmente par suite considérablement le poids mort.

**Système mono-triphasé.** — La transformation du courant alternatif monophasé en courants triphasés est effectuée sur la locomotive à l'aide d'un groupe convertisseur. Le groupe convertisseur peut être asynchrone ou synchrone.



(Brown Boveri)

Fig. 444 — Locomotive type E 331. — Valve de commande.

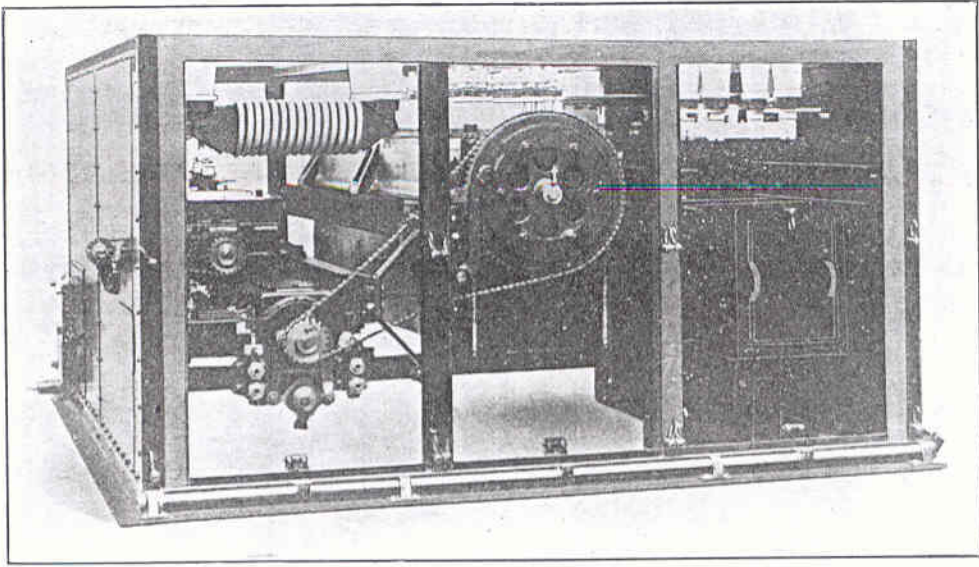


Fig. 445 — Locomotive type E 331. — Caisse à haute tension.

(Brown Boveri)

Le groupe convertisseur asynchrone ne peut être employé par suite du déséquilibre qui se produit en charge; seule la solution synchrone permet d'obtenir des tensions à peu près équilibrées à vide et en charge.

Différents systèmes utilisant le groupe convertisseur synchrone ont été réalisés (Westinghouse — Alexanderson — de Kando — Krupp).

1° *Dispositif Westinghouse.* — Le courant monophasé capté sur la ligne de contact est envoyé sur le primaire d'un transformateur abaisseur; le secondaire de ce transformateur comporte trois prises reliées au convertisseur.

Le stator du convertisseur (fig. 446) comporte deux enroulements diphasés; le nombre de spires de ces enroulements est différent pour chacun d'eux et les tensions diphasées aux

bornes de ceux-ci sont dans le rapport 3/2. Le premier enroulement est alimenté par le transformateur, le second enroulement est relié, d'une part, au milieu de l'enroulement secondaire du transformateur et, d'autre part, au moteur de traction; les deux autres phases du moteur sont reliées aux extrémités du secondaire du transformateur; ce dispositif constitue un système Scott.

2° *Dispositif Alexanderson.* — Le stator du convertisseur comporte deux enroulements diphasés égaux et mis en série avec les enroulements statoriques du moteur diphasé de traction. L'un des enroulements du convertisseur est alimenté par le réseau; le second enroulement du convertisseur constitue le secondaire d'un transformateur à champ tournant et dans cet enroulement le courant induit se trouve déphasé approximativement de 90° sur le courant qui circule dans le premier enroulement; ces deux courants qui sont égaux forment donc un système diphasé.

3° *Système de Kando.* — Le convertisseur comporte au stator:

a) un enroulement monophasé alimenté en haute tension directement par la ligne de contact;

b) un enroulement polyphasé relié aux moteurs de traction.

Le rotor du convertisseur comporte un bobinage alimenté en courant continu et un bobinage en court-circuit.

4° *Système Krupp.* — Nous avons vu à propos de la traction monophasée le principe du moteur Krupp; si l'on réalise un moteur avec stator triphasé dont deux phases seulement sont alimentées par la ligne, on peut utiliser le moteur Krupp comme convertisseur mono-triphasé.

Ces systèmes ont été appliqués sur différentes lignes: le convertisseur Westinghouse sur le Norfolk and Western Railway, sur le Virginian Railway et sur le Pennsylvania Railroad; le convertisseur Alexanderson a été appliqué par la G. E. Co sur des locomotives d'essai, le convertisseur de Kando sur les Chemins de fer Hongrois.

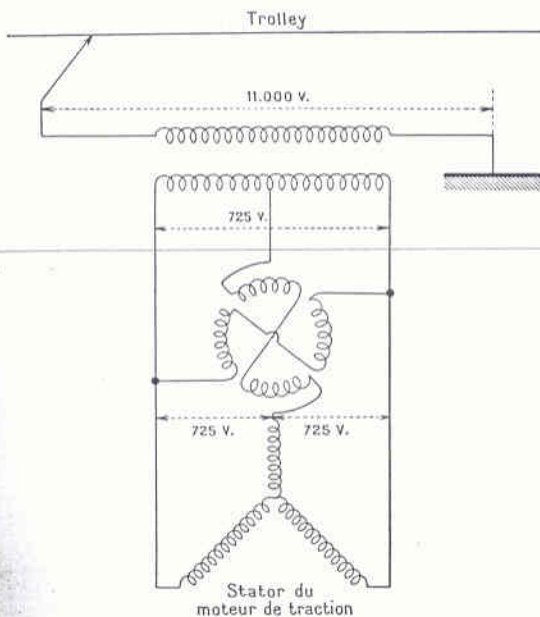


Fig. 446

V

## Equipement des motrices

L'équipement électrique d'une voiture se compose des appareils de prise de courant (perche de trolley, archet, pantographe), des appareils de manœuvre (contrôleurs) servant à commander les moteurs, des appareils de protection (interrup-teurs, disjoncteurs, coupe-circuit, para-foudres....) et enfin des moteurs transformant l'énergie électrique en énergie mécanique transmise aux roues.

### 122. SYSTEMES DE PRISE DE COURANT.

— Le courant est capté par les motrices soit par perche de trolley, soit par archet, soit par pantographe articulé, soit enfin par frotteur.

Le dispositif de prise de courant par perche de trolley est le plus généralement adopté pour les voitures de tramways; il se compose d'une perche en acier maintenue rigide par des tendeurs et pouvant pivoter autour d'un axe vertical; cette perche comporte à une extrémité la tête de trolley constituée par une poulie à gorge, en bronze, à axe horizontal, montée dans une chape et roulant sur le fil de contact.

La perche exerce une pression sur le fil par l'intermédiaire de ressorts fixés à sa base (fig. 447). Lorsque la roulette de trolley échappe le fil de contact, la perche se redresse par suite

de la tension des ressorts situés à sa base et, si la voiture marche à une vitesse assez grande, cette perche peut frapper les câbles transversaux ou les isolateurs et les détériorer.

Pour obvier à cet inconvénient, on utilise quelquefois la base de perche à déclenchement automatique qui comporte un dispositif annulant automatiquement l'action des ressorts dès que la poulie du trolley quitte le fil de contact; pour remettre la perche en service, il faut au préalable la réenclencher en tirant sur sa corde et la remettre en contact avec le fil.

La figure 448 montre une voiture équipée avec une base de perche à déclenchement automatique système Delachaux utilisée sur les voitures de la S. T. C. R. P.

Le trolley ne peut être employé que lorsque la vitesse des véhi-

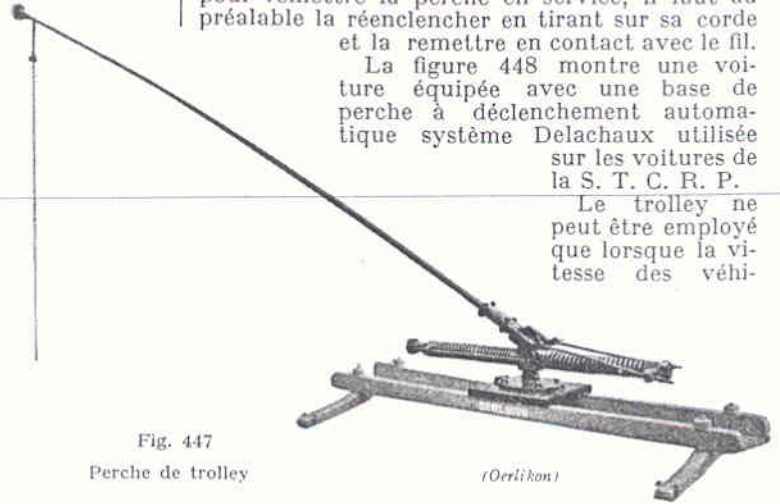


Fig. 447

Perche de trolley

(Oerlikon)

cules n'est pas grande, mais à partir d'une certaine valeur de cette vitesse, il devient difficile d'empêcher la poulie d'échapper le fil de contact; cet incident, qui peut être toléré dans les tramways, n'est plus admissible lorsqu'il s'agit de Chemins de fer. On a utilisé alors le dispositif de prise de courant par archet; l'ar-

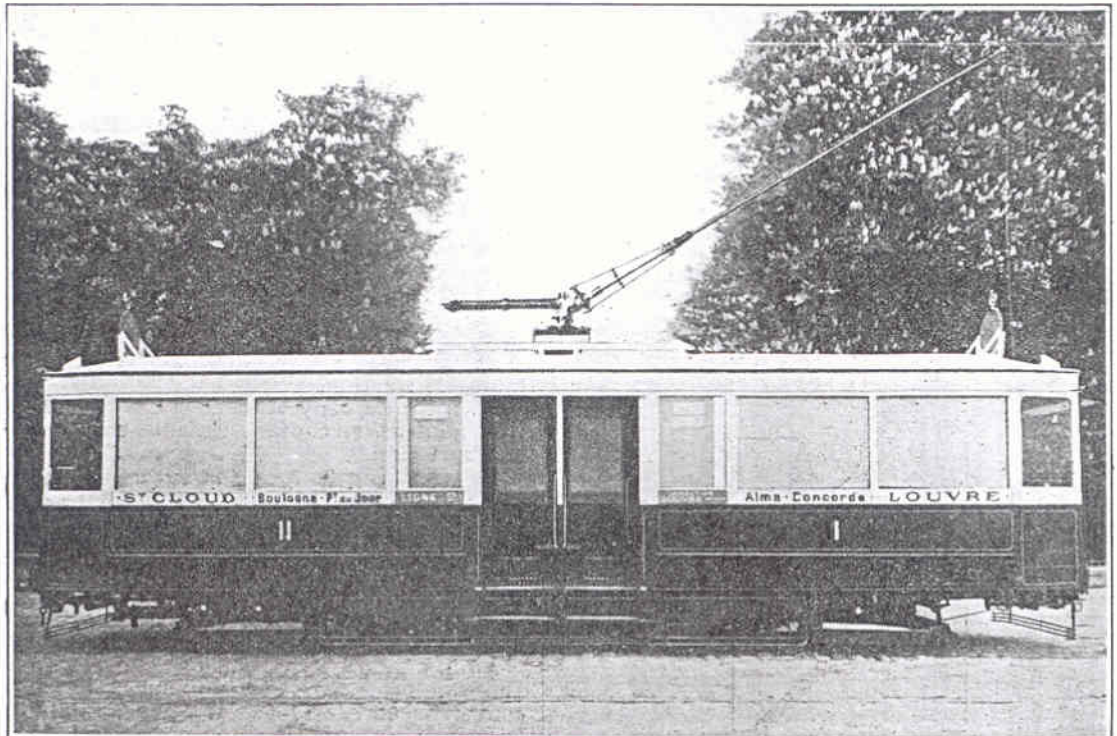


Fig. 448 — Motrice équipée avec base de perche Delachaux.

(Acieries de Gennevilliers)



chet se compose d'un cadre métallique frottant à sa partie supérieure sur la ligne de contact et pivotant comme une charnière autour d'un axe horizontal fixé sur le toit du véhicule per-

propres qui n'ont pas d'importance sur une ligne de trolley peu tendue, mais qui peuvent en avoir beaucoup sur une ligne horizontale à suspension caténaire; en outre l'effort appliqué par l'archet sur le fil de contact est oblique et tend à déformer la suspension caténaire. Le pantographe ne présente pas ces défauts, l'effort exercé sur le fil conducteur est normal et peut être réglé aussi faible que l'on veut. Le pantographe est isolé à sa base par des isolateurs accordéons ou à cloches multiples et il peut supporter sans difficulté des tensions très élevées.

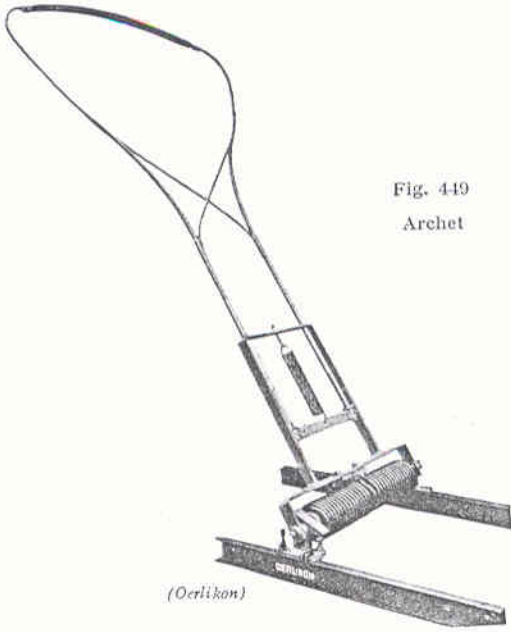
Les pantographes utilisés sur les locomotives françaises peuvent se diviser en 2 types; dans l'un, le développement de l'appareil s'effectue à l'aide de l'air comprimé qui donne aux ressorts éleveurs une tension suffisante pour équilibrer le poids du pantographe et exercer sur la ligne de contact une pression convenable. L'abaissement du pantographe s'effectue en évacuant l'air comprimé.

Dans un autre type d'appareil, le pantographe se développe par l'action de ressorts et, au contraire, l'air comprimé sert à son repliement. Dans ce type, on est obligé d'avoir recours à une perche pour retenir le pantographe lors de son développement, afin d'éviter un choc sur la ligne de contact.

Le poids d'un pantographe varie de 500 à 700 kg et la pression qu'il exerce sur la ligne de contact et de l'ordre de 8 à 10 kg suivant les appareils.

Les pantographes portent une ou deux semelles de contact frottant sur le fil et captant le courant; cette semelle est garnie d'une barre de contact en cuivre graissée avec un mélange

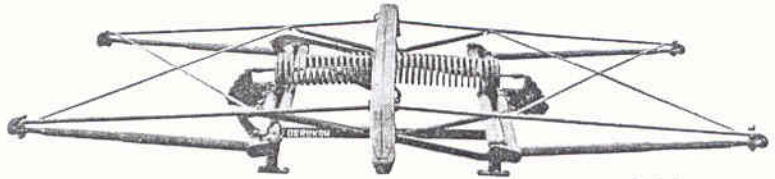
Fig. 449  
Archet



(Oerlikon)

pendiculairement à la direction du mouvement (fig. 449). La pression nécessaire au bon contact de l'archet sur la ligne est exercée par un ressort disposé à la base de l'appareil.

Enfin pour les locomotives à grande puissance, on emploie des polygones articulés appelés pantographes (fig. 450 et 451) disposés sur le toit de la voiture. L'archet possède une inertie assez grande et est animé aux grandes vitesses de mouvements oscillatoires



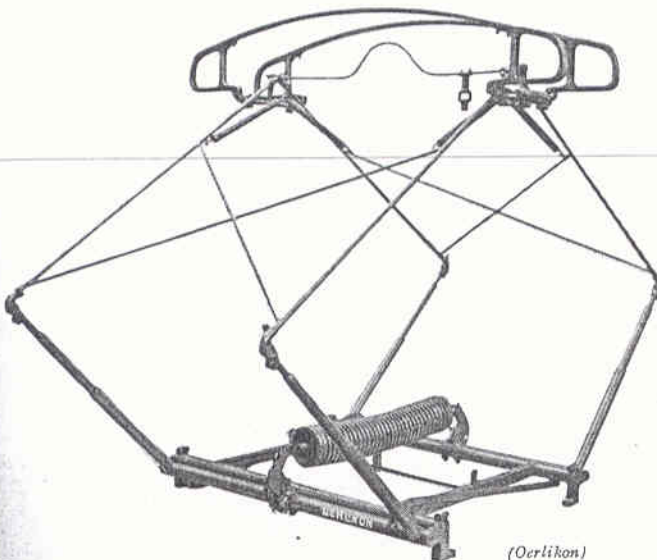
(Oerlikon)

Fig. 451 — Pantographe fermé.

de graisse et de plombagine; on est conduit ainsi sur le Réseau du P. O. à remplacer les barres de contact après une usure de 3,5 mm au bout d'un parcours de 17 000 km.

Dans les prises de courant par caniveaux utilisées par les tramways, on utilise un appareil appelé charrue comportant deux frotteurs en fonte M (fig. 452 a, b, c) pressés par l'intermédiaire de ressorts sur les rails conducteurs. Ces frotteurs sont isolés entre eux par une plaque de fibre E et le tout est encastrée dans deux planches d'érable. Le frotteur est monté dans un châssis situé sous le véhicule de telle sorte que ce frotteur puisse se déplacer latéralement pour lui permettre de suivre la rainure du caniveau. Le frotteur est descendu ou remonté du caniveau à l'aide d'un treuil commandé sur le côté de la voiture.

Certaines lignes comportent un 3<sup>e</sup> rail conducteur situé non en caniveau



(Oerlikon)

Fig. 450 — Pantographe ouvert.

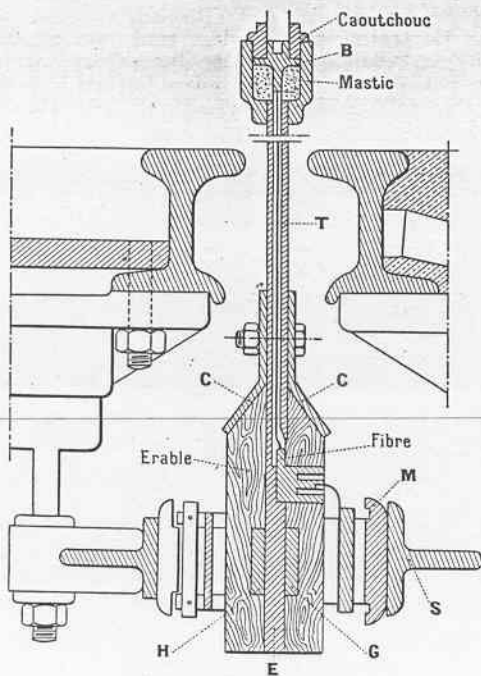


Fig. 452 a — Charrue.

mais à côté des rails de roulement; dans ce cas, le courant est capté par les motrices à l'aide de frotteurs latéraux; la pression des frotteurs sur le rail est assurée par des ressorts et quelquefois par l'air comprimé.

1° systèmes de commande par contrôleurs simples;

2° systèmes à unités multiples.

**Système de commande par contrôleur simple.** — Un contrôleur se compose d'un cylindre principal constitué par :

1° un arbre, à axe vertical, sur lequel sont disposés des secteurs en cuivre isolés de la masse;

2° de doigts de contact disposés sur une ou plusieurs rangées verticales et frottant sur les secteurs du cylindre principal;

3° d'un cylindre d'inversion de marche constitué par un tambour à axe vertical portant des secteurs en cuivre;

4° de doigts de contacts d'inversion de marche frottant sur les secteurs du cylindre d'inversion de marche;

5° d'un dispositif de soufflage magnétique comprenant une ou plusieurs bobines de soufflage parcourues par le courant total et un circuit magnétique se refermant par le cylindre principal. Ce soufflage a pour but d'éviter que les doigts et les secteurs du cylindre soient détériorés par les arcs qui se produisent au moment où un doigt de contact quitte le secteur correspondant. On utilise dans les contrôleurs soit le soufflage individuel, soit le soufflage général.

Dans le soufflage individuel chaque doigt de contact comporte une bobine de soufflage en série avec le circuit passant par ce doigt; ce genre de soufflage très efficace est employé dans beaucoup de contrôleurs. Dans le soufflage général au contraire, le flux nécessaire au

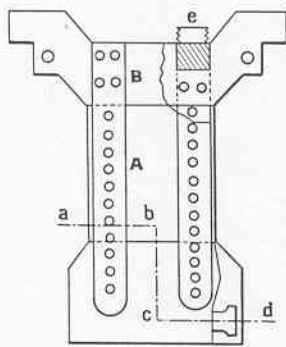


Fig. 452 b — Charrue.

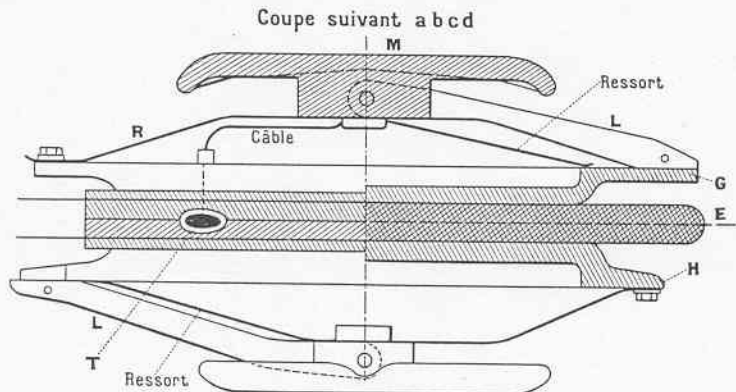


Fig. 452 c — Charrue.

### 123. COMMANDE DES MOTEURS ET REGULATION DE LA VITESSE. —

Nous avons vu comment le courant était capté par la motrice au moyen de perche de trolley, d'archet ou de pantographe, lorsque que la ligne de contact est aérienne, ou bien de frotteurs, lorsque le courant est transmis par rail conducteur ou enfin de charrues si la prise de courant est souterraine.

La motrice doit comporter en outre :

1° des appareils permettant au conducteur de mettre en marche avant ou arrière et de régler la vitesse du train;

2° des appareils de protection contre les surcharges, court-circuit.....

On peut classer les divers systèmes de commande des moteurs en 2 grandes classes :

soufflage est créé par une seule bobine et le circuit magnétique se referme par l'intermédiaire d'une pièce polaire généralement articulée pour permettre l'examen facile des contacts et soutenant l'ensemble du séparateur d'arcs. Le flux total sortant de la bobine est réparti tout le long des doigts par la pièce polaire du séparateur d'arcs; il embrasse l'arc de rupture de chacun des doigts puis, par le moyeu et l'arbre du cylindre principal, se divise en deux, gagne le couvercle et le socle, puis aboutit à la bobine, soit par le fond du contrôleur si la bobine est fixée directement sur celui-ci, soit par la colonne supportant la dispositif de soufflage.

Le cylindre principal porte à sa partie supérieure une came dont les creux correspondent aux différents crans de marche; dans ces creux,

vient se loger un galet maintenu par un ressort puissant, de telle façon que le cylindre ne puisse rester dans une position intermédiaire et que l'on soit obligé de passer rapidement d'un cran à l'autre.

Le cylindre d'inversion comporte 3 positions :  
 1 position marche avant ;  
 1 position arrêt ;  
 1 position marche arrière.

Dans le cas de l'équipement à 2 moteurs, le cylindre d'inversion comporte une position supplémentaire permettant d'éliminer un moteur au cas où celui-ci serait avarié.

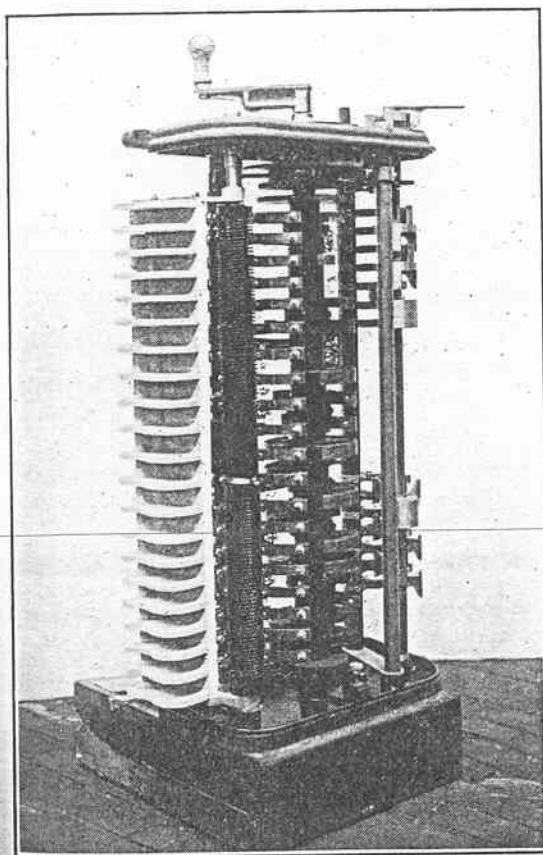
Les 2 cylindres sont enclenchés mécaniquement entre eux de telle sorte qu'il est impossible :

1° de manœuvrer le cylindre principal si le cylindre d'inversion est en position arrêt ;

2° de manœuvrer le cylindre d'inversion si le cylindre principal n'est pas en position zéro.

La rotation du cylindre principal permet de réaliser toutes les combinaisons possibles (élimination progressive des résistances de démarrage, shuntage des inducteurs, freinage....) permettant le démarrage de la voiture et l'obtention de la vitesse désirée.

La figure 453 représente un contrôleur type B-1102, dit à colonnes, construit par la Société Alsthom, permettant le contrôle série-parallèle et le freinage rhéostatique. Ce contrôleur se caractérise par sa robustesse, l'accessibilité très grande de tous ses organes et par conséquent le démontage et remontage faciles et rapides de pièces sujettes à usure. L'appareil se compose



(Alsthom)

Fig. 453 — Contrôleur type B 1102.

d'un socle et d'un couvercle en fonte entretoisés et reliés par 3 ou 4 colonnes, suivant le genre de soufflage utilisé (soufflage individuel ou soufflage général à 2 bobines opposées).

Deux de ces colonnes de forme hexagonale soigneusement isolées, supportent l'une, les bases des doigts de contacts de l'hélice principale, l'autre, les bases de doigts de contacts du ou des cylindres auxiliaires (inversion et mise hors circuit des moteurs); la 3<sup>e</sup> colonne est de forme cylindrique et les 3 colonnes servent de support d'attache aux cliquets et ressorts de verrouillage de came à crans, de support d'attache du séparateur, etc.

Dans les contrôleurs à soufflage général la 4<sup>e</sup> colonne constitue l'axe d'articulation du séparateur et le noyau magnétique des 2 bobines. Les colonnes sont en acier étiré sauf pour les contrôleurs à soufflage individuel où celle supportant les doigts de contact de l'hélice principale et les bobines de soufflage est exceptionnellement prévue en laiton étiré pour éviter les fuites magnétiques.

Des dispositions de montage spéciales et un usinage précis permettant d'obtenir une rigidité absolue de la carcasse ainsi formée. En particulier, les colonnes sont rivées soigneusement sur le socle, fixées au couvercle par de longues vis à tête conique et au surplus immobilisées pour éviter toute rotation accidentelle.

Le socle et le couvercle portent, venues de fonderie, les pattes de fixation de l'appareil pour montage sur paroi verticale comme à l'ordinaire; le couvercle porte en outre les repères correspondant aux différents crans de démarrage et de freinage, et les inscriptions relatives à l'inversion de marche et à la mise hors circuit des moteurs, s'il y a lieu; le socle de son côté, porte les ouvertures nécessaires à la sortie des câbles, ces dernières très largement dimensionnées.

La face arrière du bâti est fermée par une tôle vissée; enfin, une porte en zinc analogue à celle des contrôleurs à bâti, instantanément démontable, ferme la face avant et les deux faces latérales de l'appareil, assurant une protection complète de tous les organes intérieurs et leur accessibilité parfaite pour la visite et l'entretien.

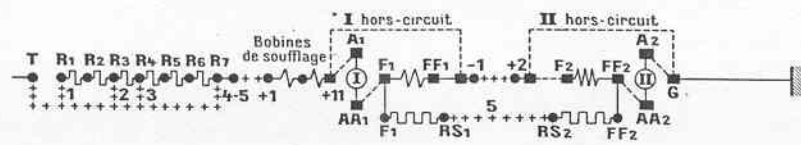
Le cylindre principal de marche et freinage est toujours constitué par un arbre hexagonal en acier étiré, soigneusement isolé, sur lequel sont solidement vissés et non plus clavetés les différents tronçons en bronze ou en fonte constituant le moyeu du cylindre et portant les segments de contacts mobiles. Cette nouvelle disposition assure une fixation beaucoup plus sérieuse des tronçons d'hélice sur l'arbre.

Le ou les cylindres auxiliaires sont également en bronze et à serrage par vis sur arbre isolé, mais ne coupant jamais le courant, ils ne comportent pas de segments amovibles, il n'y a donc pas du tout de bois dans ces nouveaux appareils.

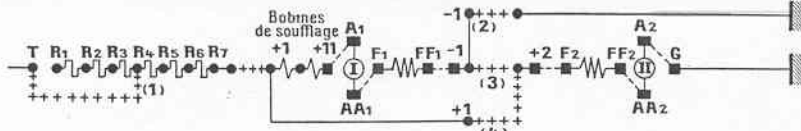
Les cames à crans ont été étudiées tout particulièrement en vue d'éviter l'immobilisation des cylindres en positions intermédiaires susceptibles de provoquer des arcs persistants tout en assurant, sans aucune dureté dans la manœuvre, une netteté parfaite de chacun des crans marqués; les ressorts de cliquets, attachés sur les colonnes, sont de plus prévus à tension réglable.

Tous les cylindres comportent des doigts à ressort plat et long à forte masselotte amovible

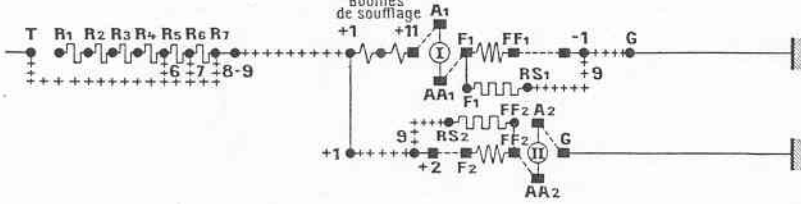
Marche en série avec 2 moteurs  
et avec moteur I ou II hors-circuit



Transition série-parallèle



Marche en parallèle



Freinage rhéostatique

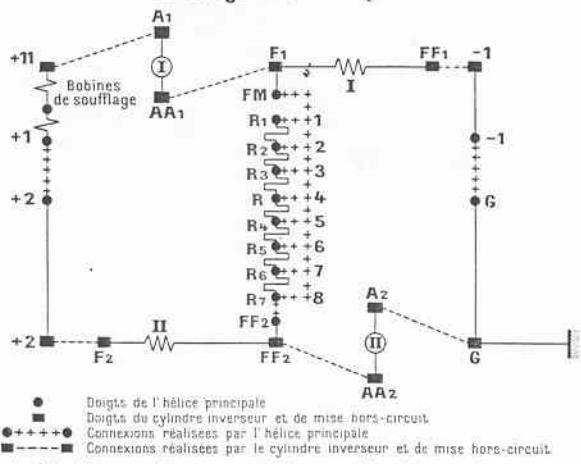


Fig. 455

Schéma développé de l'équipement d'une motrice à 2 moteurs et 2 contrôleurs B 1102.

assurant une portée parfaite et une grande capacité. Une vis convenablement freinée permet le réglage de la plongée des doigts du cylindre principal, au fur et à mesure de leur usure.

Les contrôleurs type B 1102 peuvent être montés avec rupteur de ligne.

Le rôle du rupteur de ligne est triple :

1° Fonctionnant au premier retour en arrière de la manette principale, les arcs de rupture sont supprimés au contrôleur et coupés par le rupteur lui-même, spécialement étudié et dimensionné au point de vue soufflage magnétique, pour rompre des arcs importants.

L'usure des doigts et des segments du cylindre principal est donc considérablement réduite et presque pratiquement limitée à l'usure mécanique.

2° Il joue le rôle de disjoncteur à maxima.

3° Il fonctionne également comme disjoncteur à manque de tension et, ne pouvant se fermer qu'au premier cran du contrôleur, il se comporte dans ce cas comme un disjoncteur à réenclenchement empêché, si la manette principale n'a pas été ramenée au zéro lors de l'interruption du courant ou du déraillement de la perche.

La figure 454 représente le schéma général d'équipement d'une voiture à 2 moteurs et 2 contrôleurs type B 1102. Ces contrôleurs sont à soufflage général et la régulation de la vitesse est obtenue par contrôle série parallèle et shuntage des inducteurs; ces contrôleurs permettent en outre le freinage rhéostatique. La figure 455 montre le schéma développé des connexions suivant les différentes marches.

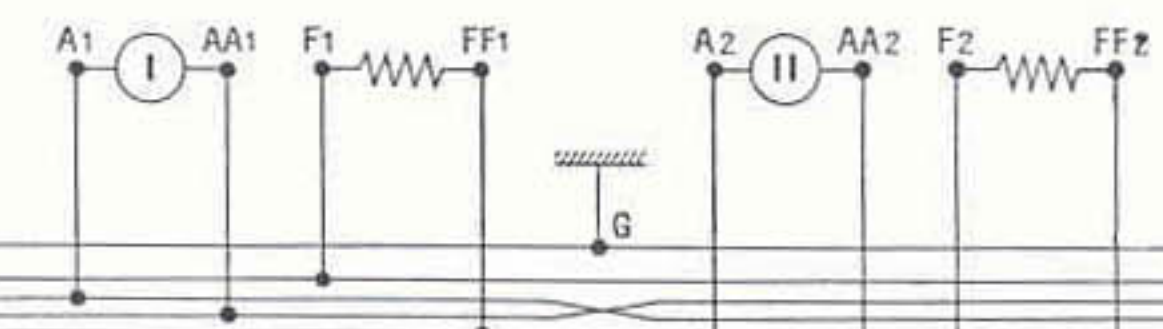
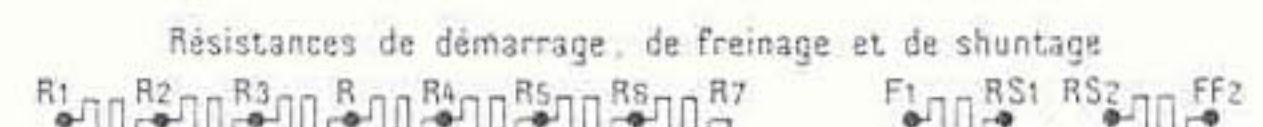
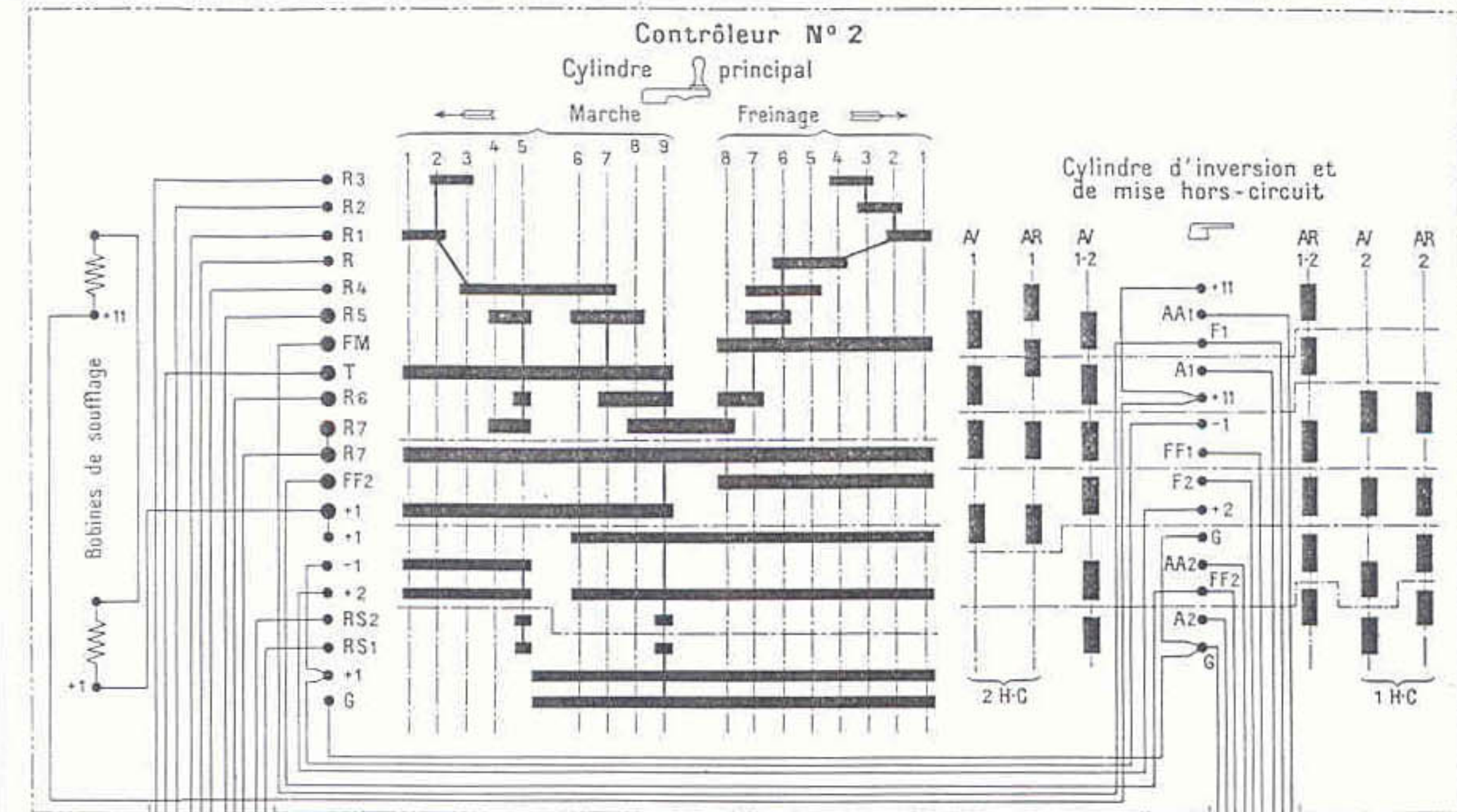
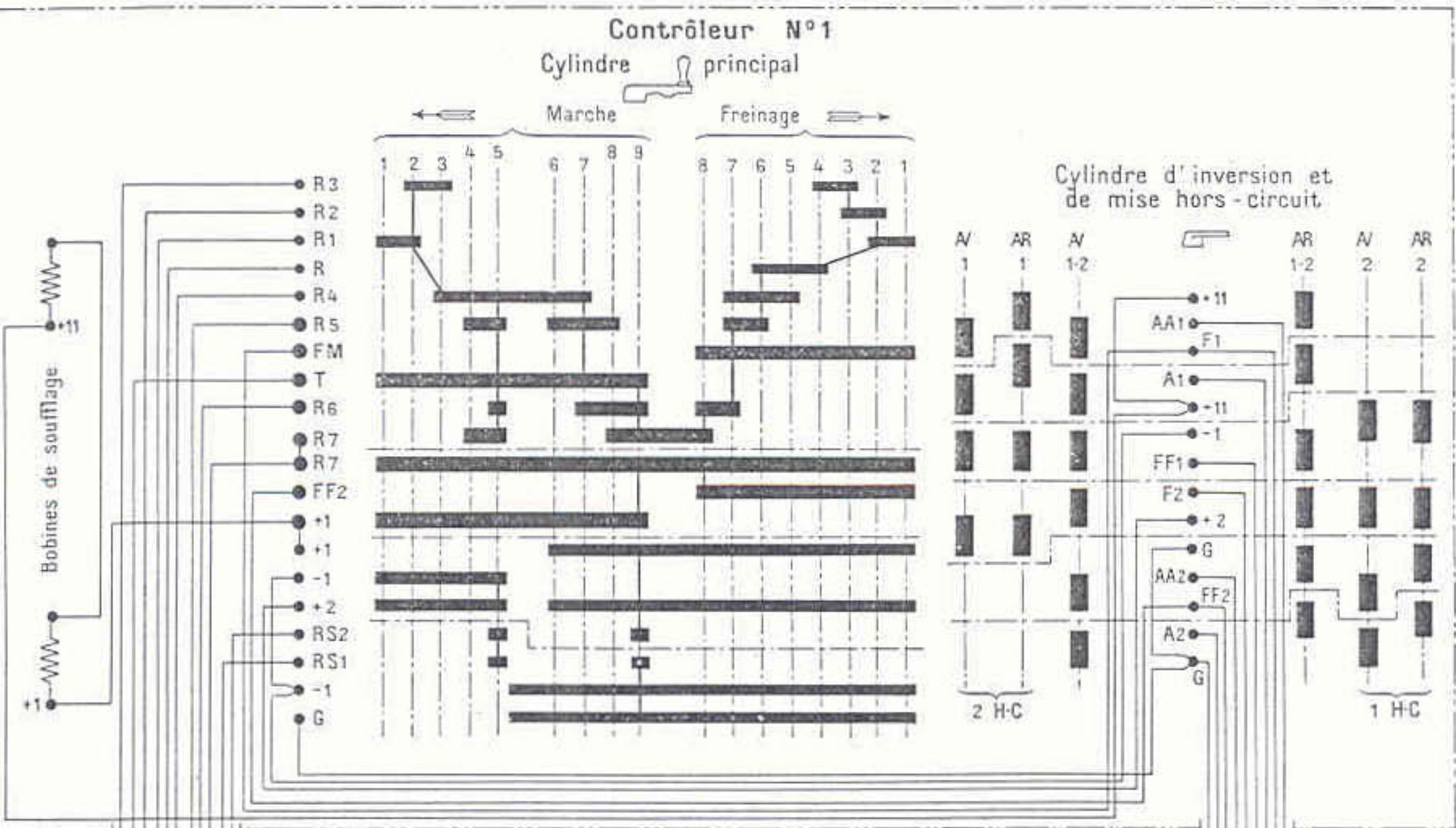
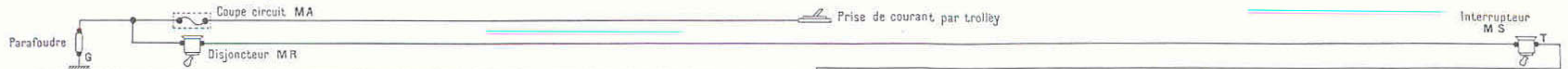
La figure 456 représente un contrôleur Jeumont d'une réalisation différente à celle du contrôleur décrit ci-dessus.

**Systèmes à unités multiples.** — La commande des moteurs par contrôleurs indépendants ne peut se faire que lorsque les moteurs se trouvent réunis sous un même véhicule.

Pour les Chemins de fer de banlieue et pour les lignes métropolitaines où les démarrages sont fréquents, on a avantage à répartir l'effort de traction sur la longueur du convoi pour utiliser le poids total de celui-ci pour l'adhérence.

Pour diminuer la durée d'un trajet, on est amené à adopter de fortes accélérations aux démarrages afin de réduire la durée de ceux-ci; on ne peut, en effet, augmenter la vitesse au-delà d'une certaine limite et dans les lignes de banlieue où les démarrages sont fréquents, la durée de ceux-ci intervient pour une part importante dans la durée totale du trajet; pour ces lignes, l'expérience a montré qu'il fallait en général admettre des accélérations de l'ordre de 60 cm/s/s, ce qui correspond à un effort accélérateur de 60 kg environ par tonne de train (Voir N° 124); si en outre on tient compte de la résistance au roulement (5 kg par tonne) et du coefficient d'inertie des parties tournantes on est amené à développer un effort de 75 kg

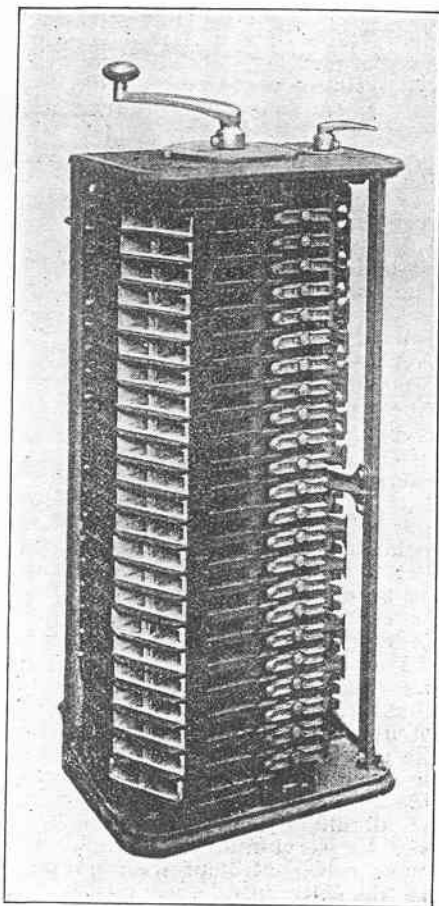
Nota: Lorsque les freins électro-magnétiques sont employés, ceux-ci doivent être branchés entre les points F1 et FM. (Alsthom)



(Alstom)

Fig. 454

SCHÉMA D'ÉQUIPEMENT D'UNE MOTRICE A 2 MOTEURS ET 2 CONTRÔLEURS B 1102



(Forges et Ateliers de Constr. Electr. de Jeumont)  
Fig. 456 — Contrôleur.

environ par tonne au démarrage pour obtenir les 60 cm/s/s d'accélération désirés. Si on admet un coefficient d'adhérence de 0,25, le patinage des roues qui correspond à l'effort moteur limite utilisable aux jantes, commence à se produire pour un effort de 250 kg par tonne de poids adhérent.

Nous avons vu qu'il fallait développer un effort de 75 kg par tonne de train pour obtenir une accélération de 60 cm/s/s; pour que le patinage ne se produise pas, il faudrait donc que le poids adhérent soit au minimum égal à

$$\frac{1\,000 \times 75}{250} = 300 \text{ kg}$$

par tonne de train soit environ le 1/3.

Ceci montre qu'il faut, pour que la limite d'adhérence ne soit pas atteinte, que le poids adhérent soit sensiblement égal au 1/3 du poids total du train.

Or dans un service de banlieue, aux heures d'affluence le poids total du train est considérable et dans le cas où ce train serait remorqué par une seule motrice, le poids de cette dernière devrait représenter le 1/3 du poids total du train, ce qui conduirait à construire des motrices extrêmement lourdes. Si au lieu de prendre une seule motrice on répartit les essieux moteurs sur toute la longueur du train, le poids de ce dernier intervient dans le poids adhérent et chaque essieu moteur n'a plus à supporter qu'un poids plus faible.

En pratique, on constitue le train par plusieurs motrices intercalées sur toute la longueur de la rame; chaque motrice comporte une cabine de commande et tous les appareils nécessaires à la conduite du train; celui-ci peut être commandé de l'une quelconque de ces motrices et en particulier de la motrice de tête et de celle de queue. Ceci offre le grand avantage qu'aux terminus, il n'y a plus lieu de changer la locomotive de place et il suffit au mécanicien de se transporter d'une extrémité à l'autre de la rame pour changer de sens de marche.

Chaque motrice peut en outre être séparée du train total et former à elle seule un train élémentaire d'où le nom d'*unités multiples* donné à ce système.

Le système de traction par unités multiples présente, de plus, l'avantage de diminuer la fatigue de la voie par suite de la diminution du poids supporté par chaque essieu moteur.

Par contre il y a lieu de remarquer que ce système entraîne des dépenses de premier établissement très élevées.

Comme nous l'avons vu les moteurs de traction doivent pouvoir être commandés indifféremment de la cabine de l'une quelconque des motrices; à cet effet on a, tout d'abord, eu l'idée de poser une ligne à plusieurs conducteurs d'un bout à l'autre du train pour envoyer le courant nécessaire aux moteurs; les voitures étaient jonctionnées entre elles par des pièces d'accouplement souples.

Cette solution entraînait la pose de conducteurs de forte section et devenait irréalisable dès que l'on atteignait une certaine puissance. Pour diminuer le nombre des conducteurs on réalisa ensuite la commande à distance de l'inversion des moteurs pour changer le sens de marche; à cet effet, près de chaque moteur, était disposé un inverseur commandé à distance; tous les inverseurs étant commandés ensemble, ils étaient tous branchés en dérivation sur deux fils de commande et un seul gros câble d'alimentation des moteurs était suffisant puisque le retour se faisait par la terre à chaque motrice; ce système a été réalisé par la Général Electric Co et la Société Claret-Vuilleumier. La Compagnie Thomson-Houston l'appliqua également au Chemin de fer Métropolitain de Paris avant l'adoption des systèmes modernes.

Le gros défaut de ces systèmes provient du fait que l'on est obligé de transporter l'énergie totale d'un bout à l'autre du train, ce qui peut être la cause d'incendie, par suite d'échauffement des conducteurs. Dans les systèmes modernes chaque motrice capte l'énergie nécessaire aux moteurs qui lui sont affectés et la commande à distance se fait par relais et contacteurs dont les fils d'excitation ne nécessitent que de faibles sections. Nous distinguerons deux types principaux de systèmes à unités multiples:

- A — Systèmes à contrôleurs asservis.
- B — Systèmes à contrôleurs relayés.

#### A. — Systèmes à contrôleurs asservis. —

La première application de ce système date de 1885 où Sprague commandait à distance les contrôleurs par une transmission mécanique; puis en 1894 Siemens et Halske perfectionnèrent le système Sprague et remplacèrent la transmission par des tringles articulées. Ces dispositifs avaient le défaut d'exiger un effort considérable dès que l'on avait un certain nombre de contrôleur à manœuvrer et furent vite abandonnés.

On imagina alors des systèmes dans lesquels les divers contrôleurs étaient commandés par servo-moteurs qui étaient soit pneumatique (système Auvert appliqué par la Compagnie des Chemins de fer du P. L. M. à la ligne du Fayet à Chamonix) soit électromagnétique (système Sprague, utilisé sur les lignes du South Side Elevated Ry de Chicago) soit enfin électropneumatique (système Westinghouse, appliquée au Chemin de fer du tunnel de la Mersey et système Siemens Schukert, employé sur les lignes du Métropolitain de Berlin).

**Système Sprague.** — Les contrôleurs série-parallèle des différentes voitures sont mus par des servo-moteurs électriques. Les cylindres inverseurs doivent être séparés des contrôleurs et sont mus chacun par deux électros à suction, agissant, l'un pour la marche avant, l'autre pour la marche arrière. L'appareil de manœuvre peut commander à la fois tous les servo-moteurs et tous les inverseurs à l'aide d'un câble à cinq fils, qui court d'un bout à l'autre du train et est jonctionné entre les voitures par un dispositif spécial. Le train peut être manœuvré d'une voiture quelconque, pourvu qu'il y existe un appareil de manœuvre, et ces appareils peuvent être montés en parallèle en nombre quelconque.

Dans le schéma (fig. 457) les traits pleins se rapportent au circuit des moteurs.

Le commutateur de manœuvre fait communiquer la ligne d'une part avec l'une des bobines de relais C, S ou P par les plots 1, 2 ou 3, et d'autre part avec l'un des électros de l'inverseur, par les plots 4 et 5.

Supposons le train au repos, le commutateur étant à la position zéro, tous les relais sont tombés et l'inverseur est dans la position médiane. Pour effectuer la mise en marche on place le commutateur dans la position 1 (marche AV).

*Position 1.* — Le courant circule dans la bobine du relais C, de la ligne à terre T et le relais se lève, mais la position du contrôleur ne permet pas l'excitation du servo-moteur. Par le plot 4, le courant passe dans la bobine marche AV de l'inverseur, traverse l'inverseur par 20 et 6, traverse le stop-relais et gagne la terre par le plot 12 du contrôleur. Il en résulte la mise en action de l'inverseur et du stop-relais.

L'inverseur tourne, se place dans la position AV et le stop-relais se lève. Le courant de commande de l'inverseur va alors à la terre en traversant la résistance de 700 ohms indiquée sur le schéma et les plots b'b'. Il est ainsi maintenu dans la bobine un courant suffisant pour équilibrer l'action du ressort de rappel à zéro de l'inverseur et ce courant ne dépend plus de la position du contrôleur.

*Position 2.* — Lorsqu'on passe à la position 2, le relais C tombe et S se lève. Le courant peut passer dans le servo-moteur, il part de L, traverse la bobine de droite du servo-moteur, passe par aa', 10 et 8, par les touches du relais S, les touches du régulateur, traverse l'inverseur par 22 et 21 la bobine du frein du servo-moteur et gagne la terre du contrôleur.

Il en résulte que le frein du servo-moteur se desserre et que le contrôleur est entraîné vers la position série. Le courant est lancé dans les moteurs et le train démarre. Le contrôleur continuant à tourner, le courant augmente dans les moteurs et lorsqu'il atteint la valeur limite fixée, le régulateur se lève et coupe le courant dans le servo-moteur qui s'arrête. Lorsque par suite de l'accélération imprimée au train, le courant diminue suffisamment, le régulateur retombe. Le servo-moteur, se met en route, fait avancer le contrôleur d'un nouveau cran et ainsi de suite jusqu'à ce que les moteurs soient en série sans résistances. A ce moment, le circuit du servo-moteur se coupe en 8.

*Position 3.* — A la position 3 du commutateur, le relais S tombe et P se lève. Le courant partant de L, traverse la bobine de droite du servo-moteur, passe par aa' et par les plots 10 et 7 du contrôleur et les touches du relais P, la bobine du frein

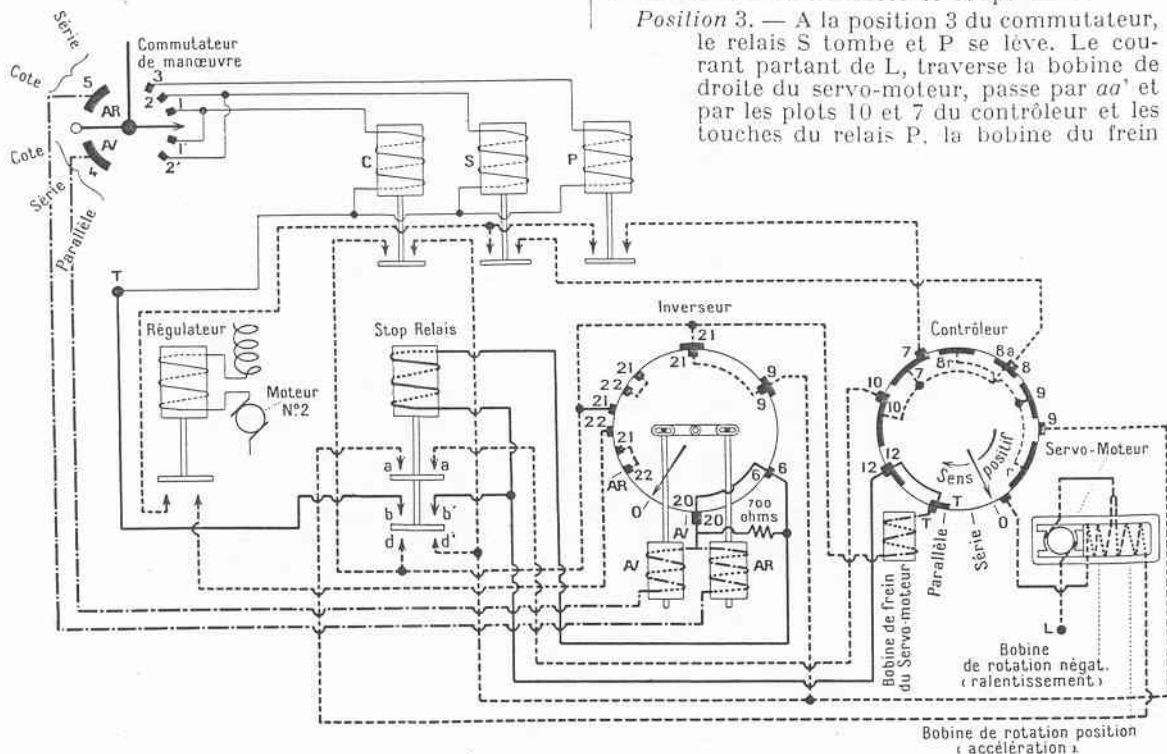


Fig. 457 — Système Sprague.

et la terre du contrôleur. Le contrôleur avance comme précédemment, jusqu'à ce qu'il arrive au plot parallèle, qui correspond à la marche en parallèle des moteurs sans résistances; le courant du servo-moteur se coupe alors en 7.

**Arrêt.** — Il est facile de voir que si, étant dans une des positions 3 ou 2, on revient à la position 1, le courant passe dans la bobine de gauche du servo-moteur (rotation négative), le contrôleur et par 9 va aux touches du relais C qui est alors levé et gagne la terre après avoir traversé la bobine du frein. Le contrôleur revient donc à zéro et le courant du servo-moteur se coupe en 9.

**Arrêt rapide.** — Pour obtenir un arrêt rapide, il suffit au lieu de s'arrêter à la position 1 en venant de 3 ou 2, de passer brusquement à la position zéro.

Le courant manque alors dans l'inverseur qui revient à la position médiane et coupe ainsi le courant dans les moteurs. En même temps le stop-relais tombe et le train s'arrête. Le contrôleur revient de lui-même au zéro, le courant passant dans la bobine de rotation négative, le contrôleur, les plots 9 et 21 de l'inverseur, la bobine du frein, d'où il gagne la terre.

**B. — Systèmes à contrôleurs relayés.** — Dans ces systèmes, le contrôleur est remplacé

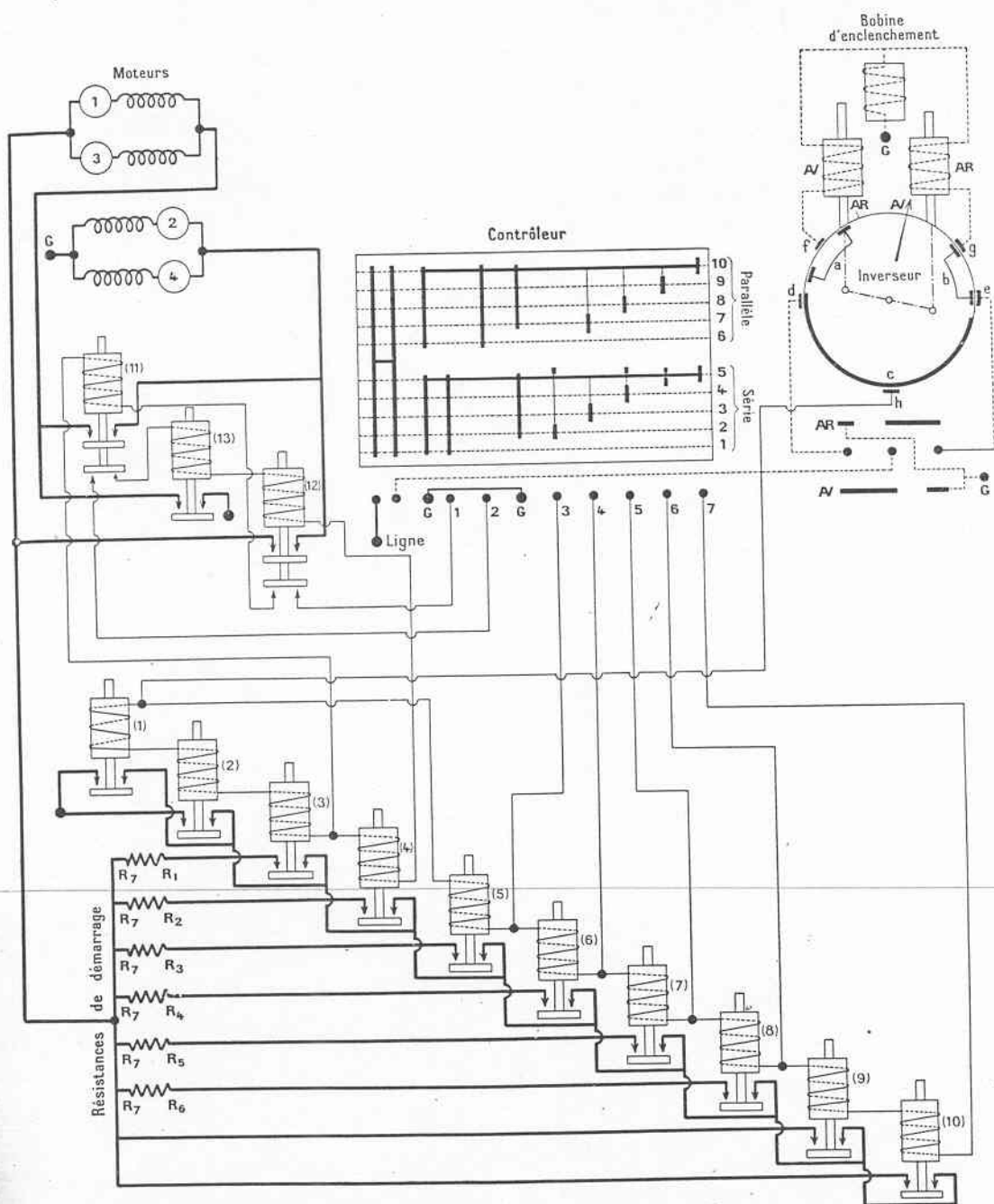


Fig. 458 — Système Thomson-Houston.



par des contacteurs commandés à distance par manipulateur; la commande peut être électromagnétique (Systèmes Général Electric ou Thomson-Houston, Sprague Général Electric ou Sprague Thomson-Houston, Oerlikon, Dick-Kerr, Jeumont-Heidemann) ou électro-pneumatique (systèmes Westinghouse, Bergmann).

**Système Thomson-Houston ou Général Electric.** — Dans ce système, le couplage des moteurs et le réglage des résistances sont effectués par des relais commandés par un petit contrôleur spécial qui peut être mis en n'importe quel point du train. L'inversion du sens de marche s'effectue, comme dans le système de Sprague, au moyen d'un inverseur à électros.

Comme précédemment, un seul contrôleur sert à manœuvrer à la fois plusieurs groupes de relais, commandant chacun un groupe de moteurs; de même plusieurs contrôleurs peuvent être installés sur le train; il suffit de 9 fils, 2 pour l'inverseur et 7 pour les relais.

Dans le schéma simplifié des connexions (fig. 458) les circuits parcourus par le courant des moteurs, sont figurés en traits forts; les circuits de commande des relais, sont en traits fins et ceux de l'inverseur en traits pointillés. Il y a 13 relais ou contacteurs: les relais 1 et 2 servent d'interrupteurs du courant des moteurs; les relais 3 à 10 servent au réglage du courant dans les moteurs en intercalant des résistances dans le circuit; les relais 11, 12 et 13 servent au couplage en série ou en parallèle des groupements de moteurs 1, 3 et 2, 4.

Sur le contrôleur, qui est pour la commodité, représenté couché on voit à gauche deux segments dont l'un frotte sur une touche reliée à la prise de courant; l'autre est relié électriquement au premier et sert à envoyer le courant à l'inverseur. Tous les autres segments sont reliés à la terre par la troisième touche du contrôleur dans toutes les positions de marche.

*Mise en marche.* — On met le contrôleur dans la position 1. Le courant, venant de la ligne arrive à l'inverseur en d, à travers les deux premiers segments du contrôleur et par c et h, il traverse les relais 1, 2, 3, 11 et par les touches inférieures du relais 12, gagne la terre par la touche 1 du contrôleur, qui est en prise. Le relais 11 met les deux groupes de moteurs en série et les relais 1, 2 et 3 ferment le circuit sur les résistances  $R_1$ ,  $R_7$ ; le train démarre.

En passant sur les positions 2, 3, 4 on actionne successivement les relais 5, 6, 7, 8, qui mettent en parallèle les résistances de démarrage et à la position 5, ces résistances sont mises en court-circuit par les relais 9 et 10.

Si on continue à faire avancer le contrôleur, il est facile de se rendre compte qu'on enlève successivement les résistances du circuit et qu'à la position intermédiaire entre 5 et 6, tous les relais sont retombés et le circuit se trouve coupé.

A la position 6, le courant passe par d, par les bobines des relais 1, 2, 3, 4, 12, 13, les touches inférieures du relais 11 et va à la terre par la touche 2 du contrôleur. Les relais 12 et 13 branchent les deux groupes de moteurs en parallèle et les relais 1, 2, 3, 4 ferment le circuit sur les résistances  $R_1$ ,  $R_7$  et  $R_2$ ,  $R_8$ . En continuant à manœuvrer le contrôleur, on met successivement en parallèle les résistances de démarrage et à la position 10, toutes les résistances sont en court-circuit.

Si l'on revient alors à la position 0, les mêmes opérations se reproduisent en sens inverse.

Ajoutons, que par un dispositif spécial, si l'on venait à abandonner la poignée du contrôleur, le contact cesserait automatiquement entre les segments représentés à gauche et leurs touches, et tous les relais tomberaient, ce qui couperait le courant dans les moteurs.

Cette disposition a pour but de provoquer l'arrêt du train en cas d'indisposition du machiniste et de permettre une rupture très rapide du courant.

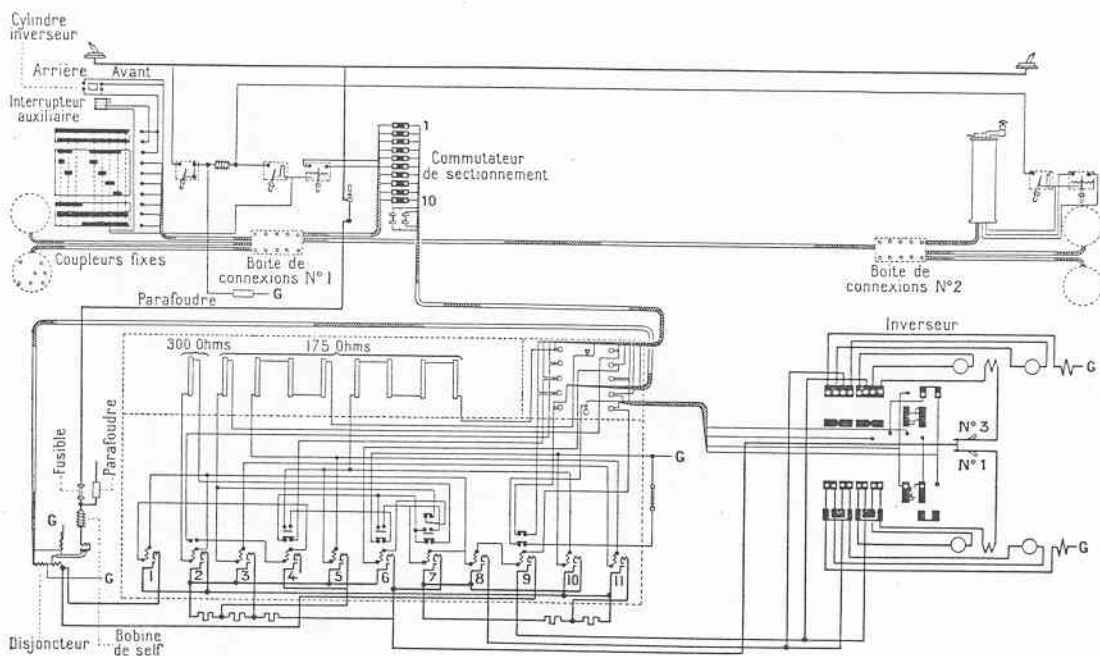


Fig. 459 — Système Sprague Thomson. Equipement non automatique.

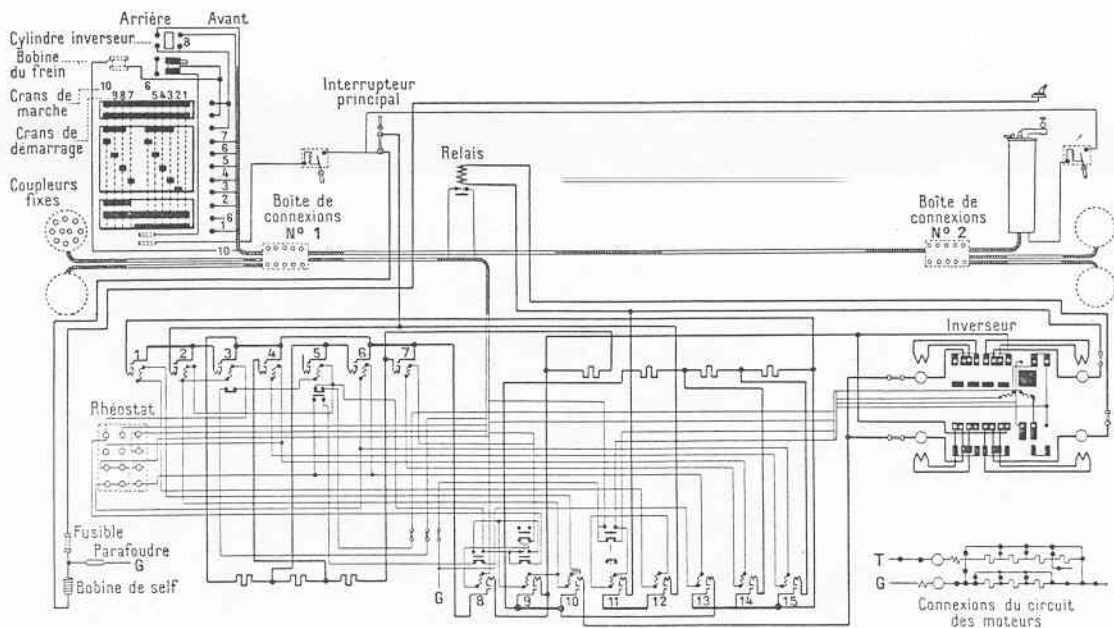


Fig. 460 — Système Sprague Thomson. — Equipement automatique par le contrôleur.

**Système Sprague Thomson ou Sprague Général Electric.** — Ces équipements sont de 4 types :

- 1° Equipements non automatiques.
- 2° Equipements semi-automatiques.
- 3° Equipements à accélération automatique par le contrôleur.
- 4° Equipements à accélération automatique par relais.

Ces équipements sont établis pour que la transition entre le couplage en série et le couplage en parallèle des moteurs soit effectué sans interruption de courant par application de la méthode du pont.

*Equipement non automatique.* — Cet équipement diffère du système Thomson-Houston étudié ci-dessus par l'adoption de la méthode du pont pour la transition série-parallèle. La figure 459 donne le schéma d'un équipement non automatique à 4 moteurs.

*Equipement semi-automatique.* — Pour éviter que le mécanicien passe au cran suivant du contrôleur avant que l'intensité absorbée par les moteurs soit normale, on a adjoint au contrôleur un frein électro-magnétique immobilisant le cylindre du contrôleur tant que l'intensité normale n'est pas atteinte; ce frein est excité par un relais d'intensité ou d'accélération parcouru par le courant d'un des moteurs. Le contrôleur comporte en outre un dispositif à force centrifuge obligeant le cylindre à tourner à une vitesse sensiblement constante.

*Equipement à accélération automatique par le contrôleur.* — Dans ce dispositif le cylindre du contrôleur n'est plus entraîné directement par la manette, mais avec interposition d'un ressort; le contrôleur comporte en outre le dispositif de frein électromagnétique décrit ci-dessus. Lorsque le mécanicien manœuvre la manette du contrôleur, il pousse celle-ci à fond ou sur le cran correspondant à la vitesse qu'il désire obtenir; la tension du ressort entraîne le cylindre qui s'ar-

rête au premier cran par suite de l'intervention du frein; dès que l'intensité est devenue normale, le frein libère le cylindre qui reprend sa course jusqu'au cran suivant et ainsi de suite jusqu'au cran où est arrêtée la manette.

La figure 460 représente le schéma d'un équipement automatique par le contrôleur à quatre moteurs.

*Equipement à accélération automatique par relais.* — Dans ces équipements le shuntage progressif des résistances est obtenu à l'aide de contacteurs avec contacts auxiliaires commandés par l'intermédiaire d'un relais comportant deux enroulements, l'un en gros fil par lequel passe le courant d'un moteur et l'autre en fil fin qui est relié au circuit de commande; le relais est réglé de telle sorte que le courant des moteurs oscille entre 2 valeurs absolument constantes. Le schéma de la figure 461 représente un équipement à 4 moteurs avec relais automatiques.

**Système Jeumont-Heidemann.** — Dans les équipements Jeumont-Heidemann la mise en ou hors circuit des moteurs, leur démarrage, leur couplage en série ou en parallèle, leur shuntage et leur inversion de sens de marche sont assurés par des contacteurs et des coupleurs actionnés à distance sous le contrôle d'un manipulateur.

Ces contacteurs et coupleurs sont manœuvrés par un arbre à cames entraîné par un servomoteur électrique. Dans la plupart des systèmes de commande par arbre à cames, on ne dépasse guère 10 à 12 positions, alors qu'il n'est pas rare de voir sur des locomotives 30 crans et même plus; nous verrons comment dans le système Jeumont-Heidemann on a pu, par un dispositif mécanique ingénieux, obtenir un grand nombre de positions.

*Commande de l'arbre à cames.* — L'arbre à cames 1 (fig. 462) porte à l'une de ses extrémités un plateau 2 sur la périphérie duquel sont taillées des encoches radiales équidistantes en nombre impair (15 par exemple).

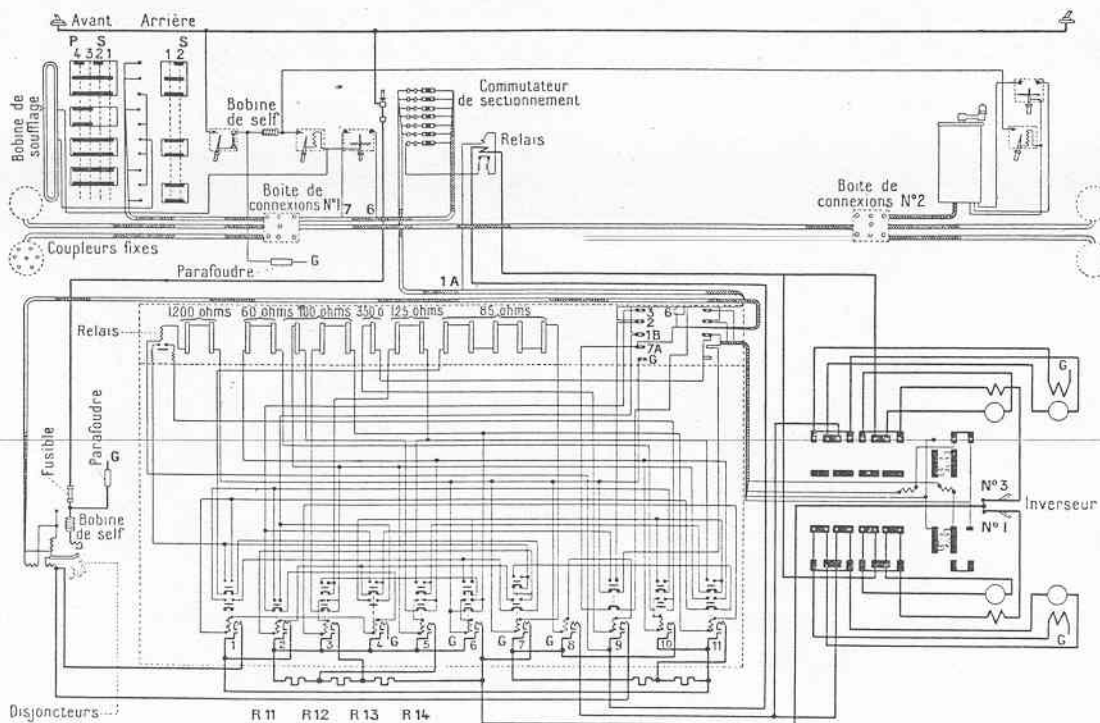


Fig. 461. — Système Sprague Thomson. — Equipement automatique avec relais.

La position de l'arbre à cames est rendue fixe par l'engagement d'un verrou 3 dans la rainure inférieure du plateau.

Le servo-moteur actionnant l'arbre à cames porte calé sur son arbre 4 un plateau manivelle portant un galet 5 pouvant s'engager tangentiellement dans l'une des encoches supérieures du plateau 2; sur l'arbre 4 du servo-moteur est

*Commande et asservissement du servo-moteur.*

— Le courant de commande est envoyé au servo-moteur par le manipulateur 1 (fig. 463) par l'intermédiaire du cylindre d'asservissement 2 solidaire de l'arbre à cames; le servo-moteur se met à tourner et l'auto-rupteur 3 commandé par une came calée sur l'arbre du servo-moteur se ferme; à ce moment, le servo-moteur est alimenté directement sans l'intervention du manipulateur et du cylindre d'asservissement. Dès que le servo-moteur a effectué un tour complet, c'est-à-dire dès que l'arbre à cames a tourné d'un quinzième de tour, l'auto-rupteur 3 s'ouvre coupant l'alimentation du servo-moteur qui s'arrête sous l'action d'un frein à glycérine; si à ce moment le manipulateur envoie encore du courant, le servo-moteur continue à tourner jusqu'au cran désiré.

Le manipulateur amorce donc le mouvement du servo-moteur et celui-ci effectue sa rotation jusqu'à ce que le cran soit complètement achevé.

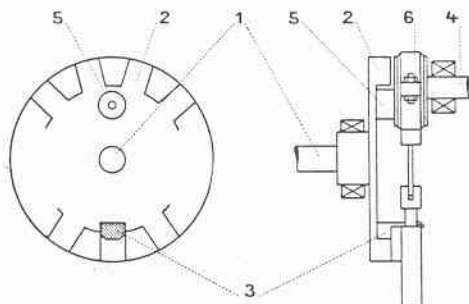


Fig. 462. — Système Jeumont-Heidemann. Mécanisme d'actionnement de l'arbre à cames.

monté en outre un excentrique 6 portant une bielle commandant le verrou 3 guidé dans des glissières verticales.

Lorsque l'arbre 4 du servo-moteur fait un tour, le plateau 2 est saisi par le galet 5, déverrouillé par l'excentrique, entraîné de 1/15 de tour, puis reverrouillé et abandonné par le galet. La manœuvre est effectuée sans choc, le galet 5 saisissant tangentiellement le plateau 2 par l'une de ses encoches et le verrouillage ne s'effectuant que lorsque le plateau est immobilisé; la manœuvre de l'arbre à cames peut donc s'effectuer à grande vitesse.

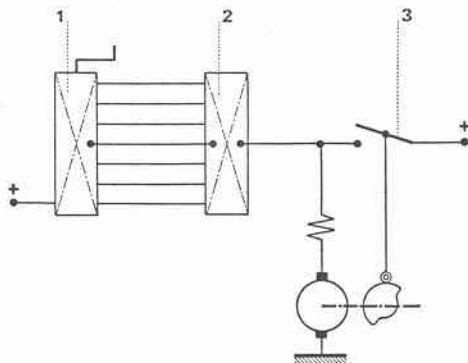


Fig. 463. — Système Jeumont-Heidemann. Alimentation et asservissement du servo-moteur.

Le servo-moteur est à excitation série et comporte 2 enroulements inducteurs, un pour chaque sens de rotation; un autorupteur est nécessaire; celui-ci envoie le courant sur l'en-

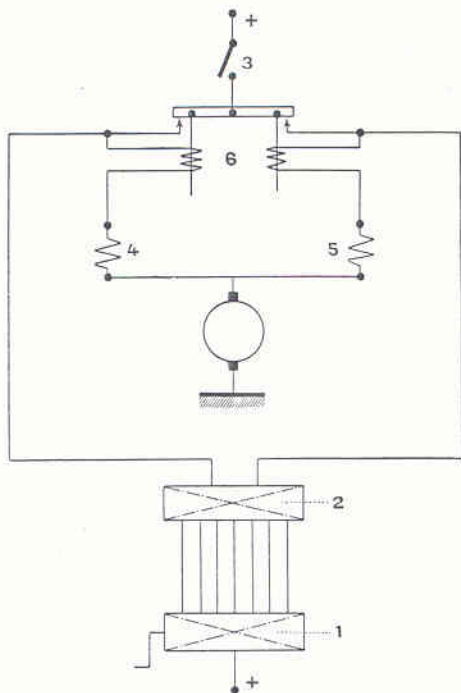


Fig. 464 — Système Jeumont-Heidemann. Alimentation et asservissement du servo-moteur.

roulement inducteur convenable du servo-moteur par un commutateur électro-magnétique 6 (fig. 464).

Le frein est constitué par une petite pompe foulante à glycérine (fig. 465), actionnée par une bielle commandée par un excentrique calé sur l'arbre du servo-moteur.

Les figures 466 et 467 représentent respectivement un servo-moteur avec son frein et un autorupteur.

**Arbre à cames et contacteurs.** — La figure 468 représente l'un des contacteurs par l'arbre à cames; la came (voir fig. 469) attaque le levier principal 1 du contacteur par l'intermédiaire du galet 2; sur ce levier principal 1 s'articule un levier en bronze 3 portant le contact mobile 4 et supportant l'action d'un ressort 5; ce dispositif permet d'obtenir une grande vitesse de coupure et une forte pression de contact.

L'arbre à cames commande en outre les rupteurs de lignes qui sont manœuvrés par l'intermédiaire d'un embrayage magnétique et possèdent de puissantes bobines de soufflage.

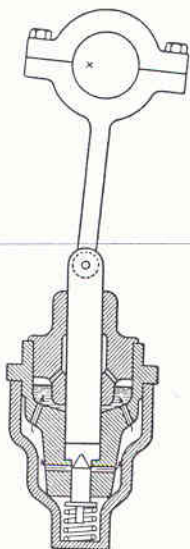
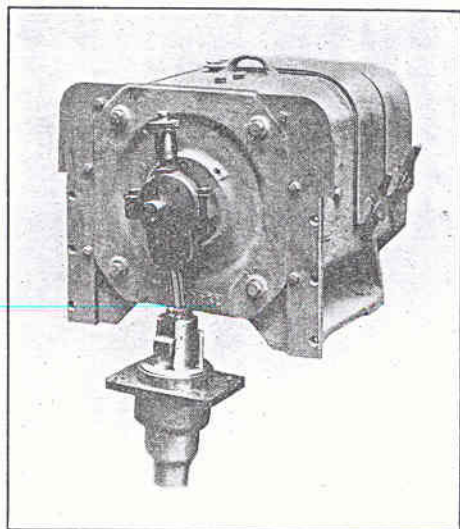
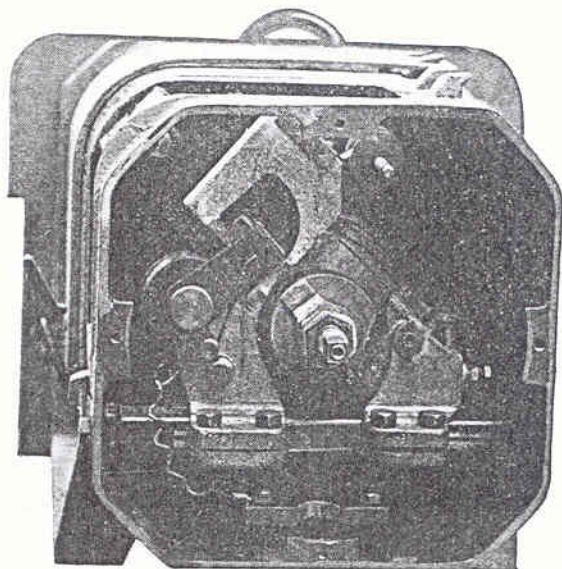


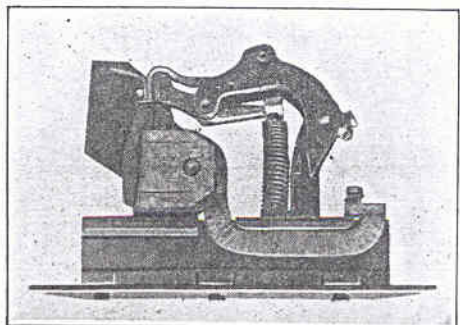
Fig. 465  
Système Jeumont  
Heidemann. Frein à  
glycérine.



(Forges et Ateliers de Constr. Electr. de Jeumont)  
Fig. 466 — Système Jeumont-Heidemann.  
Servo-moteur et frein.



(Forges et Ateliers de Constr. Electr. de Jeumont)  
Fig. 467 — Système Jeumont-Heidemann.  
Auto-rupteur.



(Forges et Ateliers de Constr. Electr. de Jeumont)  
Fig. 468 — Système Jeumont-Heidemann.  
Contacteur pour arbre à cames.

La figure 469 montre schématiquement la disposition d'un rupteur de ligne; cet appareil ne diffère pas dans ses organes essentiels du contacteur ordinaire; il possède comme lui un levier principal 1, un levier secondaire 3, un ressort de pression 5, un contact mobile 4 et un

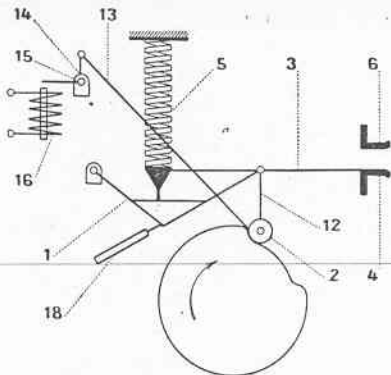


Fig. 469 — Système Jeumont-Heidemann. Rupteur de ligne.

contact fixe 6; l'embrayage magnétique est intercalé entre le levier principal 1 et le galet 2; il se compose d'une biellette 12 portant le galet 2 et articulée sur le levier principal 1, d'une bielle 13 articulée d'une part sur la biellette 12 et d'autre part sur un corbeau 14 mobile autour du point fixe 15; ce corbeau est maintenu en position de fermeture par un électro-aimant 16. La disposition des axes est telle que le corbeau tend à être arraché de l'armature de l'électro-aimant par la réaction de la came sur le galet. Lorsque l'électro-aimant est excité, le corbeau est maintenu au collage, la bielle 13, dont une extrémité est rendue fixe, maintient la biellette 12 et le galet 2 en position d'embrayage; le contacteur peut alors être fermé par la came.

Dès que l'électro-aimant est désexcité, le corbeau est arraché de l'armature; la biellette 12, n'étant plus maintenue par la bielle 13, pivote sur le levier principal en lui dérobant l'appui qu'il prenait sur la came par le galet; le contacteur s'ouvre. Pour réduire le choc de la manœuvre du rupteur de ligne, on a prévu un frein à glycérine 18 qui reçoit le levier principal en fin de course.

De même que les rupteurs de ligne, l'inverseur est commandé par l'arbre à cames. Il se compose d'un jeu de doigts appuyant sur un tambour à 4 positions correspondant aux couplages: Marche Avant — Marche Arrière — Marche Avant — Marche Arrière.

Ce tambour est entraîné d'un quart de tour toujours dans le même sens par l'arbre à cames, lorsque celui-ci tourne

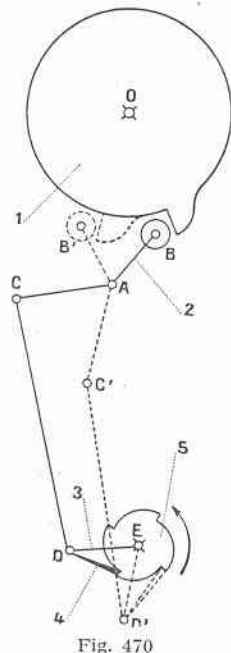


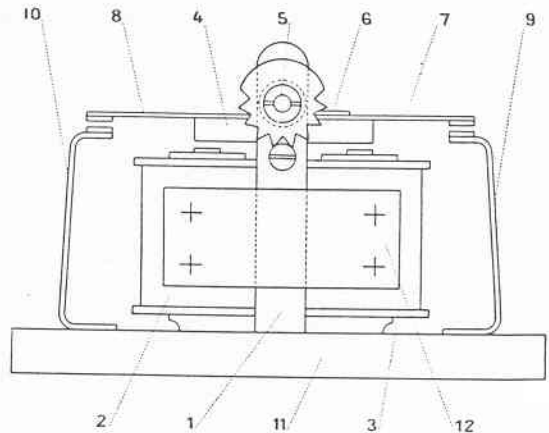
Fig. 470 — Système Jeumont-Heidemann. Inverseur.

d'un cran en arrière. Dans son mouvement d'un cran en arrière, l'arbre à came 0 (fig. 470) entraîne un levier 2 par l'intermédiaire du galet B et de la came 1; le levier 2 pivote autour de A et le système articulé B A C D E se met alors dans la position B' A C' D' E, entraînant le tambour calé sur l'arbre E par l'action du cliquet 4 sur la roue à rochet 5; lorsque l'arbre à cames revient à sa position initiale, les biellettes reprennent leur première position sans que le cliquet entraîne le cylindre.

Pour fixer le cylindre dans sa position, on a calé sur son axe un frein à bande.

**Relais.** — Les relais utilisés dans l'équipement Jeumont-Heidemann sont établis pour ne couper aucun courant ou des courants très faibles de l'ordre de 0,5 A.

Le commutateur à 2 direction 6 (fig. 464), permettant de mettre l'auto-rupteur sur l'un ou sur l'autre des enroulements inducteurs du servo-moteur, se compose d'une armature fixe en acier coulé 1 (fig. 471) portant les 2 bobines 2 et 3 et leurs noyaux; une armature mobile 4 oscille autour d'un axe 5 et établit les contacts



(Forges et Ateliers de Constr. Electr. de Jeumont)

Fig. 471 — Système Jeumont-Heidemann. — Relais.

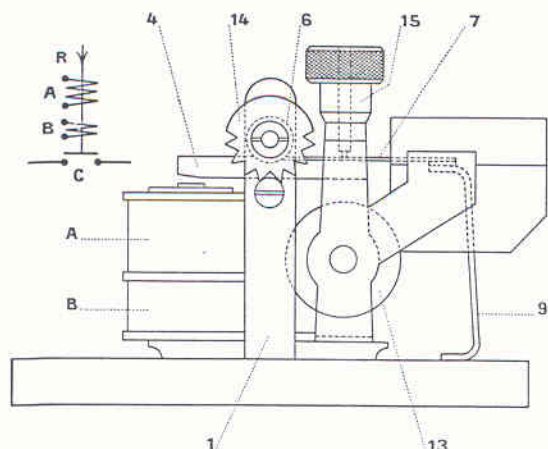
8-10 ou 7-9, suivant que c'est l'une des 2 bobines 2 ou 3 qui est excitée. L'ensemble du relais est monté sur une plaque isolante en matière moulée 11.

Le relais d'accélération (fig. 472) est réalisé avec les mêmes éléments que le commutateur ci-dessus; deux bobines A et B sont calées sur un même noyau, attirent une armature mobile 4 qui coupe le contact 7-9; une bobine 13 sert à assurer le soufflage de l'arc. Un ressort d'axe 6 permet d'obtenir deux réglages approchés du relais; le bouton moleté 15 agissant sur l'entrefer, sert à parfaire ce réglage. Le relais d'accélération réalise le schéma de la figure 472; le contact c est normalement fermé, il est ouvert par la bobine de manœuvre A et est maintenu ouvert par la bobine de maintien B tant que le courant passant par cette bobine est supérieur à une valeur donnée.

Le système Jeumont-Heidemann a été appliqué sur les motrices du Chemin de fer Métropolitain de Paris, équipées avec 2 moteurs de 175 ch sous une tension de 600 V; l'équipement comporte 16 contacteurs, 2 rupteurs de ligne et un inverseur. L'arbre à cames peut occuper 15 po-

sitions, la position zéro, 13 crans de marche et une position *moins un* correspondant à l'actionnement de l'inverseur.

La figure 473 représente l'ensemble des contacteurs, de l'arbre à cames et le servo-moteur.



(Forges et Ateliers de Constr. Electr. de Jeumont)

Fig. 472 — Système Jeumont-Heidemann.  
Relais d'accélération.

**Système électro-pneumatique P. C. Sprague Thomson-Houston.** — Dans l'équipement Sprague Thomson-Houston type P. C., les

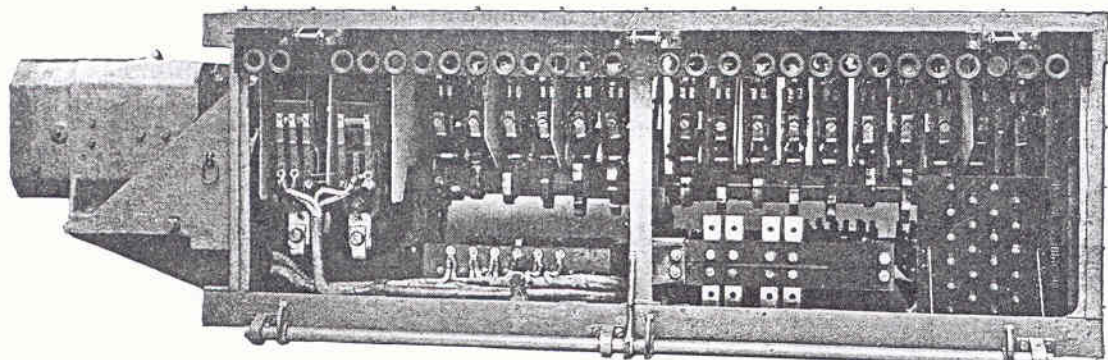
contacteurs, au lieu d'être à commande individuelle électromagnétique, sont fermés mécaniquement par l'action de cames montées sur un même arbre, dont le mouvement est assuré pneumatiquement par l'intermédiaire d'un système de pistons avec crémaillère et pignon.

En outre, par mesure de sécurité, l'inverseur et le rupteur de ligne sont commandés séparément et individuellement par des mécanismes pneumatiques placés sous la dépendance directe du contrôleur de manœuvre.

Le contrôleur P. C. (fig. 474) se compose :

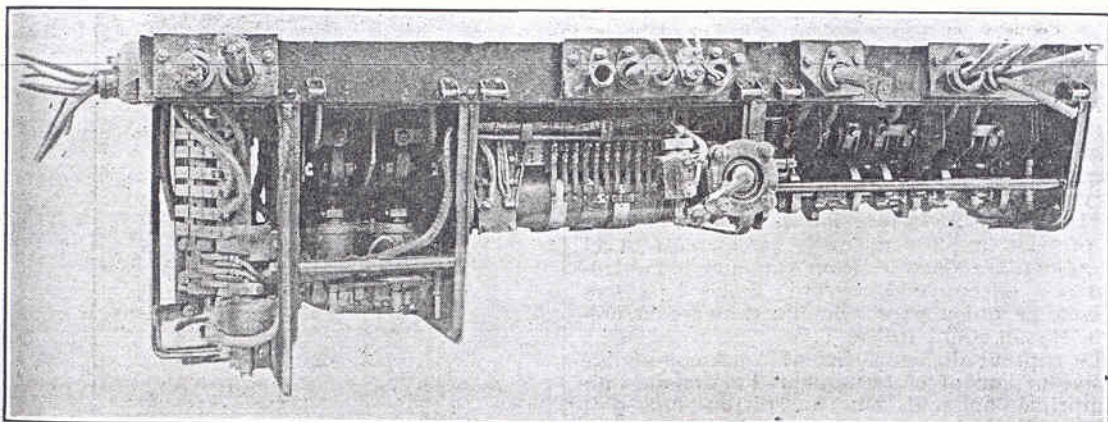
- 1° des contacteurs qui réalisent les combinaisons électriques des moteurs ;
- 2° d'un mécanisme pneumatique, avec arbre à cames, pour la commande des contacteurs ;
- 3° de 1 ou 2 rupteurs de ligne ;
- 4° d'un inverseur et des interrupteurs de mise hors circuit des moteurs en cas d'avarie ;
- 5° d'un relais de surcharge ;
- 6° d'un relais d'accélération.

Certains contrôleurs comportent en outre un relais de tension. Chaque contacteur (fig. 475) se compose d'un bras portant un contact mobile manœuvré par l'arbre à cames et d'un contact fixe avec bobine de soufflage ; les divers contacteurs sont isolés les uns des autres par des séparateurs d'arcs. La manœuvre de ces divers contacteurs est effectuée par un arbre à cames



(Forges et Ateliers de Constr. Electr. de Jeumont)

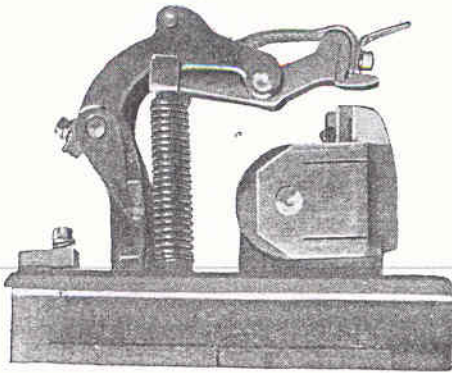
Fig. 473 — Système Jeumont-Heidemann. — Appareil ouvert face arrière.



(Alsthom)

Fig. 474 — Contrôleur P. C. 12.

portant un pignon engrenant avec une crémaillère; cette crémaillère (fig. 476) porte à chacune de ses extrémités un piston se déplaçant dans un cylindre; chaque extrémité du cylindre peut être mise en communication, soit avec un réservoir d'air comprimé, soit avec l'atmosphère;



(Alsthom)  
Fig. 475 — Contacteur individuel PC 101.

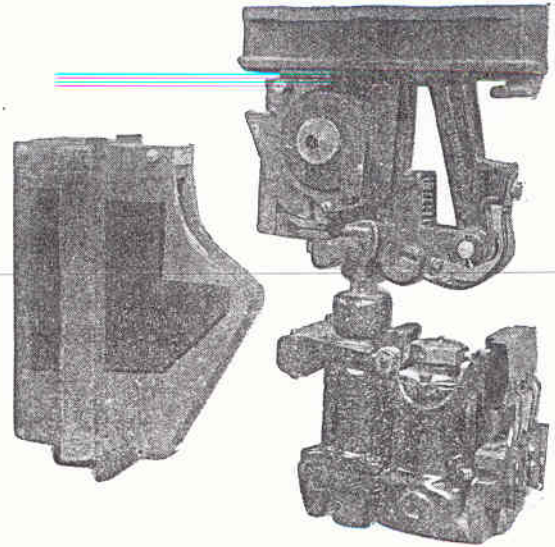
l'admission et l'échappement de l'air sont commandés par des électro-valves, dont le fonctionnement est assuré par le contrôleur du machiniste.

Lorsque les bobines des électro-valves ne sont pas excitées, la valve A laisse échapper l'air du cylindre et la valve P met en communication l'autre extrémité du cylindre avec l'air comprimé; si, au contraire, les bobines des électro-valves sont excitées, la valve A met en communication le cylindre avec le réservoir d'air comprimé et la valve P met le cylindre en communication avec l'atmosphère.

Lorsque le mécanicien manœuvre son contrôleur, l'inverseur se met à la position marche, le disjoncteur se ferme et les 2 électro-valves

toujours le courant avant que l'arbre à cames ait commencé à tourner lorsque le mécanicien ramène la manette de son contrôleur à zéro.

L'inverseur est placé dans un compartiment spécial à l'extrémité du contrôleur; il se compose



(Alsthom)  
Fig. 477 — Rupteur de ligne PC 101.

d'un cylindre d'inverseur manœuvré à l'air comprimé, ainsi que les interrupteurs de mise hors-circuit des moteurs. L'inverseur est commandé par la manette d'inversion du contrôleur de manœuvre (fig. 478) qui envoie le courant d'excitation sur l'électro-valve correspondante.

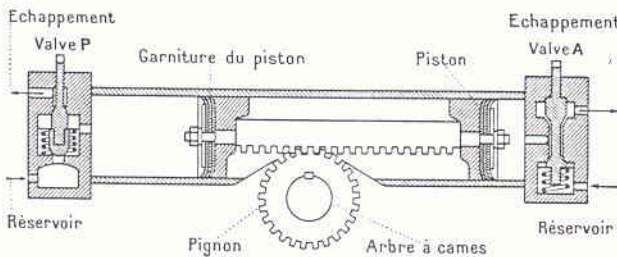
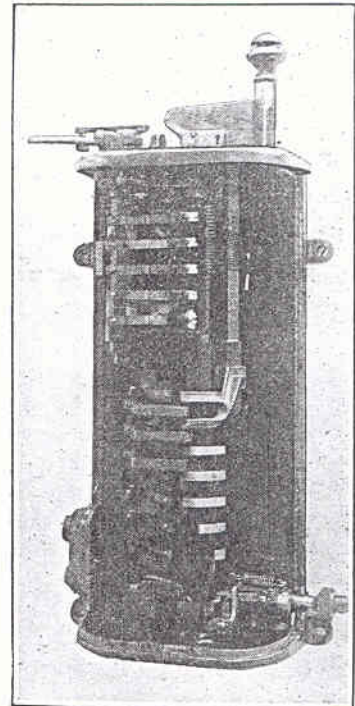


Fig. 476  
Coupe du mécanisme pneumatique d'un contrôleur PC.

sont excités. L'air comprimé est envoyé en A et l'électro-valve P laisse échapper l'air de l'autre extrémité du cylindre; la crémaillère se déplace dans le sens de A vers P. Les crans d'arrêt sont marqués par des interruptions du courant de la valve P qui laisse pénétrer l'air comprimé sur le piston côté P; la pression de cet air équilibre la pression appliquée sur le piston côté A et la crémaillère s'arrête. Pour ramener le contrôleur à 0, on coupe le courant sur les 2 électro-valves, ce qui a pour effet de ramener la crémaillère au point initial.

Le rupteur de ligne (fig. 477) est commandé individuellement et fermé sous l'action de l'air comprimé agissant sur un piston qui doit vaincre l'effort exercé par un ressort antagoniste; le rupteur comporte une bobine de soufflage et des séparateurs d'arc. Le rupteur coupe



(Alsthom)  
Fig. 478  
Contrôleur de commande C 129.

Un verrouillage électrique empêche la manœuvre de l'inverseur lorsque les rupteurs de ligne sont fermés; de même, ces derniers ne peuvent être fermés que si l'inverseur est sur une position marche avant ou marche arrière.

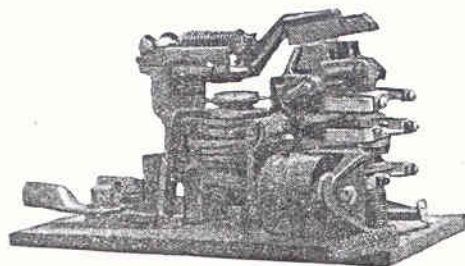
Le relais de surcharge (fig. 479) comprend une bobine série avec mécanisme de déclenchement et de verrouillage et une bobine shunt de réenclenchement.

Le relais d'accélération (fig. 480) comporte une bobine série et des bobines shunt auxiliaires; le courant des moteurs passe dans la bobine qui attire la palette lorsque le courant dépasse une certaine valeur; le contact est maintenu ouvert tant que le courant des moteurs n'est pas redescendu à une valeur normale et l'électrovalve n'est pas excitée, dès que l'armature retombe, le contact se ferme et la bobine de l'électrovalve du contrôleur est à nouveau excitée; le contrôleur avance au 2<sup>e</sup> cran et ainsi de suite jusqu'au cran désiré.

**Système électropneumatique PCM ou électrique ECM de la Société Alsthom.** — Ces équipements comportent :

1<sup>o</sup> Un groupe de contacteurs indépendants électromagnétiques ou électropneumatiques pourvus d'un soufflage magnétique et comprenant les rupteurs de ligne et les contacteurs effectuant les couplages série et parallèle par la méthode du pont.

2<sup>o</sup> Un groupe de 11 rupteurs mécaniques, sans soufflage, commandés par arbre à cames;



(Alsthom)

Fig. 479 — Relais de surcharge PC 101.

ces rupteurs éliminent les résistances au cours du démarrage.

Le schéma de principe (fig. 481) montre l'ordre d'enclenchement des différents contacteurs et des rupteurs. Les crans de démarrage série sont obtenus par un tour complet de l'arbre à cames dans un sens et les crans de parallèle par rotation du même arbre dans le sens opposé; on obtient ainsi 9 crans série et 9 crans de parallèle. Un relais d'accélération est prévu pour retenir l'arbre à cames sur un cran au cas où l'intensité des moteurs se trouverait dépasser la valeur maximum admise. L'équipement comporte en outre :

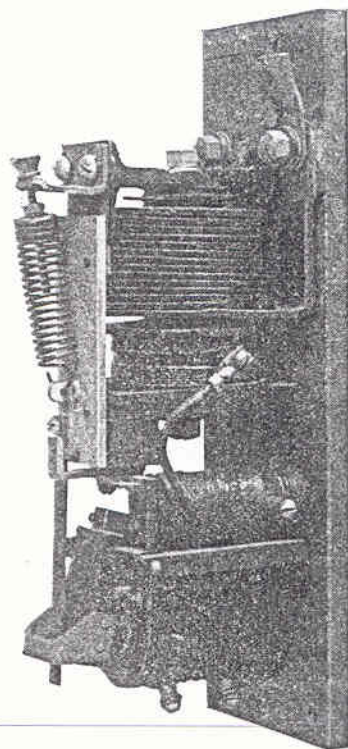
- 1 inverseur de marche à commande électropneumatique ou électrique;
- 1 relais de surcharge;
- 1 ou 2 manipulateurs de contrôle comportant 3 positions de marche (manœuvre, série, parallèle) et la commande de l'inverseur.

**Commande électropneumatique P. C. M.** — La figure 482 représente schématiquement la coupe de la commande pneumatique de l'arbre à

cames. L'entraînement de l'arbre à cames se fait à l'aide d'une crémaillère à 2 pistons; les faces de ces pistons peuvent être mises alternativement en relation avec un réservoir à air comprimé ou avec l'atmosphère, selon le sens de rotation à obtenir.

L'air agit directement sur l'un des pistons et par l'intermédiaire d'un liquide antigel, dont la vitesse de l'écoulement peut être réglée, sur l'autre piston. Un galet, solidaire d'un cliquet commandé par le relais d'accélération, s'engage dans les crans d'une came et peut immobiliser l'arbre portant cette came, si le relais d'accélération l'exige.

**Commande électrique E. C. M.** — La figure 483 représente schématiquement la commande électrique de l'arbre à cames. Cette commande se compose d'un différentiel comportant 2 pignons fous sur leur arbre; l'un de ces pignons est entraîné constamment par le moteur dans un sens pour le démarrage série et dans l'autre sens pour le démarrage parallèle; l'autre pignon est solidaire d'une came B qui peut être immobilisée par un cliquet à commande électromagnétique.



(Alsthom)

Fig. 480 — Relais d'accélération DB 808.

L'engrenage planétaire est fou sur son arbre qui est lui-même claveté sur l'arbre général du différentiel solidaire de l'arbre à cames.

L'arbre à cames est également muni d'une came à crans C pouvant être immobilisée par un cliquet à commande électromagnétique. Le relais d'accélération, selon la valeur du courant qui le traverse, bloque l'un ou l'autre des deux cliquets magnétiques et autorise ou interdit la rotation de l'arbre à cames.

Ces équipements ont été utilisés sur le réseau de Chicago en Amérique et sur les Chemins de fer de l'Etat Français.



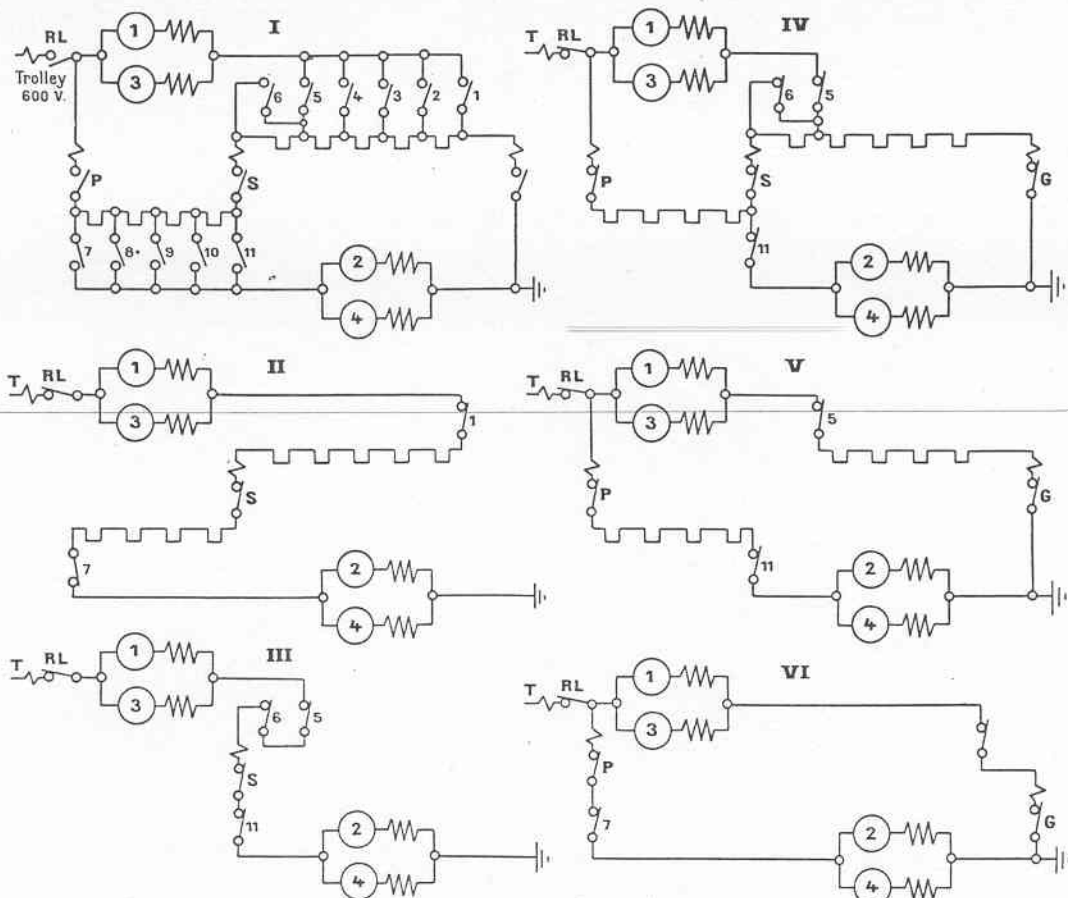


Fig. 481 — Équipement PCM à 4 moteurs.

(Alsthom)

- I. Schéma du circuit principal  
 II. Premier cran série.  
 III. Dernier cran série.  
 IV. Transition série-parallèle.  
 V. Premier cran parallèle.  
 VI. Dernier cran parallèle.

- T. Prise de courant.  
 RL. Rupteur de ligne.  
 P. Contact pour la marche en parallèle.  
 S. Contact pour la marche en série.  
 G. Contact de terre.

**Système Bergmann.** — Ce système construit par la Bergmann-Elektrizitäts-Werke-Aktien-Gesellschaft, fonctionne sur les automotrices alimentées sous la tension de 800 V continu des Chemins de fer Electriques de Berlin et de sa banlieue.

Il permet de commander les moteurs à l'aide de contacteurs actionnés par un arbre à cames, d'un point quelconque du train. Dans le premier dispositif mis en service, l'arbre à cames était commandé par un mécanisme électropneumatique et ce n'est qu'en 1929 qu'un dispositif entièrement électrique a pu être réalisé.

Le machiniste dispose d'un combinateur C (fig. 484) comportant 5 crans :

- Marche arrière, faible accélération;
- Repos;
- Marche avant, faible accélération;
- Marche avant, accélération de 0,30 m par seconde;
- Marche avant, accélération de 0,50 m par seconde.

L'accélération est choisie par avance et la manette du combinateur est amenée dans la position correspondante; pour démarrer le train, il ne suffit plus alors que d'appuyer sur un bouton poussoir surmontant le combinateur;

à ce moment, un courant est envoyé sur la bobine de l'électro-valve du cylindre d'avancement A, qui s'ouvre et laisse passer l'air comprimé; la tige du piston fait avancer la roue à cliquet de l'arbre à cames A d'un cran; en fin de course du piston, le circuit de la bobine de l'électro-valve est coupé par le contact *a* et l'arrivée d'air est fermée en même temps que le corps de cylindre est mis en communication avec l'atmosphère; le piston est alors ramené à sa position initiale par un ressort. Au démarrage du moteur, l'intensité du courant ayant une valeur trop forte, l'armature du relais d'accélération R est attirée et le circuit de la bobine de l'électro-valve A est coupé par les contacts *b*; dès que l'intensité du courant atteint une valeur acceptable, le relais d'accélération rétablit à nouveau son contact *b* et la bobine de l'électro-valve A est à nouveau excitée; une nouvelle rotation de l'arbre à cames se produit et ainsi de suite. Lorsque le courant est coupé par le bouton-poussoir, la bobine de l'électro-valve de rappel R étant désexcitée, celui-ci fonctionne et ramène l'arbre à cames à sa position initiale.

Ce système a été employé pour des tensions de 1 500 V en courant continu; il peut être employé

également pour la traction par courants alternatifs; dans ce cas, l'arbre à cames agit sur les prises du transformateur d'alimentation.

**124. TRANSMISSION DE L'EFFORT MOTEUR À L'ESSIEU.**

— L'énergie électrique envoyée au moteur est transformée par celui-ci en énergie mécanique, se manifestant sous la forme d'un effort de traction appliqué à la jante des roues de la locomotive.

**Effort de traction et effort adhérent.** — Pour mettre un véhicule en mouvement, il faut appliquer sur la jante des roues de celui-ci, une force  $F_t$  que l'on appelle *effort de traction*.

Si cet effort  $F_t$  devient supérieur à une certaine valeur, la roue ne roule plus sur le rail, mais glisse sur place; c'est le phénomène du *patinage*; il provient du fait que l'on a atteint l'effort limite du frottement de glissement de la roue sur le rail.

Soit  $P$  le poids qui charge l'essieu, et  $a$  le coefficient de frottement de la roue sur le rail; l'effort adhérent  $F_a$  sera :

$$F_a = P \times a.$$

C'est cette valeur limite que l'on ne doit pas dépasser pour qu'il y ait adhérence ce qui s'exprime par la relation :

$$F_t < F_a.$$

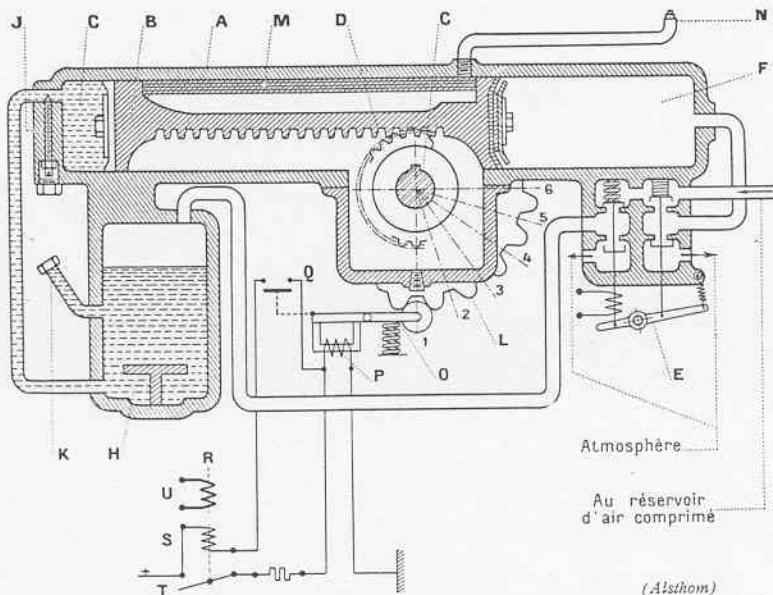


Fig. 482 — Equipment PCM. Coupe schématique de la commande pneumatique.

- A. Cylindre.
- B. Pistons et crémaillère.
- C. Arbre à cames.
- D. Pignon.
- E. Electro-valve.
- F. Cylindre à air.
- G. Cylindre à huile.
- H. Réservoir d'huile.
- J. Vis clapet de réglage du temps de fonctionnement.
- K. Niveau d'huile.
- L. Came à crans.
- M. Feutre.
- N. Tube de graissage.
- O. Cliquet électro-magnétique.
- P. Bobine d'arrêt du cliquet.
- Q. Contact solidaire du cliquet.
- R. Relais d'accélération.
- S. Bobine d'armement du relais d'accélération.
- T. Contact du relais d'accélération.
- U. Bobine de maintien gros fil du relais d'accélération.

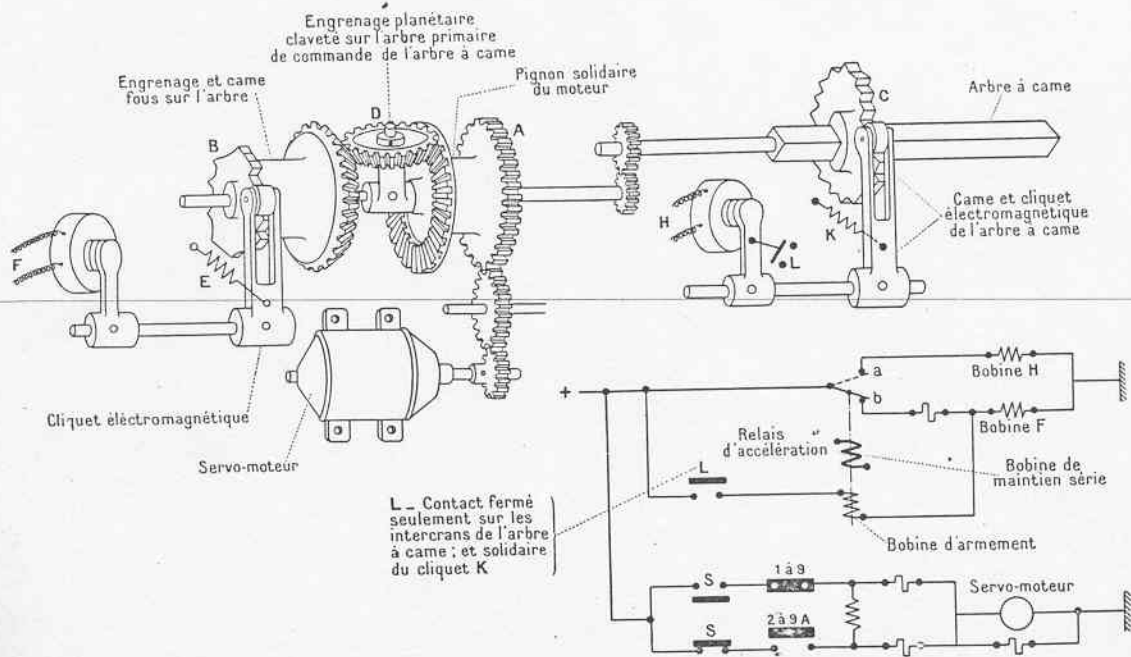


Fig. 483 — Equipment ECM. — Ensemble du dispositif de commande de l'arbre à cames.

Cette inégalité nous montre que pour se tenir le plus loin possible de la limite d'adhérence, il faut augmenter le plus possible l'effort adhérent  $F_a$ , ce qui revient à reporter sur les essieux moteurs, tout ou la plus grande partie du poids transporté.

Le coefficient d'adhérence  $a$  est très variable; il dépend de l'état de la voie et de celui des roues du véhicule, des conditions atmosphériques, etc.; il varie en général entre 0,10 et 0,25.

Pour déterminer la valeur de l'effort de traction  $F_t$  nécessaire pour mettre le véhicule en

*Résistance de l'air.* — La résistance de l'air est fonction de la vitesse du véhicule et peut être déterminée par les formules suivantes :

pour les vitesses comprises entre 0 et 50 km/h :

$$R = 0,1 S V^2;$$

pour les vitesses supérieures à 50 km/h :

$$R = K (V-a);$$

avec  $V$  vitesse du véhicule en m/s;

$S$  surface de front du train en  $m^2$ ;

$$K = 2,3;$$

$$a = 5.$$

On peut diminuer notablement la valeur de la résistance de l'air en donnant à l'avant des véhicules des formes appropriées.

Les coefficients de réduction de la résistance de l'air, pour quelques formes de proue avant de véhicule, sont les suivants :

proue en forme d'angle dièdre isocèle (fig. 485) : 0,40;

proue en forme de demi-cylindre (fig. 486), 0,40;

proue en forme d'ogive (hauteur égale à la base) (fig. 487), 0,50.

*Résistance due aux déclivités.* — La résistance due aux déclivités est proportionnelle au poids  $P$  du véhicule d'une part et à la pente  $i$  exprimée en mètres par mètres; l'on peut écrire  $R = P \times i$ .

*Résistance due aux courbes.* — Lors du passage d'un véhicule dans une courbe, chacune des roues qui sont solidaires d'un même essieu ne parcourent pas le même chemin; il se produit donc un certain glissement des roues sur le rail; d'autre part, par suite de la vitesse du véhicule, celui-ci est entraîné vers l'extérieur de la courbe par la force centrifuge. Pour compenser l'effet de

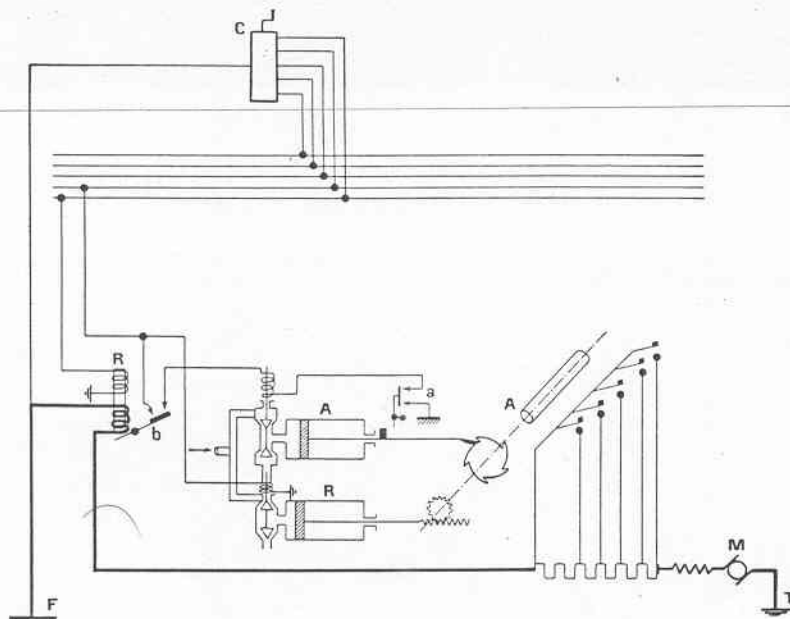


Fig. 484 — Système Bergmann. — Schéma simplifié.

mouvement, il faut établir les différentes valeurs des efforts résistants.

Ces différents efforts résistants sont de deux sortes :

- 1° Les *résistances permanentes* comprenant :
  - a) la résistance propre des véhicules (frottement des fusées des essieux dans les boîtes à graisse);
  - b) la résistance de roulement des bandages des roues sur le rail;
  - c) la résistance de l'air.
- 2° Les *résistances accidentelles* comprenant :
  - a) les résistances dues aux déclivités;
  - b) les résistances dues aux courbes;
  - c) les résistances dues aux obstacles accidentels (vent, neige, etc.);
  - d) les résistances dues à l'inertie des masses à mettre en mouvement.

*Résistance propre des véhicules.* — La résistance due au frottement des fusées dans les boîtes à graisse est constante, pour un type de véhicule donné; elle dépend du genre de graisse adopté et la valeur de cette résistance est de l'ordre de 1 à 1,5 kg par tonne transportée pour le graissage par boîtes à graisse.

*Résistance de roulement.* — La valeur de la résistance due au roulement des bandages des roues sur le rail est très faible et peut être négligée.

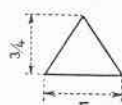


Fig. 485



Fig. 486

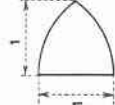


Fig. 487

cette force centrifuge à une certaine vitesse, on surélève le rail extérieur; la résultante de la force centrifuge et du poids du véhicule peut passer en dehors ou en dedans du rail extérieur, suivant que la vitesse du véhicule est supérieure ou inférieure à la vitesse pour laquelle a été calculé le dévers de la voie.

Si cette résultante tombe à l'extérieur, les boudins des roues frotteront sur le rail extérieur; si au contraire la résultante tombe à l'intérieur, les boudins des roues frotteront sur le rail intérieur.

Ce sont ces deux causes qui provoquent des résistances supplémentaires au passage des courbes. Différentes formules pratiques ont été

établies pour calculer cette résistance; nous citerons celle employée par la Compagnie d'Orléans :

$$R = 1\,000 \frac{N V}{\rho^2}$$

N : nombre de véhicules;

V : vitesse en km/h;

$\rho$  : rayon de la courbe en m.

**Résistances dues aux obstacles accidentels (vent, neige).** — L'action du vent est variable suivant qu'il est debout ou latéral par rapport au véhicule.

Au cours d'une tempête, la vitesse du vent peut atteindre 30 m par seconde, ce qui correspond à une pression de 100 kg/m<sup>2</sup>; si nous supposons, qu'en moyenne, la section offerte par un véhicule au vent de bout est de 8 m<sup>2</sup>, nous voyons que la pression exercée est de 800 kg.

Si le vent est latéral, la section offerte par le train est plus grande et peut atteindre 600 m<sup>2</sup>, ce qui correspond à une pression de 60 000 kg; cette pression agit sur les roues des véhicules dont le bandage vient frotter sur le rail; en prenant un coefficient de frottement  $f$ , acier sur acier non graissé de 0,25, on peut calculer approximativement la résistance à la traction qui serait donnée par la formule (fig. 488) :

$$R = \Sigma F \cdot \frac{a b}{r} f.$$

Pour une pression  $\Sigma F = 60\,000$  kg, la résistance  $R$  serait, en prenant  $a b = 0,020$  m,  $r = 0,50$  m et  $f = 0,25$ .

$$R = 60\,000 \times \frac{0,020}{0,500} \times 0,25 = 600 \text{ kg.}$$

En outre, certains obstacles tels que les inégalités plus ou moins accentuées de la voie, joints, verglas, neige, etc. occasionnent une

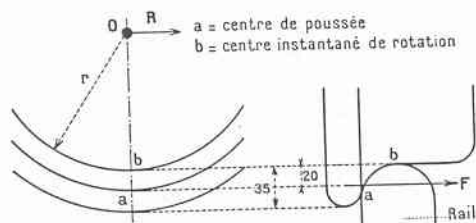


Fig. 488

résistance à la traction supplémentaire; la valeur de cette résistance est impossible à calculer exactement.

**Résistance due à l'inertie des masses à mettre en mouvement.** — Pour amener une masse de l'état de repos à la vitesse  $V$ , pendant un temps  $dt$ , il y a lieu de développer un certain effort de traction qui peut être évalué par la relation :

$$F = \frac{P}{g} (1 + \lambda) \frac{dV}{dt} = \frac{P}{g} (1 + \lambda) j.$$

$P$  étant le poids total du véhicule;

$\lambda$  un coefficient introduit dans la formule pour tenir compte de l'inertie des pièces en mouvement relatif comme les essieux;

$j$ , l'accélération et

$g = 9,81$ .

Pour un poids :  $P (1 + \lambda) = 1$  tonne, on aura :

$$F = \frac{1\,000}{9,81} j = 100 j \text{ environ.}$$

Ce qui montre qu'approximativement chaque centimètre d'accélération moyenne nécessite un effort de traction de 1 kg par tonne pour la mise en vitesse.

Si donc, on désire réaliser la mise en vitesse d'un train avec une accélération moyenne de 50 cm par seconde, l'effort nécessaire sera de 50 kg par tonne, c'est-à-dire 10 fois plus grand que l'effort nécessaire pour faire progresser le train une fois lancé sur une voie en palier et en alignement droit, effort dont la valeur est de 5 kg par tonne environ.

**Disposition des moteurs sur les locomotives.** — Suivant la position des moteurs par rapport aux essieux on peut diviser les motrices en 2 grandes classes :

- 1° motrices avec moteurs à action directe dans lesquelles les induits des moteurs sont calés directement sur les essieux;
- 2° motrices avec moteurs à action indirecte dans lesquelles les moteurs transmettent l'effort de traction aux essieux par l'intermédiaire d'engrenages.

### I. Motrices avec moteurs à action directe.

a) *Moteurs non suspendus.* — Ce dispositif est celui qui a été réalisé au début de la traction électrique; il a été employé au City et South London Ry et au Central London en 1890; les moteurs étaient du type bipolaire, à induit calé directement sur l'essieu; la carcasse inductrice était supportée par 2 paliers embrassant l'essieu. Ce dispositif a été abandonné par la suite, car l'induit soumis aux vibrations de la voie et aux chocs au passage des joints de rails ne tardait pas à se détériorer.

b) *Moteurs à demi-suspendus.* — Ce dispositif, réalisé en 1897 sur les locomotives d'essai Auvert à accumulateurs du P. L. M., consiste à suspendre d'une manière élastique le système inducteur au châssis.

Ce dispositif est un perfectionnement du précédent, mais l'induit reste toujours soumis aux chocs de la voie.

Ces locomotives, dites *Gearless*, ne sont plus guère utilisées aujourd'hui; cependant, la machine 2 C + C 2 N° 601 de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Orléans comporte encore une suspension de ce type.

c) *Moteurs complètement suspendus.* — En 1883, M. RAFFARD eut l'idée de caler l'induit du moteur sur un arbre creux, concentrique à l'essieu et relié d'une manière élastique à celui-ci; la carcasse inductrice comportait des paliers, dans lesquels passait l'arbre creux; l'ensemble du moteur se trouvait donc complètement suspendu.

Dans le projet de M. RAFFARD, l'accouplement élastique était réalisé par des liens souples en cuir, comme l'indique la figure 489. Par la suite on utilisa des ressorts comme accouplement élastique (automotrices de la ligne Paris-Invalides à Versailles) et dans les premières locomotives triphasées Ganz de la Valteline (1901), on utilisa un système de bielles, comme le représente la figure 490. Ces bielles, sans être élastiques, offrent néanmoins une certaine souplesse.

### II. Motrices avec moteurs à action indirecte.

a) *Moteurs à engrenages rigides.* — Dans ce dispositif un pignon en acier  $a$  est calé sur l'arbre du moteur  $M$ ; ce pignon engrène avec une roue  $b$ , calée sur l'essieu  $E$

(fig. 491). Il est indispensable que la distance entre les axes du moteur et de l'essieu soit invariable, à cet effet la carcasse du moteur comporte 2 paliers, dits *paliers d'essieu* p,

le nez, qui consiste à suspendre le moteur au châssis du véhicule par l'intermédiaire d'un ressort à l'aide d'un appendice venu de fonte avec la carcasse.

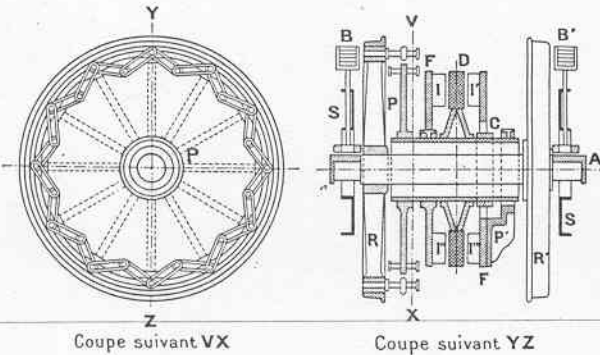


Fig. 489 — Suspension Raffard.

- F. Flasques de la dynamo.
- S. Châssis de la locomotive.
- I, I', I'', I'''. Noyaux des inducteurs.
- P. Plateau d'accouplement.
- D. Induit.
- C. Collecteur.
- R. Roues motrices.

dans lesquels tourne l'essieu; de cette façon le moteur ne peut se déplacer que concentriquement à l'axe de l'essieu et l'écartement des axes du moteur et de l'essieu reste constant.

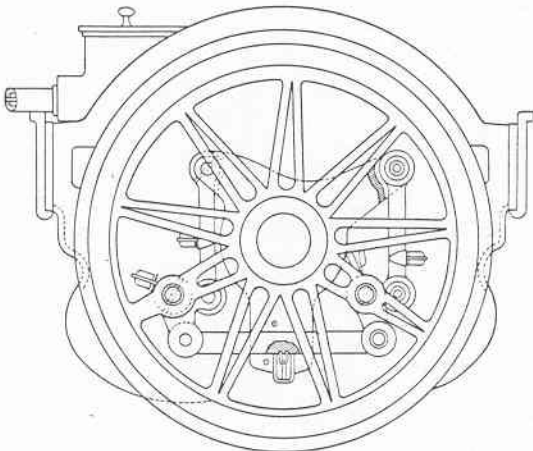


Fig. 490 — Locomotive Ganz. Suspension du moteur.

Il est évident qu'il est nécessaire de rendre fixe le moteur par rapport au véhicule et à cet effet, plusieurs dispositifs ont été adoptés. Le procédé le plus courant est la suspension par

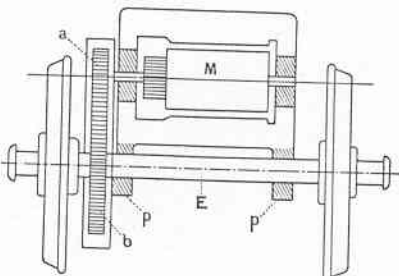


Fig. 491 — Moteur à engrenages rigides.

Dans ce système le poids du moteur se répartit à peu près également entre le point de suspension et l'essieu. On voit ainsi que l'essieu est soumis à des chocs importants; pour réduire le poids supporté par l'essieu, on a cherché à suspendre le moteur par son centre de gravité, d'où plusieurs dispositifs: suspension par barres latérales de la Général Electric Co (fig. 492), suspension par barres supérieures de la Westinghouse (fig. 493).

b) *Moteurs à engrenages élastiques.* — Pour éviter les démarrages trop brutaux et la violence des à-coups, auxquels sont soumis les moteurs, on a dû remplacer les engrenages rigides par des engrenages élastiques dans les locomotives à grande puissance et à grande vitesse. Parmi les diverses constructions d'engrenages élastiques nous citerons le dispositif employé par les Etablissements Brown-Boveri dans quelques locomotives de leur construction. L'engrenage est constitué (fig. 494) par une couronne dentée pouvant glisser sur un plateau n calé sur l'essieu. Un certain nombre d'évidements, ménagés sur la circonférence, contiennent des ressorts à boudin prenant appui, moitié sur la couronne dentée, moitié sur le plateau central. Pour répartir la charge entre les différents ressorts on a prévu des pièces de guidage c et d qui s'adaptent

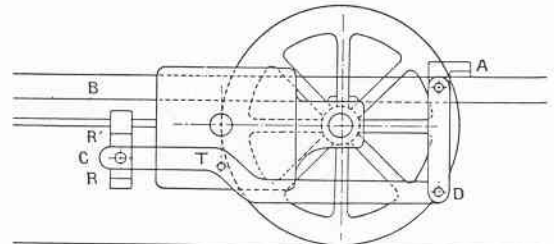


Fig. 492 — Suspension par barres latérales.

- A, D, C Barres articulées
- B Longeron.
- T Tourillons.
- R, R' Tampons de caoutchouc.

les unes dans les autres et dont les têtes s'appliquent contre les parois de l'ouverture ménagée dans la couronne et le plateau. Si la couronne dentée se déplace par rapport au plateau les surfaces k et h diagonalement opposées entrent en contact avec les parois des évidements.

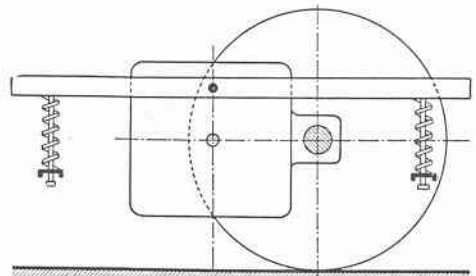


Fig. 493 — Suspension par barres supérieures.

Un dispositif analogue a été utilisé sur les locomotives du Chicago, Milwaukee, St-Paul par la Général Electric C<sup>o</sup> et avec quelques modifications sur la locomotive d'essai Westinghouse du Midi.

c) *Moteurs à engrenage élastique et à arbre creux.* — Cette disposition réunit les avantages des deux dispositifs. Différentes réalisations ont été faites de ce système; sur les locomotives Westinghouse du New-York, New-Haven et Hartford, chaque moteur est monté rigidement sur le bâti du truck et directement au-dessus d'un arbre creux entourant l'essieu; les pignons des moteurs, au nombre de 2 par moteur (1 de chaque côté), engrenent sur des roues dentées montées sur l'arbre creux; ces roues dentées sont accouplées élastiquement avec les roues du véhicule par l'intermédiaire des ressorts à boudin.

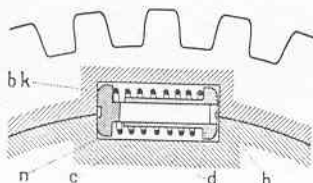


Fig. 494  
Engrenage élastique.

Sur les locomotives Brown-Boveri des Chemins de fer Fédéraux de la ligne Berne, Thoune, deux systèmes différents d'accouplement ont été adoptés; chaque locomotive comporte deux essieux moteurs, l'un avec un accouplement système Tchanz, l'autre avec un accouplement système B. B. C.

Dans le dispositif Tchanz (fig. 495), on utilise un arbre à cardan dont une des extrémités est fixée à la roue motrice et l'autre à la roue d'engrenage; cet arbre à cardan est à l'intérieur de l'essieu moteur.

Dans le système B. B. C. (fig. 496), le couple moteur est transmis à une roue dentée placée à l'extérieur des roues motrices; deux tourillons A fixés sur la roue motrice et traversant la paroi postérieure de la roue d'engrenage sont reliés par l'intermédiaire de biellettes B et de segments dentés S à deux axes D dans la roue d'engrenage; les articulations C entre les biellettes B et les segments dentés S sont de forme sphérique; les tourillons A sont également de forme sphérique.

Le graissage du mécanisme de commande est assuré par une pompe à piston actionnée par la roue motrice; cette pompe aspire l'huile d'un réservoir et l'envoie aux points à lubrifier; l'huile est ensuite recueillie, filtrée et renvoyée dans le réservoir; le graissage des organes s'effectue donc automatiquement.

Dans le système Oerlikon, la roue dentée est fixée à l'intérieur des roues motrices sur l'arbre creux (fig. 497 et 498); cette roue dentée porte deux tiges d'accouplement traversant l'une des roues par 2 fenêtres ménagées à cet effet; ces deux tiges d'accouplement sont reliées à la roue motrice par l'intermédiaire de biellettes élastiques ainsi que le représente la figure 497; il y a lieu de remarquer qu'il n'y a qu'une seule roue par essieu et que par conséquent l'arbre creux comporte à une extrémité la roue dentée et à l'autre extrémité un plateau portant 2 tiges d'accouplement jouant le même rôle que celle de la roue dentée.

d) *Moteurs avec transmissions par bielles et manivelles.* — Ce système d'accouplement a été imaginé pour pouvoir commander plusieurs essieux à l'aide d'un seul moteur et permettre une utilisation complète de l'adhérence, même avec des moteurs à courant continu couplés en série, au démarrage.

Le moteur attaque les roues motrices, soit directement, soit par l'intermédiaire d'engrenages, à l'aide de bielles et de manivelles; de nombreuses dispositions ont été imaginées. La figure 499 montre la façon dont a été réalisé ce dispositif sur la locomotive d'essai Westinghouse du Midi. Les 2 moteurs A et A' attaquent deux faux essieux au moyen d'engrenages élastiques; ces faux essieux sont accouplés par une bielle triangulaire qui transmet leur mouvement à l'essieu moteur central relié lui-même par des bielles droites aux deux essieux voisins.

Dans certaines locomotives on a surélevé les moteurs; ceux-ci attaquent des faux essieux par un système de bielles obliques. Les faux essieux montés rigidement au niveau des essieux transmettent leur mouvement aux essieux moteurs par bielles horizontales; nous citerons à titre d'exemple la locomotive monophasée d'essai Thomson-Houston dont le détail de l'accouplement est représenté sur la figure 500.

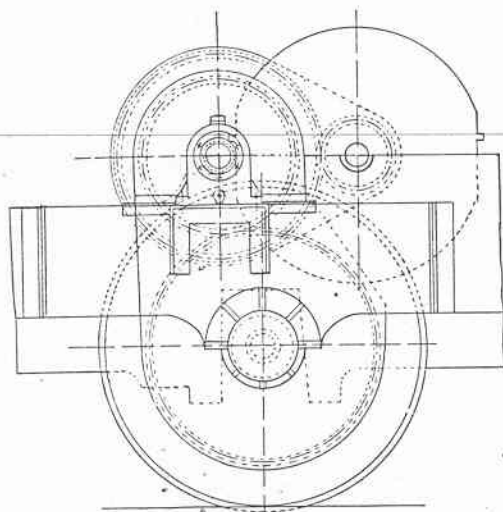
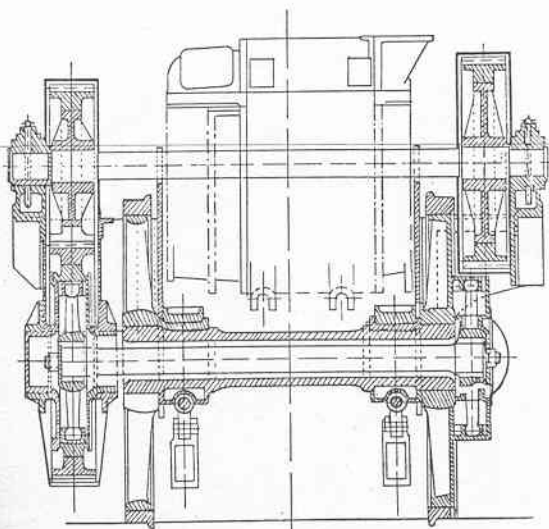


Fig. 495 — Commande individuelle des essieux. Système Tchanz.

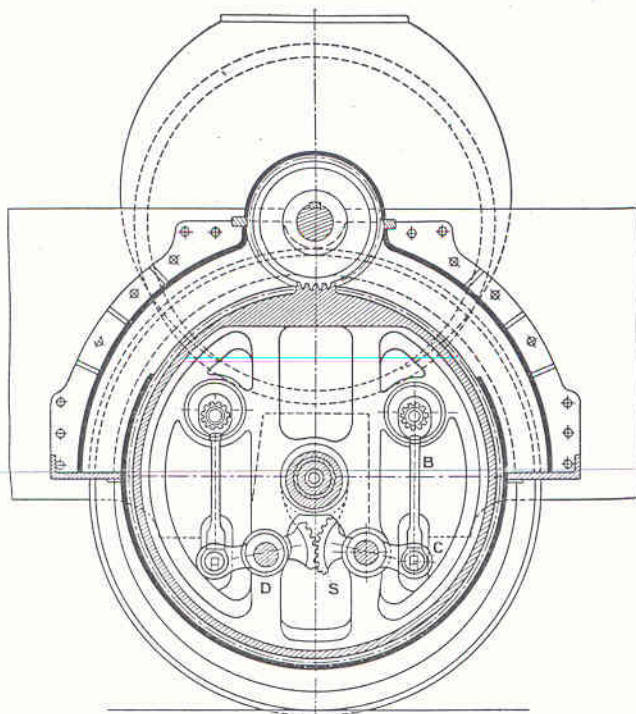
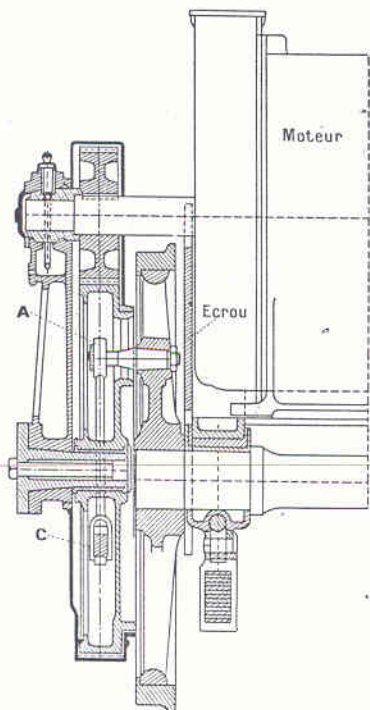


Fig. 496 — Commande individuelle des essieux. Système B. B. C.

**Comparaison entre la commande par bielles et la commande individuelle des essieux.** — La puissance des locomotives étant continuellement croissante, les moteurs ne pouvant être logés entre les roues, on a été obligé de commander les essieux moteurs à l'aide de bielles, par l'intermédiaire de faux essieux ;

tiques, la fréquence des efforts étant égale à la fréquence propre de la vibration due à l'élasticité des pièces, il y a résonance et les oscillations

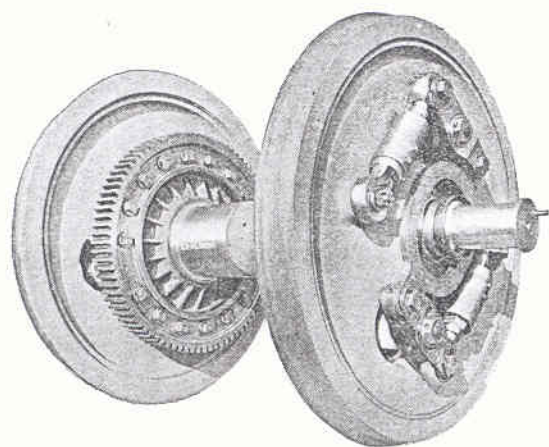
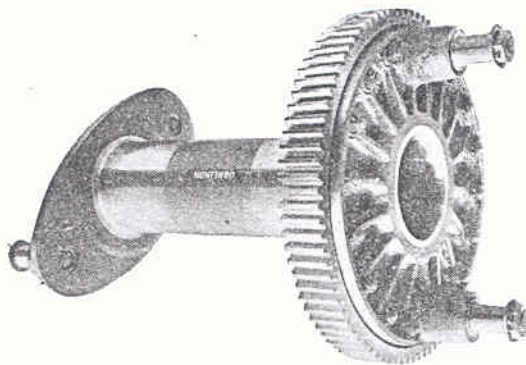


Fig. 497

Commande individuelle des essieux. Système Oerlikon.

les moteurs purent ainsi être placés au-dessus des trucks et rien n'empêchait de diminuer le nombre des moteurs et d'augmenter la puissance de chacun d'eux. Par contre, on s'aperçut vite de l'inconvénient du système à commande par bielles; parfois des oscillations prennent naissance, les bielles exerçant un effort périodique sur des organes doués d'une certaine élasticité et inertie. Pour certaines vitesses cri-



(Oerlikon)

Fig. 498 — Commande individuelle des essieux. Système Oerlikon. — Arbre creux avec sa roue dentée.

s'amplifient provoquant des ruptures de bielles ou de manivelles.

Remarquons que ces inconvénients ne se présentent pas sur les locomotives à vapeur

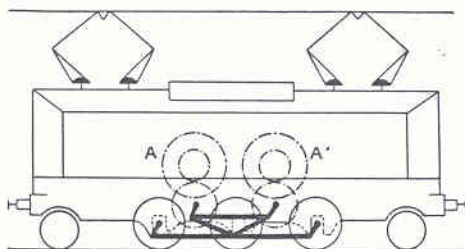


Fig. 499

le cylindre à vapeur servant d'intermédiaire élastique entre le châssis et les bielles; c'est pourquoi pour éviter ces vibrations dans les locomotives électriques on a recours à l'emploi de l'engrenage élastique.

Les constructeurs semblent abandonner la transmission par bielles et c'est le type de locomotive à commande individuelle des essieux qui semble prévaloir. Un des grands avantages

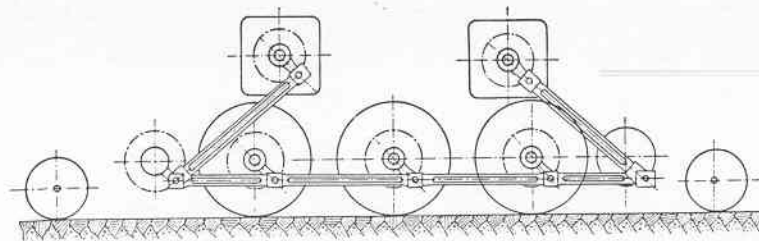


Fig. 500

de la commande individuelle des essieux est la possibilité d'utiliser les mêmes éléments principaux pour des locomotives de grande ou de faible puissance. C'est ainsi que la Société Anonyme Brown-Boveri et Cie a construit pour les Chemins de fer Fédéraux des locomotives pour trains directs, type 2 D o 1 à commande individuelle des essieux qui se distinguent des locomotives 2 C o 1 par le fait qu'on a ajouté un quatrième essieu, comportant les mêmes organes de transmission et le même moteur que les autres essieux.

**125. ECLAIRAGE.** — L'éclairage des voitures d'un train à traction électrique est naturellement électrique.

Autrefois, les lampes à incandescence employées étaient à filaments de carbone, construites spécialement pour résister aux chocs; à cet effet, le filament était fixé à sa base par un support supplémentaire.

La construction des lampes à incandescence a fait de grands progrès depuis et la solidité des filaments métalliques est devenue suffisante pour permettre l'emploi de celles-ci pour l'éclairage des voitures; ces lampes présentent de grands avantages sur les lampes à filament de carbone: pouvoir éclairant plus grand, consommation spécifique plus faible.

Les lampes à incandescence les plus courantes sont les lampes 110 V, aussi, dans le cas de traction à basse tension, en courant continu 550 V, par exemple, on emploiera des lampes 110 V montées en série par groupe de 5; l'inconvénient de ce procédé est que, lorsqu'une lampe s'éteint par suite d'usure ou de rupture du filament, c'est tout un groupe de 5 lampes qui ne fonctionne plus; mais comme dans une voiture, il y a plusieurs circuits d'éclairage, l'extinction complète n'est pas à craindre.

Les lampes subissent des surtensions importantes, lors des démarrages, par exemple et elles devront être prévues pour pouvoir supporter des variations de tension de 12 à 18 V. En plus des circuits d'éclairage normaux, on prévoit un circuit d'éclairage de secours qui entre en fonctionnement, dès que le circuit normal s'éteint par suite de manque de courant. On prévoit à cet effet une batterie d'accumulateurs alimentant le circuit de secours,

par l'intermédiaire d'un conjoncteur; le schéma représenté figure 501 montre comment ce système a été appliqué sur les voitures de tramway de la STCRP; le conjoncteur assure, d'une part, la bonne polarité aux bornes de la batterie d'accumulateurs pendant sa charge et d'autre part, l'allumage automatique du circuit de secours, en cas d'extinction des lampes du circuit d'éclairage normal.

Dans la traction par courant continu haute tension, il est naturellement impossible de monter en série un nombre de lampes suffisant sur la tension totale d'alimentation. On a recours alors dans certains systèmes à l'alimentation par une batterie d'accumulateurs indépendante ou bien par un groupe convertisseur moteur-générateur.

Dans la traction par courants alternatifs, on peut alimenter les circuits d'éclairage par une prise spéciale faite sur le transformateur principal; mais ce dispositif n'est pas à recommander, la fréquence du courant de traction étant généralement basse (16 2/3 ou 25 p/s) et donnant un éclairage defectueux. On emploie donc, en général, soit un groupe convertisseur spécial comme sur les locomotives du Simplon, soit le courant du circuit de contrôle comme sur les locomotives italiennes, soit enfin une batterie spéciale.

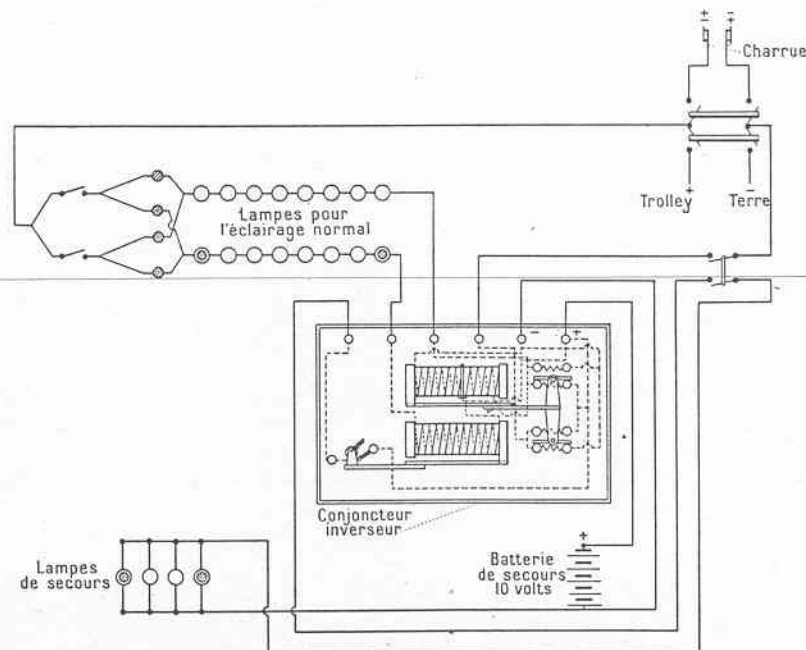


Fig. 501 — Conjoncteur pour éclairage de secours.



**126. CHAUFFAGE.** — Dans les lignes à traction électrique, il faut distinguer :

1° les voitures circulant sur des lignes dont les arrêts sont fréquents, avec mouvement continu de voyageurs où il suffit de recourir à un chauffage local par chaufferettes :

2° les voitures parcourant de longues distances sans arrêt où l'air du compartiment doit être chauffé.

Dans les premières installations de traction électrique on n'avait pas recours à l'électricité pour le chauffage des trains et l'on utilisait généralement le chauffage par bouillottes à eau chaude.

Il est à remarquer que le chauffage de l'air ambiant au moyen de radiateurs électriques est très onéreux dans les voitures où les arrêts sont fréquents et où il y a un mouvement continu de voyageurs; en effet en raison des nombreuses causes de refroidissement (ouverture fréquente des portes, surface vitrée très étendue, étanchéité médiocre) il est nécessaire de fournir un grand nombre de calories pour porter la température à une valeur acceptable; les résultats d'expériences, faites en Amérique sur des voitures de tramway, montrent, qu'il faut dépenser environ 7 watts par mètre cube d'air à chauffer, et par degré centigrade, au-dessus de la température extérieure; une voiture de tramway de moyenne grandeur d'une contenance de 25 m<sup>3</sup> consommerait donc environ :

$$7 \times 25 \times 15 = 2625 \text{ watts}$$

pour élever la température de l'air de 15 degrés centésimaux au-dessus de celle de l'air extérieur. En raison de la consommation exagérée, on se contente généralement, surtout dans les voitures de tramway, d'un chauffage local, réalisé en disposant des chaufferettes électriques sous les pieds de voyageurs; il est alors facile de construire des chaufferettes portées à la température de 70° environ et de réduire ainsi considérablement la consommation; en admettant une surface de chauffe de 2 dm<sup>2</sup> par place assise et sachant qu'il faut dépenser environ 10 watts par dm<sup>2</sup> de chaufferette, pour porter celle-ci à 70°, une voiture de 25 places assises dépenserait  $10 \times 2 \times 25 = 500$  watts pour son chauffage.

Dans les voitures de lignes d'express, où il n'y a pas un mouvement continu de voyageurs et où les voitures sont plus étanches la dépense d'énergie pour le chauffage est plus faible.

Pour le chauffage de l'air ambiant, on utilise des radiateurs de formes diverses; certains types sont constitués par un fil résistant en fer ou en maillechort enroulé en hélice autour d'un tube en porcelaine; l'ensemble est disposé dans une enveloppe protectrice et les radiateurs sont généralement fixés sous les sièges. En ce qui concerne la tension adoptée pour le chauffage une Convention internationale prescrit que chaque locomoteur doit comporter plusieurs tensions pour le chauffage 1 000 et 800 V par exemple; la tension de 1 000 V correspond à une règle obligatoire de l'Union internationale des Chemins de fer.

## VI

**Freinage et récupération**

Le freinage consiste à absorber la force vive d'un véhicule ou d'un train en mouvement, de façon à faire passer sa vitesse actuelle à une vitesse inférieure pouvant être nulle. On peut absorber cette force vive, soit sous forme d'énergie calorifique au moyen de sabots frottant sur les roues des véhicules, soit en faisant fonctionner les moteurs en génératrices transformant la force vive en énergie électrique, dépensée dans des résistances (freinage rhéostatique) ou dans la ligne elle-même (freinage par récupération).

Nous ne nous occuperons que du freinage électrique, le freinage mécanique sortant du domaine de ce chapitre; il convient d'ajouter en outre un troisième mode de freinage électrique: le freinage par inversion de marche, qui est l'équivalent de la marche à contre vapeur des locomotives.

Le freinage électrique augmente la sécurité de marche et diminue l'usure des sabots et des roues; dans le cas du freinage par récupération on réalise même des économies de courant très appréciables. Le freinage électrique par récupération est particulièrement intéressant dans les lignes accidentées.

**127. COURANT CONTINU.** — **Freinage par inversion de marche.** — Si dans un moteur série, on change brusquement le sens de rotation, en inversant les connexions de l'induit par rapport à celles des inducteurs, la force électromotrice du moteur fonctionnant alors en génératrice s'ajoute à la tension de la ligne et provoque un courant très intense risquant d'endommager le moteur. Il y a donc lieu d'intercaler en série sur le moteur, au moment de l'inversion, une résistance qui aura une valeur assez forte pour que le courant soit normal.

Cette méthode de freinage n'est plus efficace si le dispositif de prise de courant quitte la ligne de contact et elle ne doit être employée que comme freinage de secours d'extrême urgence.

**Freinage rhéostatique.** — Si on fait fonctionner les moteurs en génératrices et, qu'après les avoir isolés de la ligne de contact, on les fait débiter sur des résistances variables, on obtiendra un système de freinage plus sûr et progressif.

Dans le cas d'un moteur shunt le freinage se produit sans artifices, mais avec le moteur série il faut inverser l'induit par rapport aux inducteurs pour ne pas détruire l'aimantation de ceux-ci et permettre à la machine de s'autoexciter.

Dans les équipements à 2 moteurs, on peut, lorsque ces 2 moteurs sont en parallèle, couper l'arrivée de courant et inverser les connexions pour chaque moteur entre son induit et ses inducteurs, en intercalant une résistance dans le circuit; c'est la méthode de Short (fig. 502);

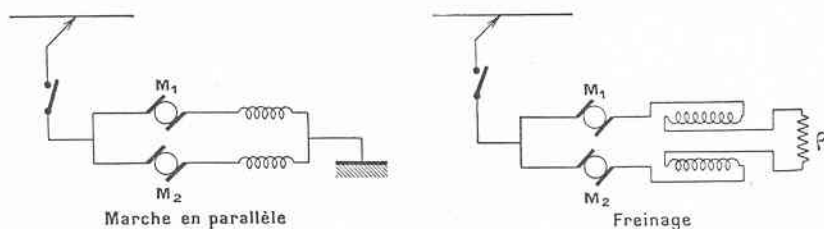


Fig. 502

les 2 moteurs sont en opposition et le courant qui circulera dans le circuit sera :

$$I = \frac{E - E'}{\rho + 2R}$$

si nous appelons :

$E$  et  $E'$  les forces électromotrices des moteurs fonctionnant en génératrices,

$\rho$  la valeur de la résistance intercalée dans le circuit;

$R$  la résistance de chaque moteur.

Cette méthode a l'inconvénient, lorsque les moteurs sont identiques et que leurs forces électromotrices  $E$  et  $E'$  sont presque égales, de n'agir que tardivement, les machines étant longues à s'exciter.

On peut encore dans les équipements à 2 moteurs faire débiter ces moteurs en parallèle sur des résistances (fig. 503); pour parer à la dissymétrie possible des machines on relie les inducteurs par un fil d'équilibre.

Lorsque la dissymétrie des machines est trop importante, pour éviter les courants de circu-

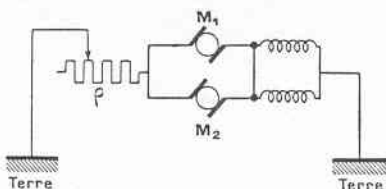


Fig. 503

lation dans les induits, on croise les connexions des induits et des inducteurs (fig. 504).

Dans la marche en parallèle à 4 moteurs, il y a lieu de prendre certaines précautions; une simple connexion d'équilibre entre les induits et induc-

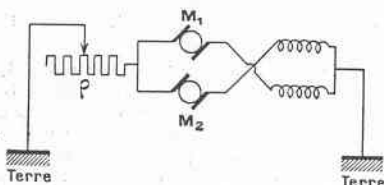


Fig. 504

teurs ne suffit pas pour éviter les inversions de polarité et les courants de circulation dans les moteurs.

Sur les locomotives de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, les moteurs sont répartis en 2 groupes de 2 moteurs chacun; chaque groupe débite sur un jeu de résistance indépendant, les connexions entre induit et inducteurs étant croisées, comme dans le cas de 2 moteurs. Sur certaines locomotives de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Orléans, les 4 moteurs sont branchés en parallèle et les connexions des groupes de 2 moteurs sont croisées, en même temps que des conducteurs d'équilibre réunissent les moteurs deux par deux (fig. 505).

Le réglage du freinage peut être obtenu en faisant varier la résistance ou le champ inducteur. Les locomotives de la Compagnie du Midi comportent une résistance fixe, l'effort de retenue étant réglé en faisant varier le champ; au contraire sur les locomotives de la Compagnie d'Orléans le champ est fixe et c'est la résistance qui est variable, sauf au cas où l'on commence

à freiner à la vitesse de 45 km/h et où l'on shunte les moteurs au moment de l'amorçage pour éviter des à-coups.

Lorsque le freinage rhéostatique est utilisé comme moyen de retenue normal, on est amené à dissiper une énergie très importante et le poids des résistances qui sont généralement ventilées artificiellement peut atteindre une valeur considérable de l'ordre de 4 à 7 t.

Si le freinage rhéostatique n'est utilisé que comme moyen supplémentaire le poids de ces résistances peut être plus faible.

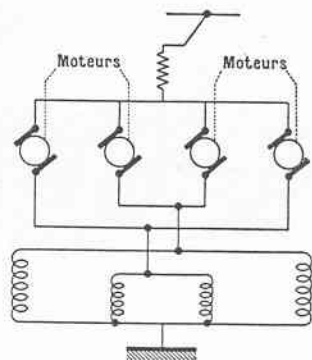


Fig. 505

#### Freinage par mise en court-circuit des moteurs.

— Si au lieu de fermer le circuit moteur sur des résistances, on court-circuite simplement ceux-ci, on obtient un freinage énergique. La plupart des contrôleurs sont prévus pour utiliser ce système de freinage qui ne doit être employé qu'en cas de secours d'extrême urgence.

#### Freinage par récupération.

— Dans ce système, l'énergie produite par les moteurs fonctionnant en génératrice est dissipée dans la ligne de contact où elle s'ajoute à celle fournie par les usines génératrices: pour qu'une machine branchée sur un réseau ait un fonctionnement convenable, il faut que cette machine soit stable, c'est-à-dire qu'une variation de la tension du réseau n'entraîne pas une augmentation indéfiniment croissante du courant; en outre la machine ne doit pas être sensible, c'est-à-dire que le rapport de la variation de tension relative  $\frac{\Delta U}{U}$  à la variation de courant relative  $\frac{\Delta I}{I}$  ne doit pas dépasser l'unité.

Il est facile de comprendre qu'une machine qui serait instable ne pourrait fonctionner puisque l'intensité croîtrait indéfiniment, dès qu'une variation de tension du réseau se produirait; en outre une machine sensible est sujette à des variations de couple gênantes pour les voyageurs et pouvant détériorer le matériel.

Le moteur série est stable et n'est pas sensible aux variations du réseau. En effet, si la tension  $U$  augmente le courant  $I$  augmente, entraînant l'augmentation de la force contre-électromotrice  $E$  qui s'oppose à l'accroissement du courant; de plus, on démontre qu'en régime non saturé le rapport  $\frac{\Delta U}{U}$  à  $\frac{\Delta I}{I}$  est égal à 1.

La génératrice série, au contraire, est instable; une diminution de tension  $U$  du réseau entraîne une augmentation du courant  $I$  dans la génératrice qui entraîne une augmentation de la valeur de variation de tension et par suite du courant qui prendra des valeurs exagérées. Il a donc fallu pour permettre la récupération en courant continu avoir recours à des artifices spéciaux.

Dans certains systèmes on utilise une excitation auxiliaire à excitation séparée et tournant à une vitesse constante; l'induit de cette excita-

trice est branché en série avec les inducteurs principaux du moteur série et le tout est branché en dérivation sur une résistance de stabilisation connectée, d'une part à l'induit du moteur, d'autre part à la terre (fig. 506).

L'auto-régulation est obtenue, soit par la réduction automatique du courant dans les inducteurs, lorsque le courant récupéré augmente, par suite, par exemple, d'une baisse de la ligne.

Dans d'autres systèmes, le circuit inducteur du moteur est alimenté séparément par l'excitatrice; les inductes des moteurs sont branchés, entre la ligne et la terre, par l'intermédiaire d'une réactance et d'un enroulement anti-compound (fig. 507). L'enroulement anti-compound, agissant indirectement sur l'excitation des moteurs, rend ce système auto-régulateur.

### Freinage par récupération avec moteurs compound.

Le freinage par récupération sur les tramways n'a pu être réalisé pratiquement que par l'emploi des moteurs compound, les divers systèmes de récupération que nous avons étudiés précédemment exigeant un matériel trop lourd et trop encombrant. Le seul obstacle qui ait empêché, jusqu'en ces derniers temps, l'emploi des moteurs compound en traction est la présence sur ces moteurs d'enroulements shunt, constitués par des fils de petite section, ayant une résistance mécanique très faible et pouvant se détériorer sous l'action des secousses et des chocs de la voie.

Il y a lieu toutefois de remarquer, qu'en mettant les enroulements shunt des moteurs d'une même voiture en série, on est conduit, pour un même nombre d'ampères-tours, à adopter des fils de section plus forte et par suite moins fragiles; en outre, grâce aux progrès réalisés dans la fabrication des moteurs et à la qualité des isolants employés on peut construire aujourd'hui des moteurs compound très robustes et résistant suffisamment aux chocs et aux trépidations.

Les équipements avec moteurs compound peuvent se classer en 3 catégories :

- 1° Moteurs groupés d'une façon permanente en série.
- 2° Moteurs groupés d'une façon permanente en parallèle.
- 3° Moteurs groupés alternativement en série ou en parallèle.

*Moteurs groupés d'une façon permanente en série.* — Ce système dû à M. BACQUEYRISSE a été adopté sur certaines motrices de la S. T. C. R. P.

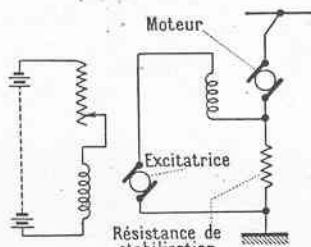


Fig. 506

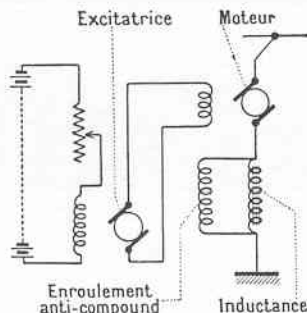


Fig. 507

Dans ce dispositif les inductes, les enroulements inducteurs série et de commutation sont reliés en permanence en série et branchés sur la tension totale avec interposition d'une résistance (fig. 508); les enroulements inducteurs shunt sont branchés en série sur la tension totale avec interposition d'un rhéostat d'excitation.

Le démarrage s'effectue avec l'excitation shunt maximum, c'est-à-dire avec le rhéostat

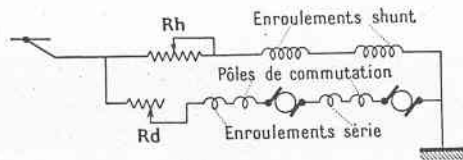


Fig. 508

d'excitation  $R_h$  court-circuité; les résistances de démarrage  $R_d$  sont ensuite éliminées progressivement; l'augmentation de la vitesse s'obtient ensuite en diminuant le courant d'excitation shunt à l'aide du rhéostat.

Si on augmente ensuite le courant d'excitation shunt on obtient aux bornes des inductes des moteurs une tension supérieure à celle de la ligne et l'on renvoie sur cette dernière un courant, plus ou moins intense, suivant la rapidité de la variation du courant d'excitation. Puisque les moteurs fournissent de l'énergie à la ligne, ils empruntent cette énergie à l'énergie cinétique du véhicule et freinent, par suite, ce dernier; il est possible en outre de provoquer la marche en dérive, en ramenant rapidement la manette du contrôleur à zéro; l'inductance des enroulements shunt est suffisamment élevée pour empêcher dans ce cas le renvoi d'énergie à la ligne.

Le schéma représenté par la figure 509 est celui d'un équipement à 2 moteurs avec couplage fixe, utilisé par la S. T. C. R. P. sur ses motrices type G et type L.

Notons qu'un deuxième type d'équipement plus récent a été réalisé sur certaines motrices de la S. T. C. R. P.; dans cet équipement, les 2 moteurs de la motrice sont utilisés comme moteurs compound pendant la marche en série, puis en moteurs série pendant la marche en parallèle, la transition série-parallèle s'effectuant comme avec les moteurs série ordinaires par la méthode du court-circuit. Le freinage par récupération correspond au couplage série des deux moteurs compound et le fonctionnement est identique à celui du système décrit précédemment.

*Moteurs groupés d'une façon permanente en parallèle.* — Ce système a été utilisé sur les tramways de Marseille, Versailles et le Havre.

Les moteurs sont groupés d'une façon permanente en parallèle aussi bien pour la marche en moteur que pour la marche en récupération.

Ce système ne semble pas offrir d'avantages sérieux par rapport au système précédent en ce qui concerne l'exploitation; toutefois le groupement des moteurs en parallèle d'une façon permanente permet d'éliminer un moteur en cas d'avarie à celui-ci et de marcher avec l'autre moteur. Les véhicules à un seul agent des tramways de Versailles comportent deux moteurs TH 599 compound d'une puissance unihoraire de 20 ch, branchés en permanence en parallèle.

*Moteurs groupés alternativement en série et en parallèle.* — Ce système dû à M. LIÈVRE, Directeur

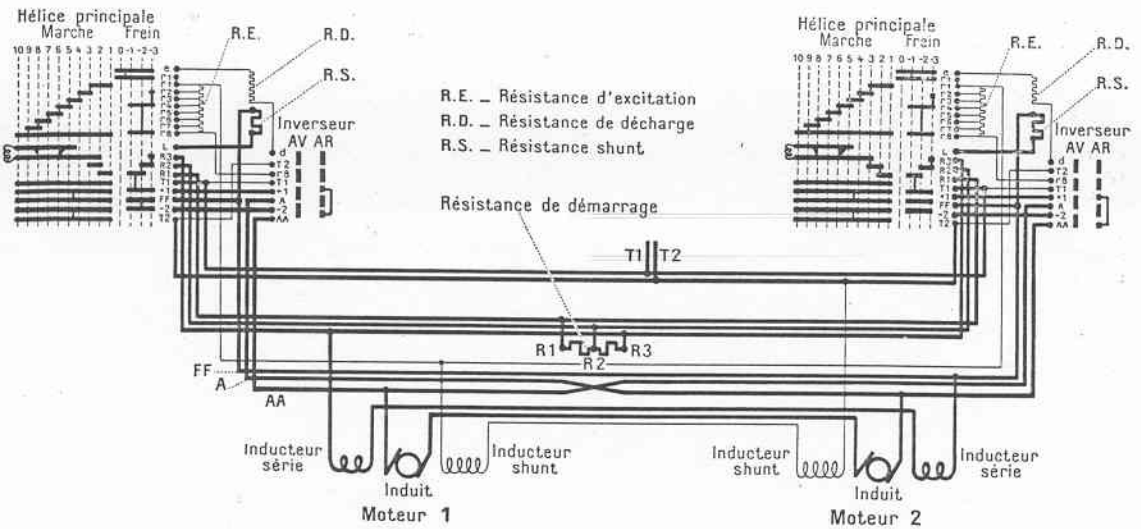


Fig. 509 — Schéma d'équipement pour marche en récupération avec moteurs compound en série.

des Chemins de fer et Tramways du Var et du Gard (Toulon) a été utilisé sur les tramways de Marseille, de Rouen et du Havre; il se compose de 2 moteurs compound couplés alternativement en série et en parallèle, aussi bien pour la marche normale que pour la marche en récupération.

La Compagnie des Tramways de Rouen a réalisé en outre des véhicules à un seul agent comportant le dispositif de freinage par récupération avec moteurs compound couplés alternativement en série et en parallèle.

**128. VEHICULES A UN SEUL AGENT ET MOTEURS COMPOUND DES TRAMWAYS DE ROUEN.** — Les moteurs sont du type série TH 585, transformés en moteurs compound; leur puissance unihoraire est de 47,5 ch.

L'équipement comprend :  
 1 rupteur de ligne;  
 1 contacteur de freinage;

1 contacteur principal d'excitation;  
 2 contacteurs de démarrage;  
 3 relais de commande du servo-moteur de transition;

6 contacteurs de transition;  
 8 rupteurs et 1 contacteur de marche correspondant aux 9 positions de marche par variation du champ inducteur;

1 relais à maximum de tension des pédales d'homme mort.

1 signal d'alarme provoquant la rupture du circuit de contrôle du rupteur de ligne et l'alimentation directe par la ligne, des sablières et des patins.

3 rupteurs d'appareil « Gallois » pour la recharge automatique de la batterie d'accumulateurs au cadmium-nickel 12 volts, 205, Ah alimentant les contacteurs, servo-moteurs, éclairage et signal avertisseur.

La figure 510 représente schématiquement l'équipement électrique de la motrice.

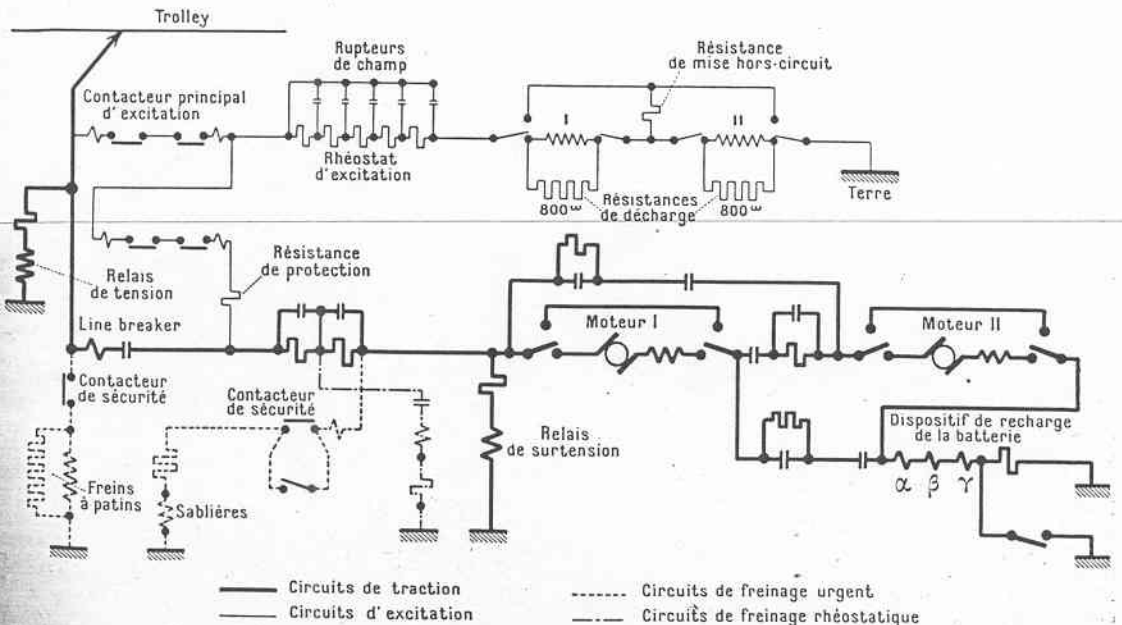


Fig. 510 — Tramways de Rouen. Schéma d'équipement.

La commande est effectuée par rupteurs et contacteurs; pour la transition série-parallèle six contacteurs ont été prévus; ces contacteurs sont manœuvrés par servo-moteur.

Le servo-moteur et les contacteurs sont commandés par 2 pédales agissant sur des contacts à paillettes identiques à ceux utilisés sur les omnibus à trolley Vêtra (N° 139).

L'une des pédales, dite « *pédale série* » comporte 7 positions de marche en série avec démarrage sur résistances et augmentation de vitesse par affaiblissement du champ inducteur shunt;

canique, d'un levier d'homme mort, d'un bouton du timbre avertisseur, d'un bouton de déverrouillage des dispositifs de sécurité, d'un bouton de commande des sablières et d'un tachymètre.

La figure 511 représente schématiquement les circuits de freinage; le freinage d'urgence est obtenu par freinage rhéostatique sur résistance d'absorption comprenant notamment les patins magnétiques de la motrice, éventuellement les solénoïdes des remorques, enfin l'alimentation par le courant de ligne des deux patins à fil fin de la motrice.

Le freinage d'urgence est obtenu, soit par la traction du signal d'alarme, soit par le relèvement d'une pédale d'homme mort.

Les sablières sont commandées électriquement (fig. 512) par électro-aimants alimentés sous la tension de 550 V; l'alimentation des électro-aimants des sablières dépend, soit du signal d'alarme, soit d'un levier d'homme mort, soit enfin d'un bouton placé à portée de la main du wattman.

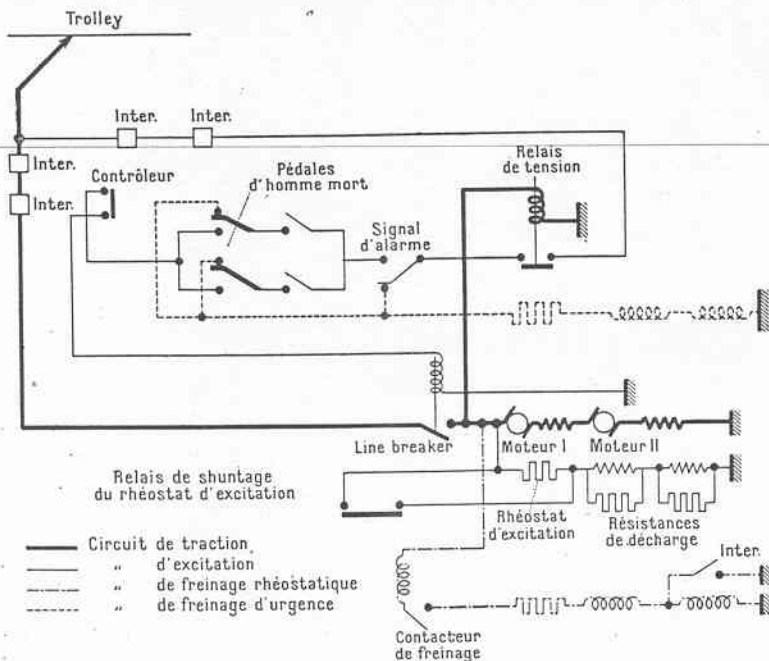


Fig. 511 — Tramways de Rouen. Circuits de freinage.

une 8<sup>e</sup> position, obtenue en poussant la pédale à fond, déclenche le fonctionnement du commutateur de transition et le couplage des moteurs en parallèle.

L'autre pédale, dite « *pédale parallèle* », permet d'augmenter la vitesse en 5 crans, les moteurs étant couplés en parallèle.

Le freinage par récupération est obtenu en manœuvrant en sens inverse l'une ou l'autre des deux pédales; en manœuvrant en sens inverse la pédale série à partir du cran 3 on obtient le freinage rhéostatique.

Les deux pédales sont enclenchées entre elles, de telle façon qu'il est impossible de manœuvrer la pédale parallèle si la pédale série n'est pas en position 8; en outre la pédale série est verrouillée en position 8 lorsque l'on manœuvre la pédale parallèle.

Le wattman dispose, en outre, à portée de la main, d'un inverseur de sens de marche, d'un contrôleur de commande des portes et commande d'un frein mé-

ployé pour réaliser le freinage électrique comme lui; toutefois, la marche en génératrice d'un moteur monophasé à collecteur dépend de la façon dont ont été réalisés les enroulements.

**Freinage par inversion de marche.** — Ce système de freinage est réalisé de la même façon qu'en courant continu, en inversant les connexions des inducteurs à l'induit.

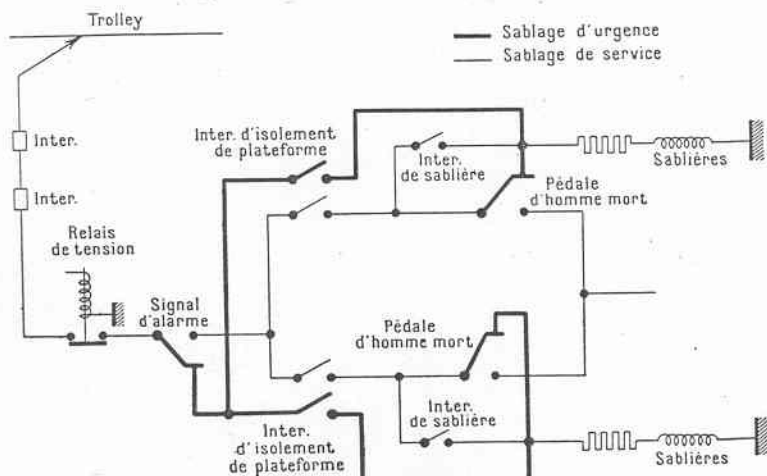


Fig. 512 — Tramways de Rouen. Circuits de sablage.

**Freinage rhéostatique.** — Les moteurs monophasés à collecteur peuvent fonctionner en génératrices, en inversant les inducteurs ou l'induit; mais, on n'est pas certain que le moteur s'amorcera de lui-même, c'est pourquoi on excite séparément le moteur à l'aide d'une

récupération sont très complexes et il faut prendre des précautions afin, qu'au courant alternatif monophasé de fréquence égale à celle du réseau produit par les moteurs, ne se superpose pas du courant continu et du courant alternatif à basse fréquence provenant de l'auto-excitation des moteurs. Pour éviter la propagation du courant continu, on sépare l'enroulement d'excitation du moteur et on l'alimente par un transformateur spécial dont le primaire est en série avec l'induit (fig. 515); pour empêcher la propagation des courants alternatifs à basse fréquence, il suffira d'employer un transformateur à fort courant magnétisant; à cet effet, le transformateur comportera un entrefer dans son circuit magnétique principal; il conviendra d'ajouter en outre, des résistances appropriées dans l'un des 2 circuits secondaire ou primaire ou bien dans les 2 circuits à la fois du transformateur, pour empêcher la machine de s'exciter elle-même comme génératrice série et de produire, par auto-excitation un couple pulsatoire parasite de faible fréquence nuisible au freinage. La locomotive d'essai monophasée des Chemins de fer du Midi comportait ce système de freinage.

Dans le système de freinage par récupération Oerlikon les connexions sont réalisées comme l'indique le schéma de la figure 516; l'induit et les enroulements auxiliaires et de compensation sont

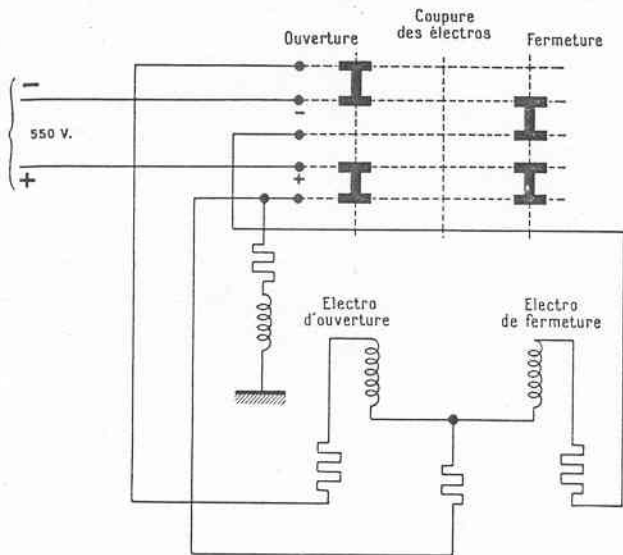


Fig. 513. — Tramways de Rouen. Manœuvre des portes.

génératrice spéciale ou bien en alimentant les inducteurs directement par le transformateur principal.

Différents systèmes ont été réalisés, la figure 514 représente le schéma des connexions pour le freinage rhéostatique, système Oerlikon; l'excitation

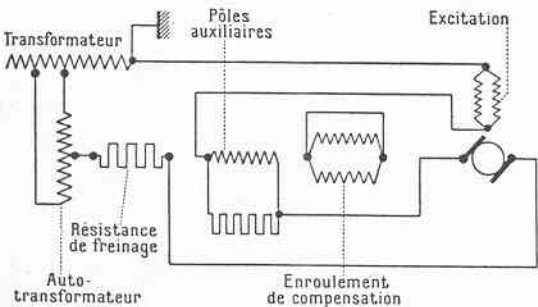


Fig. 514

tation n'est pas prise directement sur le transformateur principal, mais par l'intermédiaire d'un auto-transformateur auxiliaire, à l'aide duquel on règle le freinage.

**Freinage par mise en court-circuit des moteurs.** — Ce freinage, qui doit fonctionner d'une façon sûre en cas de freinage d'urgence, ne peut être employé avec les moteurs à collecteurs monophasés. Nous avons vu en effet que ces moteurs ne s'auto-excitent pas et que l'on est obligé de les exciter, soit à l'aide d'une génératrice spéciale, soit par le transformateur principal. Or, il peut arriver qu'il y ait manque de courant pour une cause quelconque et le freinage par mise en court-circuit des moteurs devient inopérant.

**Freinage par récupération.** — Les phénomènes qui se produisent lors du freinage par

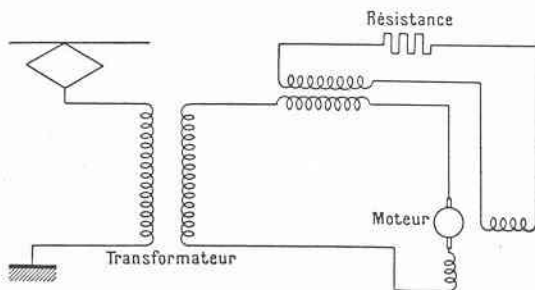


Fig. 515

reliés en série avec une bobine de réactance, à 2 prises réglables du transformateur; en outre, l'inducteur est relié à l'une de ces prises et à une troisième prise également ré-

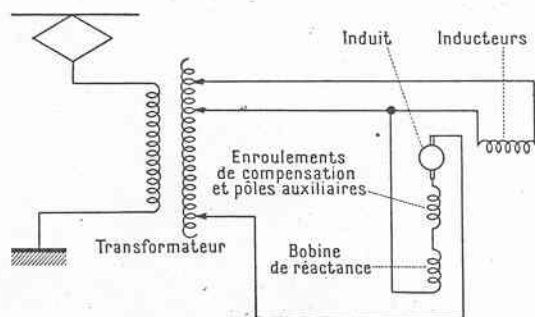


Fig. 516

glable. Ce système a été appliqué sur les locomotives 1-B B-1 et 1-C C-1 des Chemins de fer Fédéraux.

**130. COURANTS TRIPHASES. — Freinage par inversion de marche.** — Ce mode de freinage se réalise comme en courant continu et en courant monophasé en inversant une phase; ce procédé est brutal et n'est employé qu'en cas d'urgence.

**Freinage sur résistance et freinage par récupération.** — Nous avons vu à propos des moteurs triphasés, que lorsque la vitesse du moteur dépassait la vitesse de synchronisme, il fonctionnait en généra-

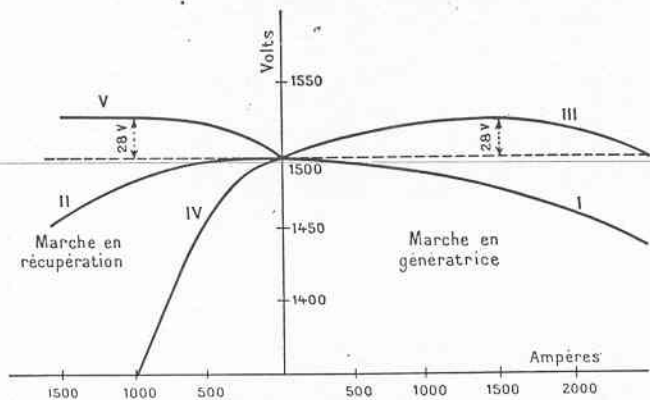


Fig. 517

Caractéristiques d'un groupe de deux commutatrices en série

- I. Machine shunt; marche directe.
- II. Machine shunt; marche inverse.
- III. Machine compound; marche directe.
- IV. Machine compound; marche inverse.
- V. Machine compound; marche inverse avec enroulements différentiels.

trice asynchrone; le courant actif change alors de signe et est absorbé dans des résistances ou bien est renvoyé sur la ligne; par contre, le courant réactif conserve toujours le même sens et est toujours emprunté à la ligne; ceci montre que le moteur doit être constamment relié à la ligne, sans quoi, ne recevant plus de courant dévatié, il se désexcite et se décroche.

Il n'y a donc pas lieu, avec les moteurs triphasés, de réaliser des montages spéciaux; dès que le moteur tourne à une vitesse supérieure à la vitesse de synchronisme, il freine automatiquement.

**131. RECUPERATION DANS LES SOUS-STATIONS.** — Dans la traction par courants alternatifs, le courant de freinage des trains est, soit utilisé par d'autres trains, soit renvoyé dans les sous-stations, pour venir soulager la centrale.

Dans la traction par courant continu, on se contente souvent d'utiliser le courant récupéré sur un autre train; si l'on veut envoyer ce courant vers la centrale, on est obligé d'avoir recours à des dispositifs spéciaux.

Nous avons vu dans la traction par courant continu, que le courant alternatif alimentant les sous-stations, était transformé en courant continu, soit par des groupes convertisseurs rotatifs, soit par des commutatrices dont la caractéristique en marche directe est shunt ou compound ou même hyper-compound.

La figure 517 donne les caractéristiques d'une machine compound pour la marche directe et la marche inverse; l'on voit par

ces courbes; que les machines shunt et compound ne se prêtent pas directement à la récupération. La Société Alsthom a imaginé un dispositif permettant d'utiliser ces machines pour la récupération; il suffit pour cela que la caractéristique inverse ne soit pas tombante et se rapproche de la forme de la courbe V de la figure 517.

**Machines compound.** — Le dispositif Alsthom (fig. 518) consiste à ajouter un enroulement anti-compound série supplémentaire C bobiné en sens inverse des enroulements principaux, les enroulements série principaux sont alors constitués du nombre de spires nécessaires A et de spires supplémentaires B bobinées dans le même sens que A, ces spires étant en nombre égal aux spires C.

Dans la marche directe, les spires A, B et C sont utilisées et le flux inverse produit par l'enroulement C est annulé par l'enroulement B; seules les spires A sont actives.

Dans la marche en récupération, les spires A et B sont court-circuitées et seules les spires C agissent. Pratiquement, il est impossible de court-circuiter parfaitement les spires A et B, celles-ci étant très peu résistantes, la résistance de contact du court-circuit ayant une certaine valeur, qui n'est pas nulle. Pour obvier à cet inconvénient, on met un nombre de spires anti-compound C légèrement supérieur à celui qui est nécessaire.

Le court-circuitage des spires A et B est effectué par un contacteur dit de récupération, dont la bobine est alimentée par l'action d'un relais à retour de courant qui ferme ses contacts quand le courant s'inverse dans la ligne, c'est-à-dire au moment où il faut récupérer.

Le relais à retour de courant comporte deux contacts et deux réglages, l'un règle la valeur de l'intensité en retour pour laquelle le relais doit fonctionner, l'autre règle la valeur de l'in-

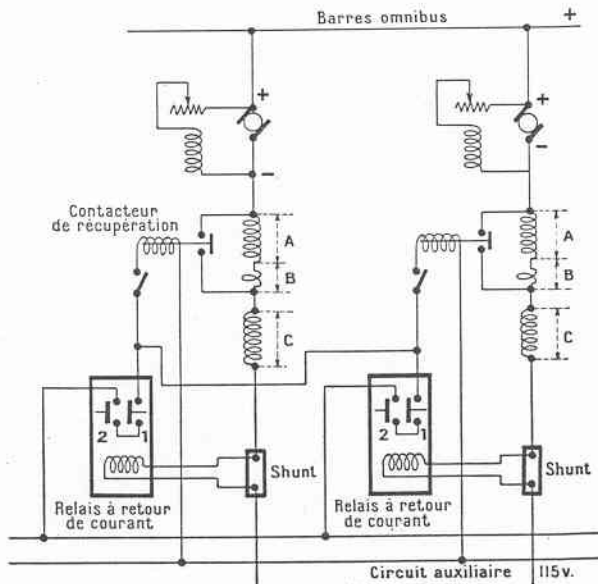


Fig. 518 — Equipement pour marche en récupération cas des machines compound.

## Systèmes spéciaux de traction électrique

### A. — Traction par accumulateurs

tenité plus voisine de 0 que la précédente, pour laquelle le relais doit revenir au repos et rendre à toutes les machines leurs caractéristiques directes.

Dès que la valeur du courant en retour pour laquelle les machines doivent marcher en récupération est atteinte, le contact 1 (fig. 518) du relais à retour se ferme, le contact 2 restant normalement fermé; le contacteur de récupération se ferme alors et court-circuite les bobines A et B. Lorsque la valeur du courant de retour est descendue et est devenue égale à la valeur du réglage du contact 2 celui-ci s'ouvre, coupant l'alimentation du contacteur et se referme quand le contact 1 est ouvert.

Il est indispensable que tous les groupes de la sous-station se mettent ensemble sur la marche en récupération; dans les premiers équipements, on utilisait un seul contacteur multipolaire (1 pôle par machine) commandé par un seul relais à retour de courant. Pour qu'il n'y ait pas de courants de circulation dans les machines mises en parallèle, il était indispensable de donner la même résistance aux connexions reliant le contacteur aux machines, ce qui entraînait à des quantités de cuivre importantes; en outre, pour que le relais à retour de courant fonctionne pour une charge proportionnelle au nombre de groupes en service, il fallait prévoir sur ce relais des bobinages avec résistances additionnelles variant avec le nombre de groupes en service, ce qui compliquait l'installation. Dans les dernières installations on a monté un relais et un contacteur par groupe, les bobines des contacteurs étant alimentées en parallèle sur un circuit fermé ou ouvert par l'un quelconque des relais à retour de courant; il suffit donc du fonctionnement de l'un quelconque de ceux-ci pour que toutes les machines de la sous-station se mettent sur récupération.

Ce dispositif a été appliqué sur 8 sous-stations (18 groupes) de la ligne de Culoz à Modane de la Compagnie des Chemins de fer du P.L.M., sur 2 sous-stations (4 groupes) de la ligne de Pau à Canfranc de la Compagnie des Chemins de fer du Midi et sur 3 sous-stations (6 groupes) de la ligne de Pau à Barcelone de la même Compagnie; les Chemins de fer du Nord de l'Espagne ont appliqué également ce système sur les lignes de Barcelone à Maurésa et Barcelone à San Juan de las Abadesas dans 7 sous-stations (12 groupes) et sur la ligne d'Irun à Alsasua dans 5 sous-stations (10 groupes).

**Machines shunt.** — Si les groupes convertisseurs comportent des génératrices shunt au lieu de machines compound, le même système peut être adopté en utilisant simplement l'enroulement anti-compound B et un enroulement identique en sens inverse A comme l'indique la figure 519.

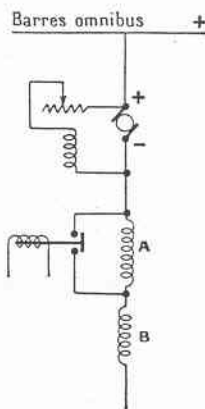


Fig. 519

Equipement pour  
marche en récupération:  
cas des machines  
shunt.

**132. HISTORIQUE.** — Dès 1881, la Compagnie des Omnibus de Paris expérimenta un tramway à accumulateurs et en 1887 (Tramways bruxellois), on essaya d'utiliser des batteries d'accumulateurs, installées sur des véhicules, comme source d'énergie pour alimenter les moteurs de traction calés sur les essieux; ces essais répétés à maintes reprises, sur des lignes différentes, ont été presque toujours abandonnés par suite du poids considérable des voitures comparé à celui des véhicules électriques ordinaires, par suite de l'épuisement rapide des batteries et de l'usage de celles-ci sous l'action des fortes surcharges et enfin, par suite des dégagements, désagréables pour les voyageurs, des vapeurs acides de ces batteries.

En dehors des essais malheureux, faits en 1881 par la Compagnie des Omnibus et en 1887 par la Société des Tramways bruxellois sur la ligne Parc Léopold, Uccles, nous citerons brièvement les différentes tentatives faites depuis, et plus particulièrement celles faites au cours de ces dernières années qui ont apporté une solution pratique au problème de la traction à accumulateurs.

En 1900, les Chemins de fer Belges utilisent, à titre d'essai, 5 voitures automotrices électriques à accumulateurs destinées au service des trains tramways sans bagages et, la même année, les Chemins de fer Italiens expérimentent la traction électrique par accumulateurs sur les lignes Milan, Monza, puis Bologna, Poggio, Rusco, San Felice; après de courts essais, le service est suspendu sur ces lignes.

La même année, la Compagnie des Chemins de fer du Nord Français utilise ce système de traction et dans différents pays quelques installations sont réalisées. L'insuccès fut inévitable par suite du mauvais calcul des batteries, de leur mauvaise disposition, des défauts d'isolement et la traction électrique par accumulateurs fut abandonnée. Ce n'est que plus tard que des essais, effectués en Saxe, donnèrent de bons résultats.

Les essais repris à Berlin, ayant été satisfaisants, la traction à accumulateurs fut adoptée sur les lignes Berlin, Charlottenbourg et Hauptbahnhof, Galluswarde, Francfort et sur le Chemin de fer local de Ludwigshafen à Darmstadt. Ce nouveau système de traction s'étendit sur la ligne de l'Etat wurtembergeois de Stuttgart à Plochingen et sur les lignes de Ludwigshafen à Neustadt, Ludwigshafen à Worms et Schifferstadt, Speyer, Germersheim, Landau, Annweiler.

En France, après les essais malheureux de 1900, la traction à accumulateurs avait été abandonnée, mais, depuis quelques années, ces essais ont été repris et certains lignes sont en exploitation régulière aux Chemins de fer du Sud-Ouest et aux Chemins de fer des Charentes (Angoulême à Barbezieux, Barbezieux à Chalais, Blanzac à Villebois, Barbezieux à Cognac, Angoulême à Roumazières).

En Italie, des automotrices à accumulateurs assurent un service régulier sur certaines lignes de tramways et de chemins de fer d'intérêt local.

Si les premières tentatives furent peu satisfaisantes, il ne faut pas condamner, pour cela,



la traction à accumulateurs, mais incriminer plutôt l'application qui n'était pas bien choisie et la mauvaise étude du matériel et des batteries. Les essais ultérieurs donnèrent des résultats beaucoup plus intéressants et c'est surtout au cours de ces dernières années que la traction par véhicules à accumulateurs sur route a trouvé des applications nombreuses et a remplacé avantageusement, dans certains cas, la traction par moteurs thermiques.

L'utilisation des tracteurs et des véhicules électriques à accumulateurs s'est développée d'une façon considérable dans certains pays, notamment aux Etats-Unis, qui sont cependant les premiers producteurs de pétrole du monde entier.

Il semble paradoxal que le développement de ce système de traction ne se soit pas développé plus rapidement dans les pays, comme la France, où l'on doit importer à grands frais l'essence consommée, pays qui sont, par contre, souvent bien placés pour produire l'énergie électrique.

Le véhicule électrique à accumulateurs offre de grands avantages sur le véhicule thermique : conduite beaucoup plus simple et plus grande souplesse de marche, entretien moins onéreux, fonctionnement silencieux, marche sans dégagement de gaz, exploitation plus économique par suite de la consommation nulle à l'arrêt et du bas prix de l'énergie électrique comparé à l'essence, surtout si l'on recharge les batteries aux heures de nuit pendant lesquelles certains producteurs d'énergie consentent à des réductions importantes sur le prix de l'énergie électrique.

Par contre, le rayon d'action des véhicules à accumulateurs est limité, ceux-ci ne pouvant pas emmagasiner l'énergie en quelques instants, comme le véhicule thermique.

Ces considérations montrent que le véhicule à accumulateur ne s'applique pas à tous les usages ; il ne convient qu'aux parcours limités, aux vitesses modérées et aux transports nécessitant des arrêts fréquents ; le véhicule à accumulateurs est donc tout indiqué pour les services urbains et suburbains, transports des marchandises à l'intérieur d'une usine ou navettes entre une usine et une gare ou un port, etc.

**133. ACCUMULATEURS ELECTRIQUES DE TRACTION ET POSTES DE CHARGE.** — L'accumulateur idéal de traction serait celui qui réunirait ensemble les quatre qualités suivantes : capacité maximum, durée maximum, poids minimum, volume minimum ; malgré les nombreuses recherches et les innombrables essais effectués, les accumulateurs modernes les plus perfectionnés n'ont pas encore atteint cet idéal, mais sont malgré tout d'un fonctionnement suffisamment sûr. On emploie, soit des accumulateurs au plomb, soit des accumulateurs au fer-nickel. Nous n'entrerons pas dans le détail de fonctionnement des accumulateurs et nous ne comparerons les deux types d'accumulateurs, au plomb ou au fer-nickel, que dans leur application à la traction électrique.

Nous avons résumé ci-dessous les avantages de chaque type d'accumulateur :

*Accumulateur au fer-nickel :*

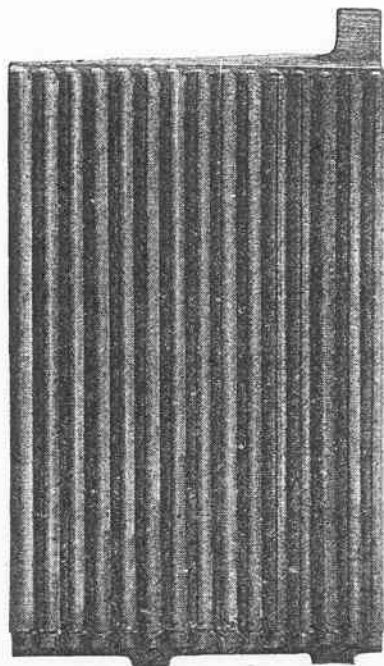
- puissance massique supérieure ;
- entretien moindre et moins coûteux ;
- peu sensible aux à-coups dus aux fautes d'exploitation ;

- grande robustesse assurant une longue durée, généralement supérieure à la garantie normale de 6 ans (environ double de celle qui couvre les batteries au plomb les plus robustes) ;
- valeur de reprise plus élevée pour une batterie usagée.

*Accumulateur au plomb :*

- prix d'achat environ moitié à puissance égale ;
- moindre variation de tension pendant la décharge (environ 15 % au lieu de 30 % entre le début et la fin d'une décharge en 5 h) ;
- résistance intérieure plus faible assurant une baisse de tension 3 à 4 fois plus faible quand on passe d'un régime de décharge en 5 h à un régime de décharge rapide ;
- rendement en énergie plus élevé (75 % au lieu de 50 %).

Nous voyons d'après ce tableau, que la batterie au fer-nickel dure deux fois plus longtemps mais coûte deux fois plus cher que la batterie au plomb ; son entretien est moins dispendieux, mais la tension baissant sensiblement avec la charge, pour une vitesse déterminée, il faudra une intensité de courant plus forte avec une batterie au fer-nickel ; le rendement des moteurs sera plus faible, la consommation kilométrique du véhicule augmentera et le parcours possible entre deux recharges successives diminuera. Ces considérations montrent que la batterie au fer-nickel convient moins bien que la batterie



(Tudor)

Fig. 520 — Plaque positive Tudor-Ironclad.

au plomb à un service de transport en commun où la vitesse doit être maintenue sensiblement constante et aussi élevée que possible.

L'inconvénient principal des batteries au plomb provient du fait de la fragilité des plaques positives ; les constructeurs de batteries ont

cherché à remédier à cet inconvénient et différentes solutions ont été adoptées : à Lyon les batteries, du type Tudor-Hensemberger, sont à oxydes rapportés dans des armatures de plomb antimoniées avec doubles séparateurs en ébomite perforée et en bois spongieux ; les accubus de Vienne (Isère) comportent des batteries du type Tudor-Ironclad avec plaques positives formées par un assemblage de petits cylindres d'ébonite, percés de fentes contenant la matière active que traverse, en son centre, une « âme » conductrice en alliage de plomb. La figure 520 représente une plaque positive « Ironclad ».

**Postes de charge.** — La charge des accumulateurs de traction se fait, soit à intensité constante, soit à potentiel constant sans résistance, soit enfin à potentiel constant avec résistances.

1° *Charge à intensité constante.* — Dans ce système de charge, l'on maintient l'intensité du courant de charge constante et égale à la valeur indiquée par le constructeur jusqu'à ce que le dégagement gazeux des éléments commence ; à ce moment on réduit l'intensité jusqu'à ce que l'opération soit terminée.

Le réglage de l'intensité est obtenu, soit par variation de la tension des génératrices, soit par le réglage d'un réducteur qui se compose d'une résistance réglable à grand nombre de plots branchée en série sur la batterie.

Cette méthode de charge nécessite une surveillance continue et ne peut être automatique.

2° *Charge à potentiel constant sans résistance.* — Dans cette méthode, la batterie à charger est branchée sur une source dont la tension est égale au nombre d'éléments multiplié par 2,3 V. Au début, l'intensité est considérable, mais baisse assez rapidement pour se terminer par l'intensité de fin de charge.

Cette méthode est entièrement automatique, mais présente quelques inconvénients. Au début, l'intensité considérable dépasse la valeur maximum prescrite par les constructeurs et fatigue la batterie ; de plus, cette intensité nécessite une génératrice puissante ; en outre, de faibles variations de tension entraînent de grosses variations d'intensité et il est impossible de charger plusieurs batteries en parallèle, si elles ne sont pas au même point de décharge.

3° *Charge à potentiel constant avec résistance.* — Dans cette méthode, la tension d'alimentation reste constante comme dans la méthode précédente, mais la batterie est branchée sur la source avec une résistance fixe en série. Au début de la charge, l'intensité est bien moins élevée que dans la méthode précédente et décroît au fur et à mesure que la force électromotrice des éléments augmente. Dans ce système, les variations de tension de la ligne d'alimentation n'entraînent pas de grandes variations du courant de charge ; en outre, il est possible de recharger plusieurs batteries en parallèle sur la même ligne en réglant convenablement la valeur de chaque résistance fixe suivant la capacité des éléments.

Cette dernière méthode est employée dans la plupart des postes de charge automatiques.

Les postes de charge peuvent être à commande non automatique et exigent par suite la présence d'un personnel spécialisé pour la surveillance de la charge ; le plus généralement, la charge se fait d'une façon absolument automatique ; dans ce cas, il suffit pour recharger une batterie de tracteur, par exemple, de mettre en place la

fiche de prise de courant sur le tracteur, d'appuyer sur un bouton de commande pour que le groupe se mette en route automatiquement et que la batterie se charge ; lorsque celle-ci est complètement chargée, automatiquement le groupe s'isole de la batterie et le moteur s'arrête. Ces manœuvres de mise en route très simples, peuvent être confiées à n'importe qui, au conducteur du tracteur lui-même, par exemple, qui aura la consigne de remettre en charge ses batteries le soir, avant de quitter son travail.

Le poste est réglé une fois pour toutes, pour donner le régime de charge recommandé par le constructeur de la batterie d'accumulateurs. En cas d'arrêt du courant d'alimentation, un conjoncteur-disjoncteur arrête instantanément le poste de charge et celui-ci se remet en route automatiquement, dès le rétablissement du courant ; de cette façon toute fausse manœuvre est rendue impossible.

Nous n'étudierons que les postes de charge automatiques qui sont le plus généralement employés pour la charge des batteries de traction.

L'énergie est généralement reçue sous forme de courant alternatif mono ou polyphasé et le poste de charge devra comporter :

- 1° un organe de transformation du courant ;
- 2° un dispositif de charge automatique.

1° *Organe de transformation de courant.* — Les dispositifs employés comportent, soit des machines tournantes, soit des redresseurs statiques. Dans le premier cas, le dispositif de transformation de courant comprend généralement un moteur, alimenté par le secteur, entraînant une génératrice à courant continu à excitation shunt ; quelquefois, on utilise une commutatrice qui a un meilleur rendement que le groupe moteur-génératrice, mais la difficulté de régler la tension en cours de fonctionnement a fait réserver la commutatrice aux postes de grandes puissances où la charge se fait généralement à intensité constante et n'est pas automatique.

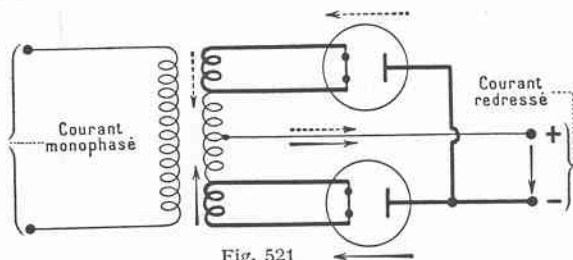


Fig. 521

Les redresseurs statiques présentent des avantages sur les machines tournantes du fait qu'ils ne comportent pas de pièces mobiles sujettes à usure et ont un rendement meilleur ; les redresseurs statiques employés peuvent être divisés en deux types : les redresseurs à vapeur de mercure pour des courants de 5 à 300 A et au-dessus et une tension continue supérieure à 100 V et les redresseurs à cathode incandescente et à atmosphère gazeuse pour des courants de 0,1 à 50 A et une tension continue inférieure à 100 V.

Nous n'étudierons pas le principe de fonctionnement du redresseur à vapeur de mercure, qui a été décrit dans le tome I (N° 217).

Les redresseurs à cathode incandescente fonctionnent à la manière des valves thermoioniques ; ces redresseurs se composent d'une

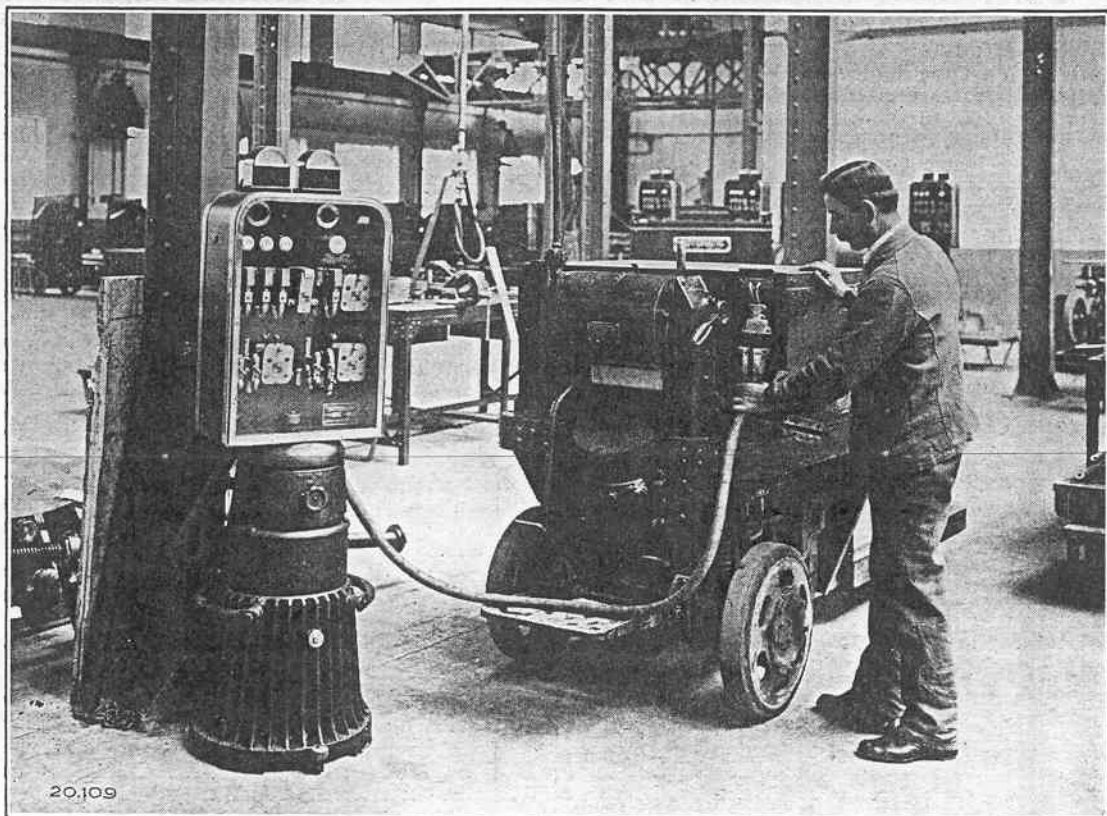


Fig. 522 — Poste de charge automatique pour un chariot.

(Automatic)

ampoule comportant une cathode constituée par un filament de tungstène porté à l'incandescence et d'une anode en graphite. Si on applique une tension alternative entre les deux électrodes, le courant ne passera que lorsque le filament porté à l'incandescence sera négatif

par rapport à l'anode; c'est le principe de fonctionnement des redresseurs du type « Tungar ». On peut, à l'aide de 2 valves montées suivant le schéma représenté par la figure 521, redresser les 2 alternances d'un courant alternatif monophasé; ce dispositif exige un trans-

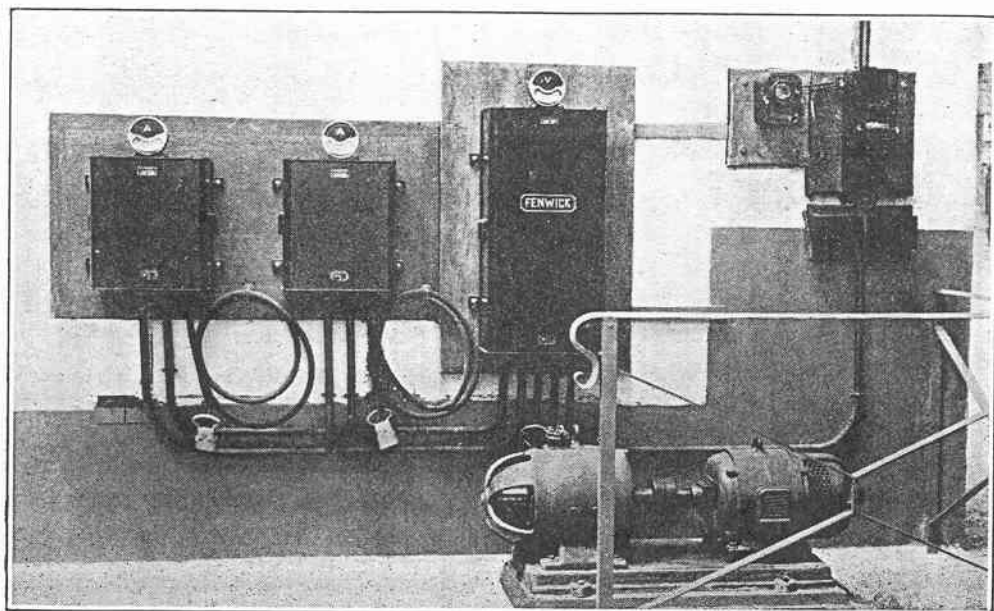
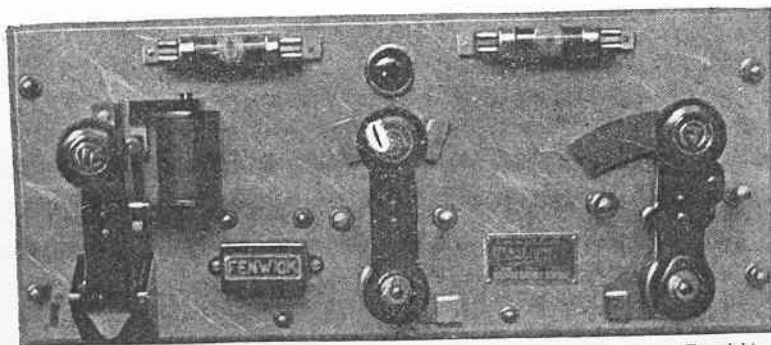


Fig. 523 — Poste de charge pour deux chariots.

(Fenwick)



(Fenwick)

Fig. 524 — Tableau de charge élémentaire.

formateur avec secondaire comportant deux prises pour le chauffage des valves et une prise médiane.

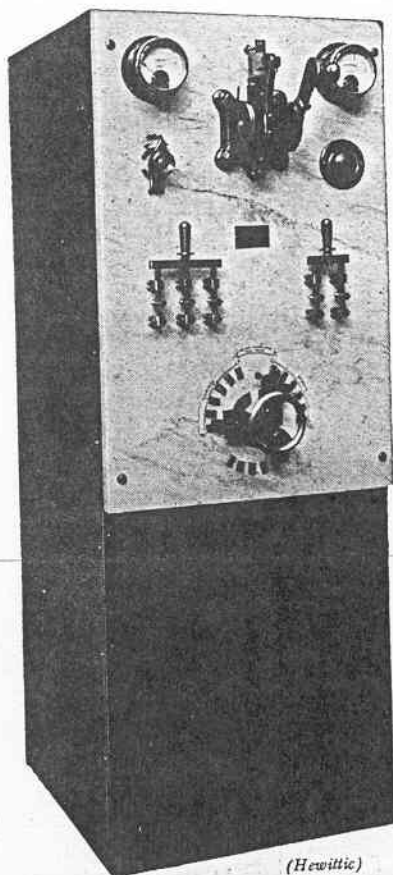
La figure 522 représente un poste de charge automatique de petite puissance comprenant des contacteurs et relais de protection montés sous coffret étanche et un groupe de charge vertical. Les appareils de mesure, ampèremètres et voltmètre, sont situés à la partie supérieure du coffret. La figure 523 montre un poste permettant la recharge simultanée de 2 chariots.

Pour les installations plus importantes, on utilise des tableaux de charge élémentaires (fig. 524) constitués par une plaque de marbre sur laquelle sont montés les appareils nécessaires pour la charge

d'une batterie; ces tableaux élémentaires sont montés les uns au-dessus des autres pour former un ensemble permettant de recharger un grand nombre de batteries.

La figure 525 représente un poste de charge automatique à redresseur à vapeur de mercure et la figure 526 représente l'intérieur du même appareil.

2° Dispositif de charge automatique. — Le dispositif qui permet d'arrêter automatiquement le poste de recharge, lorsque la batterie est complètement chargée, se compose d'un compteur ampèreheuremètre branché en série sur le circuit de la batterie; ce compteur enregistre la quantité d'électricité débitée par la batterie, lors de son utilisation, et quand la batterie est remise en charge, le compteur tournant alors en sens inverse revient à sa position initiale au bout d'un temps plus ou moins long, suivant que la décharge a été poussée plus ou moins loin. Lorsque le compteur est revenu à sa



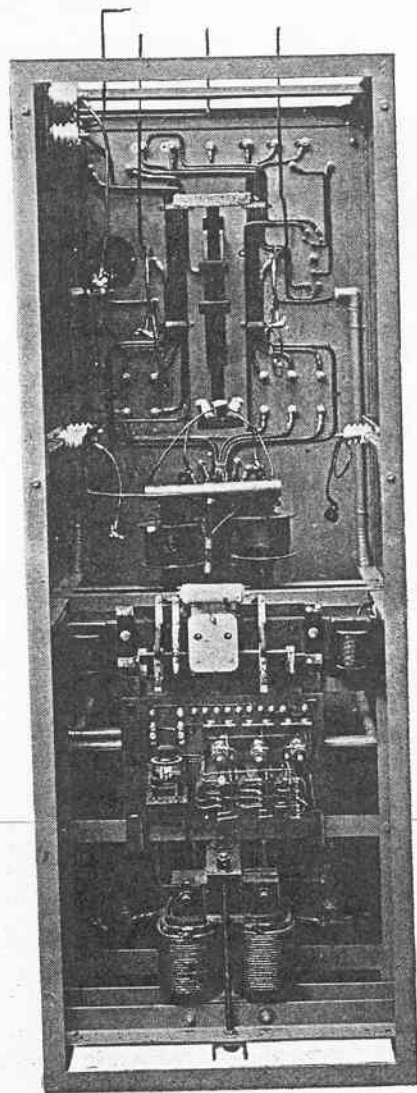
(Hewittic)

Fig. 525 — Poste de charge automatique avec redresseur à vapeur de mercure.

position initiale, par l'intermédiaire d'un contact auxiliaire, il coupe le circuit de commande des contacteurs de mise en marche du groupe de charge qui s'arrête.

Pratiquement, la quantité d'électricité, nécessaire pour recharger une batterie d'accumulateurs est supérieure à la quantité d'électricité fournie pendant la décharge; le rapport de ces deux quantités d'électricité est le rendement de la batterie. Ainsi, si le rendement est 0,85, il faudra fournir 100 Ah à la batterie pour la remettre en même état de charge après une décharge de 85 Ah.

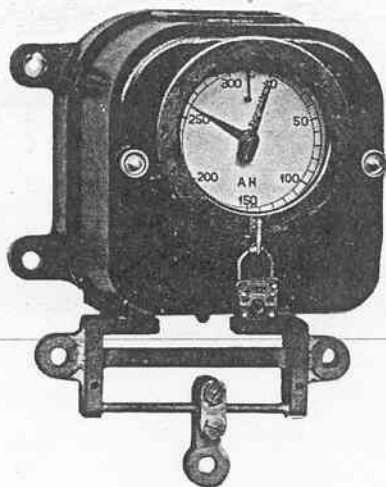
Dans le dispositif de charge automatique utilisant un compteur ampèreheuremètre, il



(Hewittic)

Fig. 526 — Poste de charge automatique avec redresseur à vapeur de mercure (vue intérieure).

faut donc que le compteur qui a tourné d'un certain angle  $\alpha$  pendant la décharge des 85 Ah, tourne en sens inverse du même angle



(Cie des Compteurs)  
Fig. 527 — Compteur Hg E

$\alpha$  pendant la charge des 100 Ah; cette condition est obtenue en freinant par un dispositif approprié, le disque du compteur lorsqu'il tourne dans le sens de la charge; nous verrons dans la description des compteurs de charge comment ce dispositif a été réalisé.

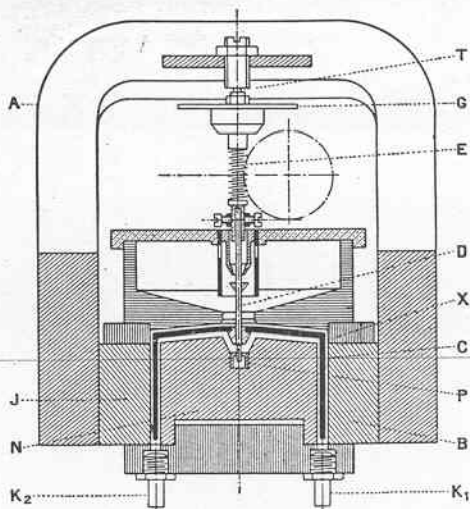
**Compteur Hg. E. (Cie des Compteurs).** — Cet appareil, représenté par la figure 527, est constitué par une cloche en cuivre C (fig. 528), immergée dans du mercure et traversée par le courant; cette cloche située dans l'entrefer d'un aimant permanent est soumise aux actions simultanées de deux couples: un couple moteur produit par l'action du flux de l'aimant sur le courant et proportionnel à l'intensité du courant et au flux, et un couple résistant de freinage électromagnétique proportionnel à la 2<sup>e</sup> puissance du flux magnétique et à la vitesse angulaire de la cloche; on démontre que, sous l'action de ces couples, la cloche prend une vitesse proportionnelle à l'intensité.

La cloche C tourne à l'intérieur d'une chambre annulaire X remplie de mercure; un axe D est fixé sur la cloche C et possède à sa partie supérieure une vis sans fin E qui commande l'horlogerie. Un contrepoids G de grand diamètre donne à l'ensemble un poids suffisant pour que la poussée verticale du mercure soit de l'ordre de quelques grammes.

Le circuit électrique est constitué (fig. 529) par la prise de courant K<sub>1</sub>, la cloche, la prise de courant K<sub>2</sub> et le shunt de réglage S, sur lequel se déplace le curseur Q.

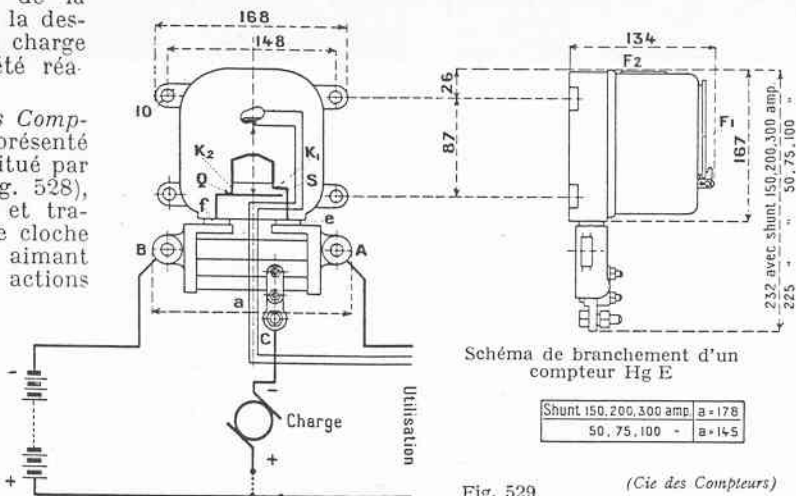
Remarquons sur la figure 528 que l'axe D comporte, au-dessus de la cloche C, un déflecteur ayant pour but d'empêcher la projection du

mercure à l'extérieur de la cuve à mercure; l'arbre tourne, à cet effet, à l'intérieur de 2 douilles cylindriques, la douille intérieure



(Cie des Compteurs)  
Fig. 528 — Compteur Hg E — Coupe

enveloppant l'arbre et se terminant par une partie conique, laissant juste le jeu nécessaire au bon fonctionnement de l'appareil, mais em-



(Cie des Compteurs)  
Fig. 529

pêchant le mercure de s'échapper par capillarité. La douille extérieure sert à recueillir toutes les gouttelettes de mercure qui sont projetées en tous sens pendant la marche du véhicule.

Pour tenir compte du rendement de la batterie, le compteur est branché aux bornes d'un shunt spécial dit *shunt à rendement* comme le représente la figure 529; le courant de charge ne traverse qu'une partie du shunt, tandis que le courant de décharge traverse tout le shunt; en mettant le curseur C dans une position telle

que  $\frac{\text{Résistance BC}}{\text{Résistance AB}}$  soit égal au rendement en ampère-heures de la batterie, il est facile de voir que la quantité d'électricité fournie pendant la charge sera supérieure à celle débitée et que le rapport de ces 2 quantités d'électricité correspondra au rendement de la batterie.

L'horlogerie est munie d'une ampoule à mercure qui, entraînée par l'axe portant l'aiguille, bascule à fin de charge et peut fermer ou ouvrir un contact commandant le circuit d'un relais provoquant l'arrêt du groupe de charge.

**Compteur Sangamo (Fenwick).** — Cet appareil se compose d'un disque rigide en cuivre, monté sur un arbre en acier traité et tournant dans un bain de mercure (fig. 530); l'arbre est muni au-dessus

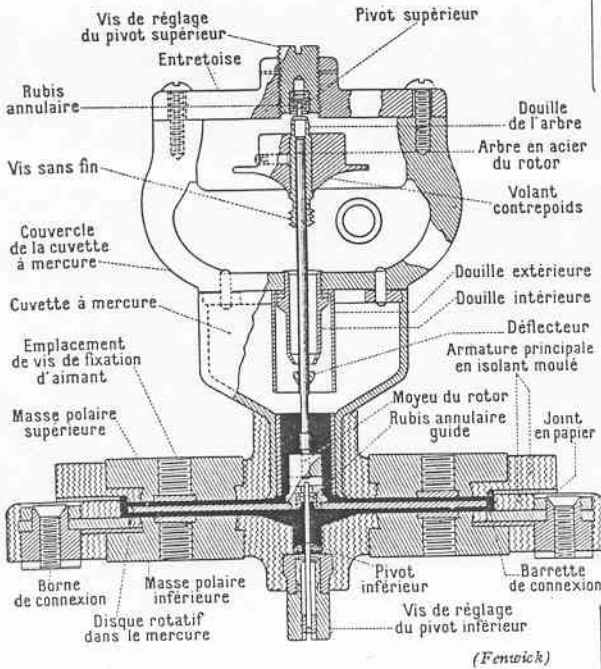


Fig. 530 — Compteur Sangamo — Coupe.

du disque d'un déflecteur ayant le même but que celui décrit dans le compteur Hg. E. Le courant total de la batterie traverse un shunt aux bornes duquel sont connectées les

masses polaires d'un aimant fixe; le disque est soumis à 2 couples et tourne à une vitesse proportionnelle à l'intensité du courant, comme nous l'avons vu à propos du compteur Hg. E.

Une vis sans fin calée sur l'arbre du disque transmet le mouvement de rotation de celui-ci à une aiguille se déplaçant sur un cadran gradué en ampère-heures. Lorsque l'aiguille se trouve au 0 du cadran, un contact auxiliaire se ferme et envoie du courant dans le circuit de déclenchement du poste de charge, provoquant ainsi l'ouverture des appareils de charge (fig. 531).

Au lieu d'un contact à fermeture, provoquant une émission de courant à la fin de la charge, le compteur peut être monté avec un contact à ouverture provoquant, au contraire, une coupure de courant sur le circuit de commande du poste de charge.

Nous avons vu que, lorsque la batterie du véhicule se déchargeait, l'aiguille du compteur tournait dans le sens des aiguilles d'une montre; lorsque cette aiguille atteint le repère rouge du cadran, il est nécessaire de recharger la batterie; la batterie se rechargeant, l'aiguille du cadran tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, mais, pour tenir compte du rendement de la batterie, une résis-

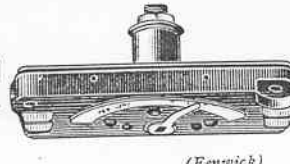


Fig. 532 — Compteur Sangamo — Résistance.

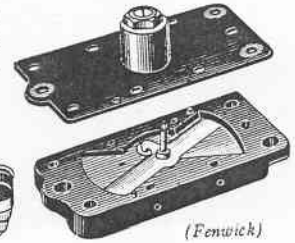


Fig. 533 — Compteur Sangamo — Résistance ouverte montrant la vanne et la chambre à mercure.

tance spéciale se trouve interposée dans le circuit et provoque le ralentissement de la vitesse du disque. Cette résistance, représentée par les figures 532 et 533, se compose d'une petite chambre à mercure auxiliaire

qui se trouve placée dans les lignes de fuite des aimants permanents du compteur; elle contient une vanne de cuivre pivotante. Cette chambre à mercure est connectée en série avec le circuit du compteur, de façon que la vanne ait tendance à pivoter dans le même sens et d'après le même principe que le disque principal. Le déplacement angulaire de la vanne est limité à un angle maximum de 45°, au moyen d'un ergot placé dans une vis à excentrique.

Pendant la décharge, la vanne en cuivre vient se placer sur un contact relié directement à l'armature de la chambre à mercure principale; de cette manière le courant traverse un circuit de très faible résistance et le compteur tourne à sa vitesse normale.

Pendant la charge, la vanne en cuivre tourne en sens inverse et tend à s'éloigner du contact

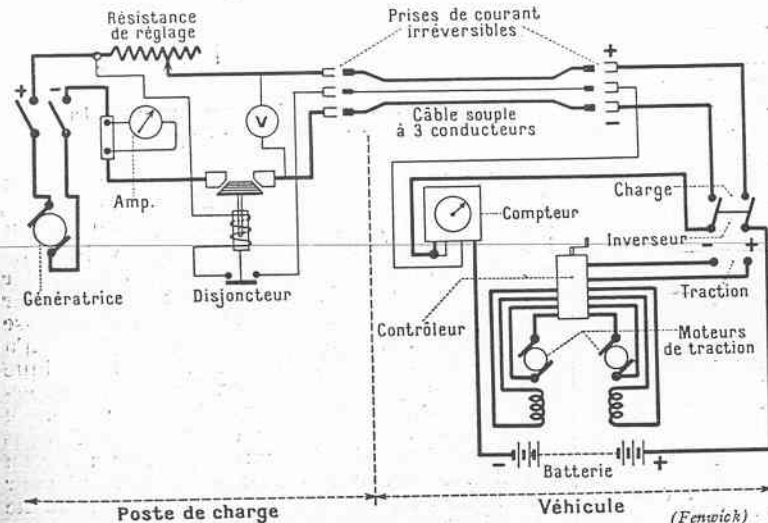


Fig. 531 — Schéma de branchement d'un compteur Sangamo.

barrettes de droite et de gauche de la chambre à mercure; un courant dérivé traverse le bain de mercure et le disque en cuivre entre les

précédent, obligeant le courant à traverser la vanne en cuivre et le mercure et introduisant ainsi une résistance dans le circuit; le compteur tourne alors plus lentement.



(Tudor)

Fig. 534 — Interrupteur Pöhler.

Il est possible de régler la valeur de la surcharge donnée à la batterie entre 0 et 33 % à l'aide d'un index pouvant se mouvoir sur une échelle graduée et agissant sur le déplacement angulaire de la vanne.

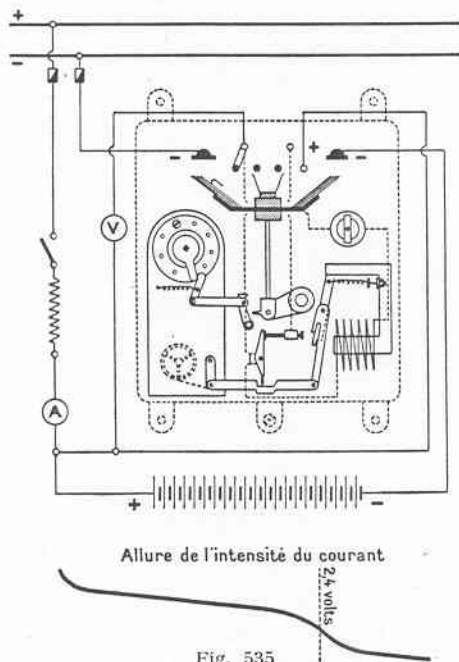


Fig. 535

Schéma de montage de l'interrupteur Pöhler avec résistance dans le circuit de charge.

**Interrupteur Pöhler (Tudor).** — Cet appareil ne peut être utilisé qu'avec les accumulateurs au plomb; il est basé sur le principe suivant: la quantité d'électricité, absorbée pendant une

charge par une batterie donnée, est sensiblement constante quel que soit l'état de la décharge de la batterie, si l'on mesure cette quantité d'électricité depuis le moment où la tension atteint 2,35 à 2,4 V par élément jusqu'au moment de la fin de charge.

La tension de 2,4 V est facile à déceler, car elle correspond au début du dégagement gazeux et à la modification brusque de l'allure de la courbe de charge.

L'interrupteur Pöhler comporte un relais fonctionnant sous la tension de 2,4 V par élément mettant en marche un mouvement d'horlogerie lorsque cette tension est atteinte et actionnant un disjoncteur au bout d'un temps déterminé par l'expérience.

La figure 534 représente un interrupteur Pöhler et les figures 535 et 536 les schémas de montage de l'appareil.

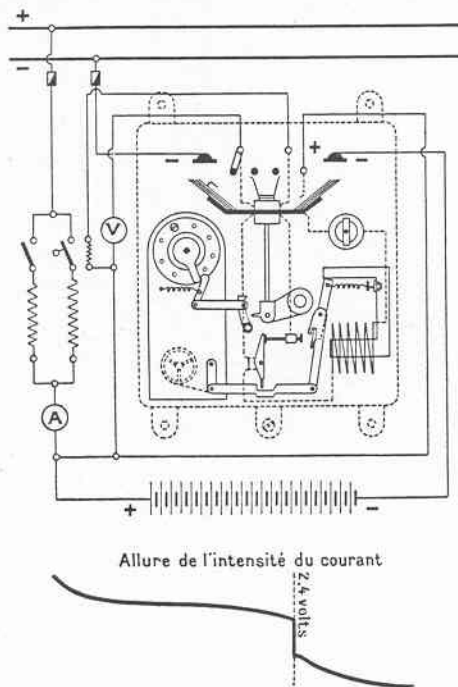


Fig. 536

Schéma de montage de l'interrupteur Pöhler avec 2 résistances en parallèle.

### 134. AUTOMOTRICES ET OMNIBUS A ACCUMULATEURS.

— Les véhicules électriques à accumulateurs sont tout à fait impropres au tourisme, puisque une voiture de 2 000 kg en ordre de route doit transporter le tiers de son poids en batterie pour parcourir sans recharge une distance de 110 km à la vitesse de 60 km/h; le véhicule à accumulateurs n'a donc pas pu supplanter le véhicule thermique dans ce cas; mais dans les véhicules de transports en commun ce système de traction a reçu des applications diverses; comme nous l'avons vu le véhicule à accumulateurs a un rayon d'action limité, mais souvent très suffisant pour un service de transport et il offre sur le véhicule thermique de sérieux avantages: frais de traction moindres en énergie, lubrifiant, pneumatiques, garnitures de frein et frais d'entretien plus faibles.

Par contre, avant de créer une ligne de transport par autobus à accumulateurs il y a lieu de

comparer ce système à tous les autres (autobus à essence, trolleybus, tramway) pour voir s'il y a économie à utiliser ce système de transport. Le choix entre l'un de ces modes de transport dépend des conditions locales et en particulier du prix du courant de nuit comparé au tarif de jour ou de pointe, de la fréquence des passages, du profil de la ligne et de sa longueur.

En dehors de la traction sur route, les accumulateurs ont été utilisés quelquefois pour la traction sur rails et nous citerons les automotrices du réseau de la Charente.

**Automotrices à accumulateurs du réseau de la Charente.** — Ces automotrices comportent 2 bogies à 2 essieux; un seul bogie est moteur et ses 2 essieux sont entraînés chacun par un moteur d'une puissance unihoraire de 54 ch.

Le châssis est réalisé en poutre d'égale résistance, entrecroisée par des tôles et des cornières formant coffre et permettant de loger les accumulateurs.

La batterie est composée de 180 éléments fer-nickel SAFT de 750 Ah.

Les induits des 2 moteurs peuvent être couplés, soit en série, soit en parallèle, sous la tension totale des batteries; un dispositif permettant le freinage par récupération a été prévu; il se compose (fig. 537) d'un survolteur dont l'induit  $A_1$  est en série sur l'inducteur  $C_1$  du moteur de traction; l'ensemble, inducteur

excitations sont égales et opposées; si le courant de traction augmente encore, l'enroulement  $F_1$  devient prépondérant mais la tension aux bornes du survolteur a changé de sens.

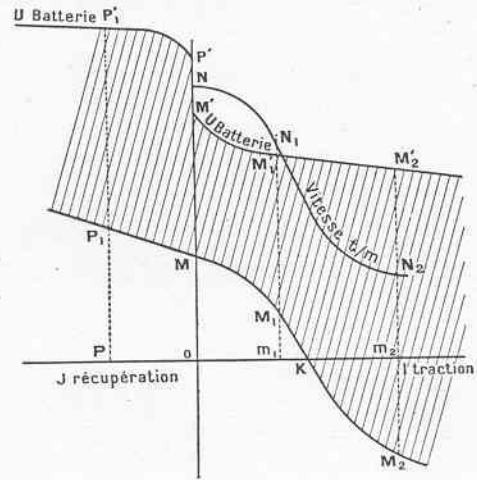


Fig. 538

Automotrices à accumulateurs du réseau de la Charente. Courbes de fonctionnement des moteurs.

Si nous construisons en outre la courbe  $M'M'_2$  donnant la tension de la batterie en fonction du courant de traction, nous voyons que l'excitation du moteur de traction est représentée par les valeurs  $MM'$ , différences des ordonnées des 2 courbes survolteur et batterie; ceci montre que lorsque le courant  $I$  augmente, l'excitation du moteur de traction augmente également comme dans un moteur série.

La caractéristique donnant sa vitesse en tours par minute en fonction du courant  $I$  peut être représentée par la courbe  $NN_1N_2$  et nous voyons que la vitesse, pour un courant  $I$  nul, ne peut pas prendre une valeur exagérée, l'excitation étant encore donnée par une valeur  $MM'$ .

En série avec l'induit  $A_1$ , se trouve une résistance variable  $K_1$ , combinée de telle façon qu'en augmentant la valeur de la résistance  $K_1$  dans le circuit induit  $A_1$  on diminue celle de la résistance intercalée dans le circuit inducteur  $E_1$ ; il en résulte que, si l'on augmente la valeur de la résistance  $K_1$ , la génératrice  $A_1$  est sous-excité et la valeur de la résistance du circuit de l'inducteur  $C_1$  est diminuée; l'excitation minimum du moteur, représentée par  $MM'$ , est donc augmentée et la vitesse réduite.

Si la vitesse augmente au-delà d'une certaine valeur correspondant à la position du combiné, le freinage par récupération se produit automatiquement; la force électromotrice du moteur augmente et le courant finit par changer de sens; le moteur fonctionne en génératrice et recharge la batterie; à ce moment les ampèretours de l'inducteur  $F_1$  s'ajoutent à ceux de

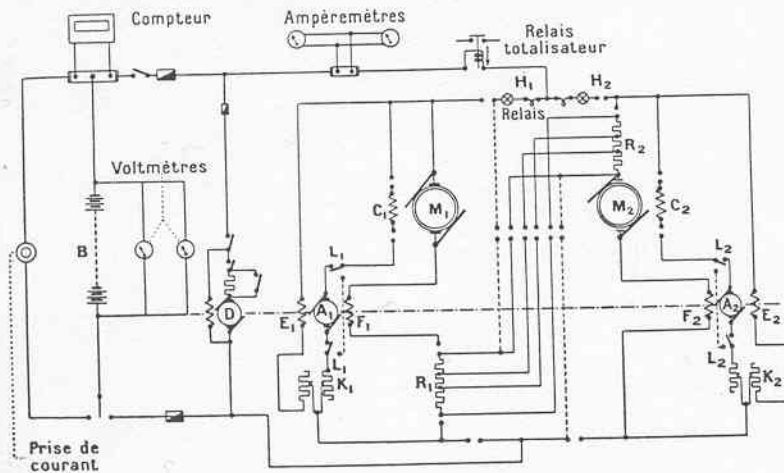


Fig. 537 — Automotrice à accumulateurs du réseau de la Charente — Schéma simplifié.

moteur, induit survolteur, étant mis sous la tension totale de la batterie. Les 2 survolteurs  $A_1$  et  $A_2$  sont montés sur le même arbre et entraînés par un moteur shunt  $D$  à une vitesse constante. Chaque survolteur comporte 2 enroulements, l'un  $F_1$ , parcouru par le courant de traction, l'autre  $E_1$ , alimenté par la batterie; les ampèretours de ces enroulements  $E_1$  et  $F_1$  se retranchent. La figure 538 donne les caractéristiques  $MM_1M_2$  d'un survolteur  $A_1$  en fonction du courant de traction  $I$ .

Lorsque le courant de traction  $I$  est nul, seul l'enroulement  $E_1$  intervient et la tension du survolteur peut être représentée par  $OM$ ; dès que le courant de traction augmente, les ampèretours de l'enroulement  $F_1$  se retranchent de ceux de l'enroulement  $E_1$ , l'excitation diminue et par suite la tension aux bornes du survolteur décroît, pour devenir nulle lorsque les deux



l'inducteur  $E_1$  pour s'opposer au courant d'excitation produit par le moteur, mais la génératrice  $A_1$  est alors saturée et sa force électromotrice augmente très peu; l'excitation reste donc sensiblement constante pendant la récupération.

Le fonctionnement en récupération est représenté par la partie gauche de la figure 538.

Les caractéristiques des automotrices sont les suivantes :

Longueur totale d'une extrémité des tampons à l'autre .....	12,20 m
Largeur totale .....	2,20 m
Hauteur au-dessus des rails.....	3,50 m

Poids total ..... 27,5 t

Poids de la batterie SAFT de 180 éléments 750 Ah..... 8,5 t

Nombre de moteurs..... 2

Puissance unihoraire de chaque moteur 54 ch

Diamètre des roues au roulement... 830 mm

Voie ..... 1 m

Rayon minimum des courbes.... 30 m

Vitesse maximum en palier ..... 43 km/h

Rayon d'action sans recharge, sans remorque . 150 km

Nombre de places offertes ..... 32

Les résultats d'exploitation ont été très satisfaisants, la récupération fonctionne très bien et permet dans certains cas de rentrer avec une batterie dont on a poussé trop loin la décharge.

Les batteries sont chargées la nuit avec un biberonnage d'une heure ou deux dans la journée.

**Cars à accumulateurs (accubus).** — En ce qui concerne la traction par accumulateurs sur route sans rails, un assez grand nombre de lignes de transport ont été mises en exploitation au cours de ces dernières années.

Nous citerons le service de cars de l'exposition Coloniale de 1931, dont l'organisation est due à la Société pour le développement des véhicules électriques; ce système de traction fut également utilisé à l'Exposition des Arts Décoratifs en 1925.

Le nombre total des voitures mises en circulation à l'Exposition Coloniale était :

- 14 cars RENAULT de 7 ch pour 18 voyageurs;
- 28 cars FENWICK de 2 ch pour 17 voyageurs;
- 15 cars S.A.T.M.E. de 3 ch pour 13 voyageurs;
- 3 cars PANTARD de 5 ch pour 23 voyageurs.

Leur poids à vide variait de 2,5 t à 3,75 t.

La figure 539 représente l'équipement d'un châssis Renault.

Les batteries étaient soit au plomb (Dinin, T. E. M., Tudor) soit au fer nickel (SAFT), d'une capacité de 225 à 400 Ah.

La charge des batteries était effectuée pendant la nuit et était réglée pour une durée de 7 heures environ; certaines batteries recevaient en outre 2 biberonnages par jour d'une durée de 2 heures chacun.

Le châssis actuel de l'accubus s'inspire de celui de l'autobus ordinaire, mais avec quelques modifications pour tenir compte du poids de la batterie qui change la répartition des charges; à dimensions égales les profilés constituant le châssis doivent être renforcés par suite du poids

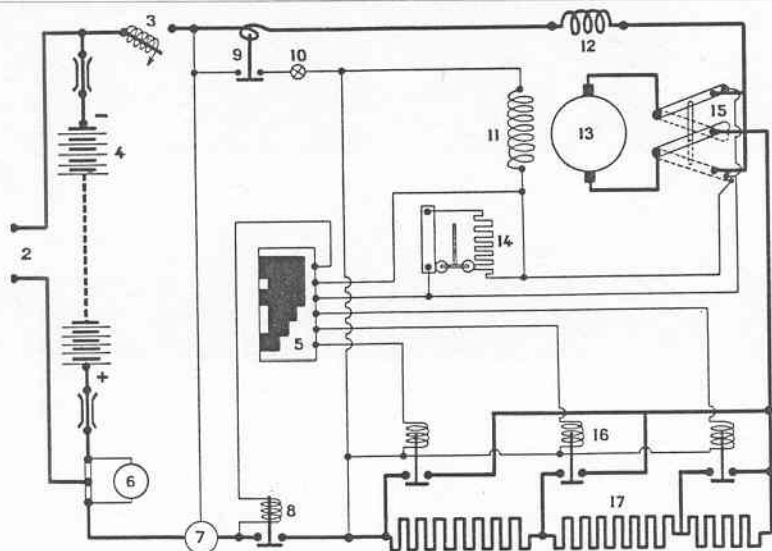


Fig. 539

Schéma d'équipement d'un châssis Renault — S. A. C. M

- |                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| 2 Douille pour la charge   | 10 Lampe témoin             |
| 3 Disjoncteur à maximum    | 11 Excitation shunt         |
| 4 Batterie d'accumulateurs | 12 Excitation série         |
| 5 Coupleur                 | 13 Moteur                   |
| 6 Compteur                 | 14 Rhéostat d'accélération  |
| 7 Ampèremètre-voltmètre    | 15 Inverseur de marche      |
| 8 Contacteur principal     | 16 Contacteurs de démarrage |
| 9 Relais à maximum         | 17 Résistances de démarrage |

mort supplémentaire de la batterie qui pèse plusieurs tonnes.

Le système de direction est conservé et le châssis est relié au roues par ressorts à lames avec jumelles et étriers.

Les accubus sont équipés soit avec 2 moteurs soit avec un seul; l'équipement à 2 moteurs possède l'avantage :

1° De permettre de réaliser toutes les vitesses de marche et de démarrage économiquement (sans résistances) en alimentant les moteurs soit en série, soit en parallèle sur la moitié ou la totalité de la batterie.

2° De simplifier l'entretien; les moteurs étant généralement portés par l'essieu arrière, toute transmission par différentiel, arbre de transmission, boîte de vitesses est supprimée.

Par contre, l'équipement à 2 moteurs a l'inconvénient d'augmenter le poids suspendu. C'est pour ce dernier motif que certains accubus



Fig. 540 — Accubus de la ville de Lyon.

(Vétra)

ne comportent qu'un seul moteur, dont l'effort est transmis par joint à cardan et différentiel à l'essieu arrière.

Les moteurs employés sont du type série ou du type compound; ces derniers permettent de marcher en récupération ce qui augmente sensiblement le rayon d'action du véhicule; il y a lieu de remarquer en outre que les moteurs compound permettent, grâce à de faibles résistances de démarrage, aux 2 ou 3 premiers crans de marche une gamme de vitesse suffisante par réglage du champ shunt; l'emploi du moteur compound permet donc avec un seul moteur de marcher d'une façon économique, ce qui n'était réalisable comme nous l'avons vu plus haut qu'avec 2 moteurs série.

**Les accubus Vétra type CO.** — Ces accubus sont prévus pour recevoir une carrosserie de 40 places avec entrées soit à l'avant soit à l'arrière. Leur vitesse moyenne est de 20 km/h pouvant atteindre 30 km/h sur bonne route, en palier et leur rayon d'action sans recharge de 50 à 100 km suivant la capacité de la batterie.

Le châssis est porté par 2 essieux, l'essieu avant, directeur, et l'essieu arrière, moteur.

Le moteur unique, placé au milieu du châssis est à excitation compound et à large variation de vitesse par le champ; sa puissance unihoraire est d'environ 34 ch; l'effort moteur est transmis aux roues par l'intermédiaire d'un arbre avec joints de cardan et d'un pont arrière à double réduction et différentiel.

Le contrôle du moteur se fait à l'aide de 2 pédales à commande au pied, la pédale gauche dite de démarrage

commandant l'élimination des résistances, du circuit principal, celle de droite dite d'accélération commandant l'introduction de résistances dans le circuit d'excitation.

La manœuvre s'effectue d'une façon analogue à celle d'une voiture à essence: pour démarrer, on agit avec le pied gauche (élimination des résistances), pour accélérer avec le pied droit (réduction du flux inducteur). Si on laisse se relever la pédale de droite sans relever celle de gauche, le moteur reste alimenté et le flux inducteur est renforcé; il se produit alors le freinage par récupération.

Le moteur et l'équipement sont protégés contre les surcharges accidentelles par un relais agissant sur un contacteur qui se réenclenche automatiquement lorsque la pédale de démarrage est relevée.

Les pédales agissent sur des contacteurs placés sur un panneau très accessible.

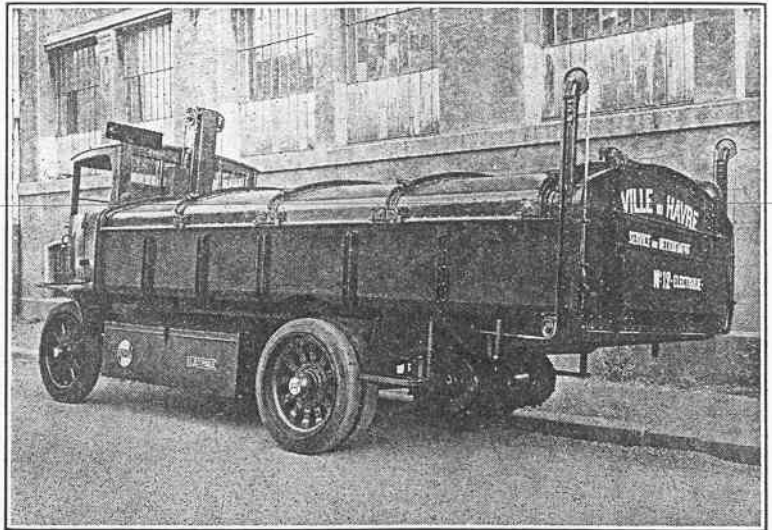


Fig. 541 — Camion à accumulateurs de 5 t à 2 moteurs et benne basculante pour enlèvement des ordures ménagères.

(Sovel)

La figure 540 représente un accubus en service dans la Ville de Lyon.

**135. CAMIONS ET PETITS VEHICULES A ACCUMULATEURS.** —

En ce qui concerne le transport des marchandises, le véhicule à accumulateurs a reçu de nombreuses applications; les services de voirie, de livraison dans les grandes villes, les navettes entre les gares et les entrepôts, etc., utilisent les camions électriques à accumulateurs. En outre, des véhicules plus petits sont utilisés dans de nombreuses industries pour le transport des matières premières, des produits finis et du charbon pour les besoins de l'usine. Dans les gares et dans les ports en particulier, l'emploi des tracteurs à accumulateurs a permis de réduire considérablement le personnel chargé du transport des bagages et des marchandises.

Enfin, les mines utilisent de plus en plus ce système de traction qui offre des avantages appréciables sur les autres systèmes.

Nous ne reviendrons pas sur les nombreux avantages que procurent les véhicules à accumulateurs sur les autres mais nous rappellerons qu'ils ne conviennent qu'aux transports à arrêts fréquents, à vitesse et à parcours limités; c'est pourquoi le camion à accumulateurs a remplacé dans de nombreuses villes le camion à essence pour les transports et livraisons ur-

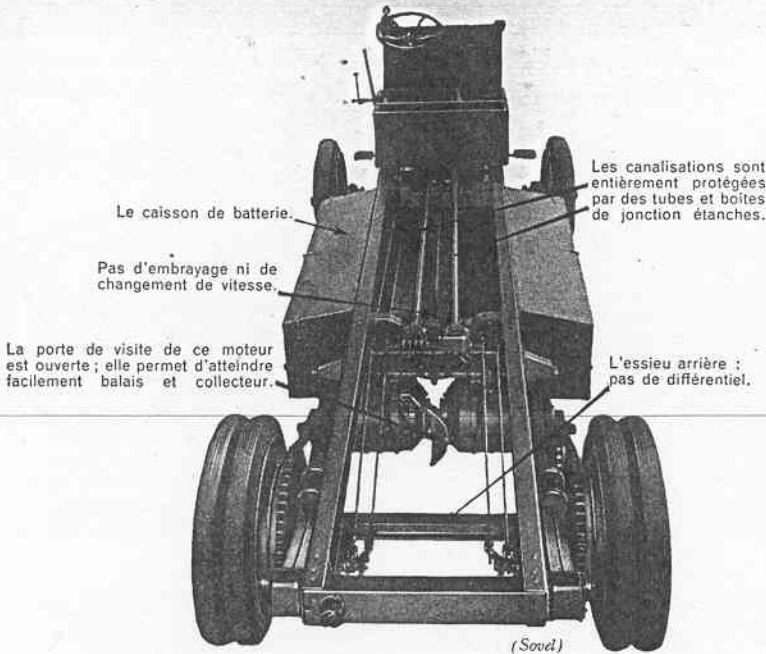


Fig. 542 — Châssis de camion à accumulateurs de 3,5 t.

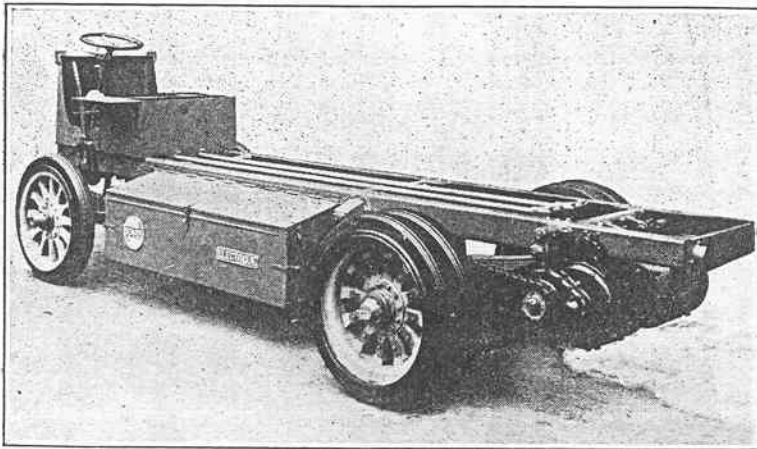


Fig. 543 — Châssis de camion à accumulateurs de 5 t.

L'éclairage extérieur et intérieur, les avertisseurs et tous les accessoires sont alimentés par la batterie.

En dehors du frein électrique par récupération, la voiture comporte un frein au pied agissant sur les quatre roues par l'intermédiaire d'un servo-frein et un frein à main agissant sur les roues arrière.

Le frein au pied sert spécialement pour les arrêts, le frein à main sert à l'immobilisation de la voiture et le frein électrique sert aux ralentissements ou pour limiter la vitesse dans les descentes.

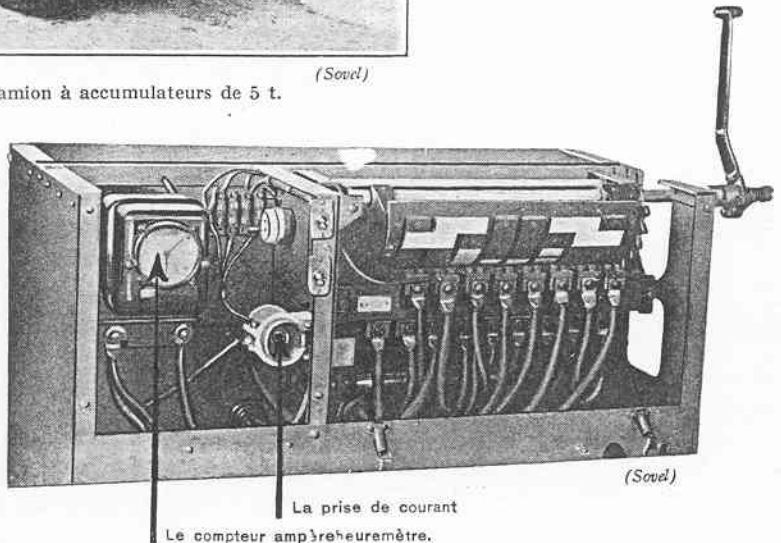


Fig. 544  
Contrôleur de camion à accumulateur.

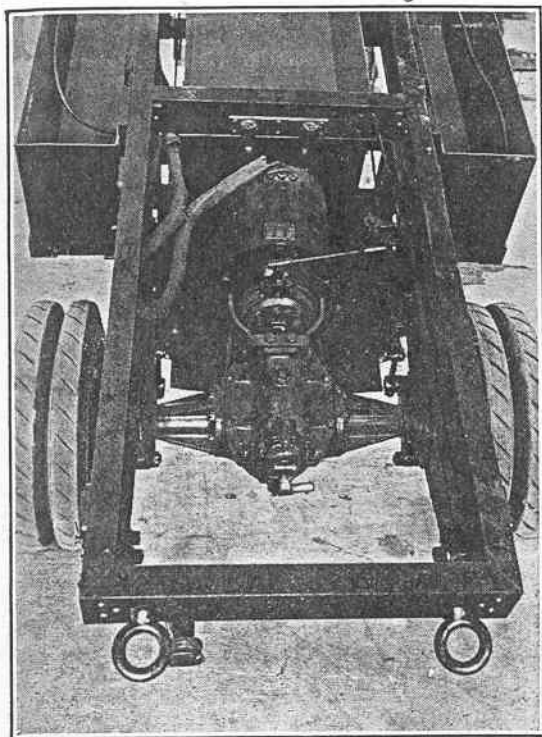


Fig. 545 — Essieu moteur de camionnette de 1500 kg.

bains, les navettes sur distances assez courtes, les services de voirie (enlèvement des ordures ménagères, etc.) mais il ne peut pas lutter contre les camions à essence, à huile lourde ou à gazogène dans les transports interurbains à grande vitesse et à grande distance.

Les camions à accumulateurs construits par la Société Sovel ne comportent pas de différentiel et chaque roue arrière est entraînée par un moteur blindé à l'aide d'une chaîne (fig. 541, 542 et 543).

Le contrôle se fait par un tambour isolant garni de touches en cuivre donnant 5 vitesses en marche avant et grâce à un inverseur, 5 vitesses en marche arrière (fig. 544).

La charge utile est de 3,5 t pour le camion type DC (fig. 542) et de 5 t pour le type EC (fig. 543). La figure 545 représente l'essieu moteur d'une camionnette d'un modèle plus petit de 1500 kg de charge utile construite par la Compagnie des chariots et tracteurs automatiques.

En dehors des transports par camions électriques, la traction par accumulateurs a trouvé un vaste domaine d'application dans les petits véhicules du fait de la maniabilité, de la propreté et des économies importantes qu'ils permettent de réaliser sur les frais de manutention.

Nous diviserons ces véhicules en 5 classes :

- 1° Chariots tracteurs;
- 2° Chariots porteurs;
- 3° Chariots élévateurs à faible hauteur de levée;
- 4° Chariots élévateurs à grande hauteur de levée;
- 5° Chariots avec grue.

Tous ces types courants peuvent d'ailleurs être adaptés au service particulier qu'ils ont à assurer, par l'adjonction de bennes, tambours, pinces, treuils, etc.

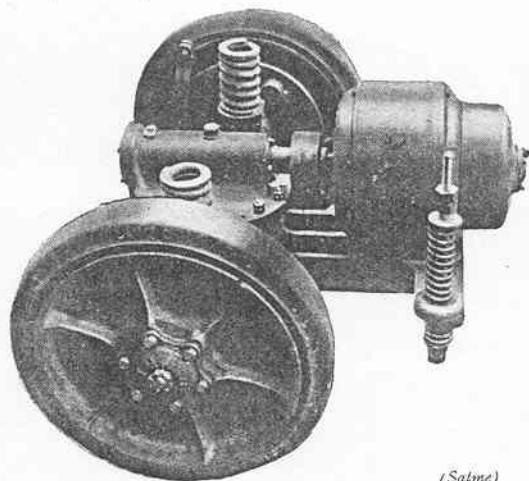
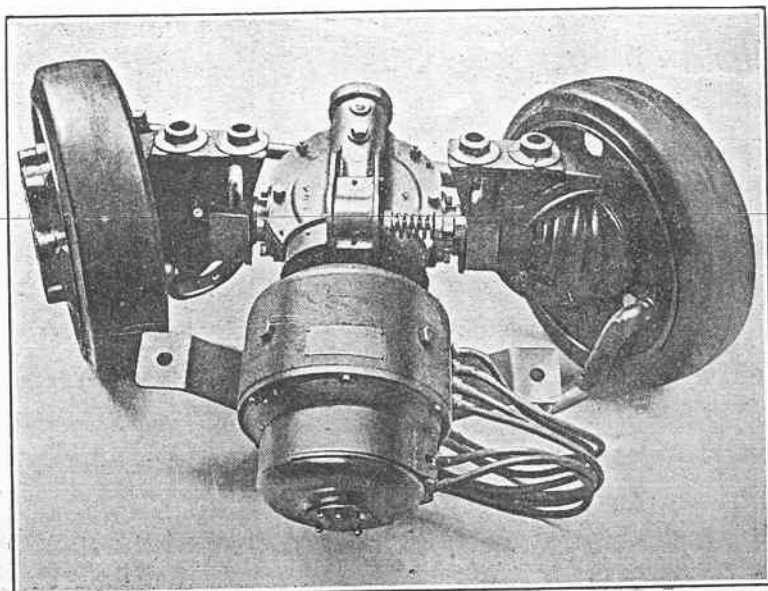


Fig. 546

Transmission par roue et vis sans fin avec roues motrices non orientables.

Par contre, ces différents types de chariots ont des organes semblables, notamment en ce qui concerne la partie moteur.

Ce dernier est quelquefois situé dans l'axe du véhicule et entraîne l'essieu à l'aide d'une vis sans fin en acier, attaquant une roue dentée en bronze et transmettant le mouvement aux roues par l'intermédiaire d'un différentiel. Un système de transmission de ce genre est représenté par les figures 546 et 547. La vis, la couronne et le

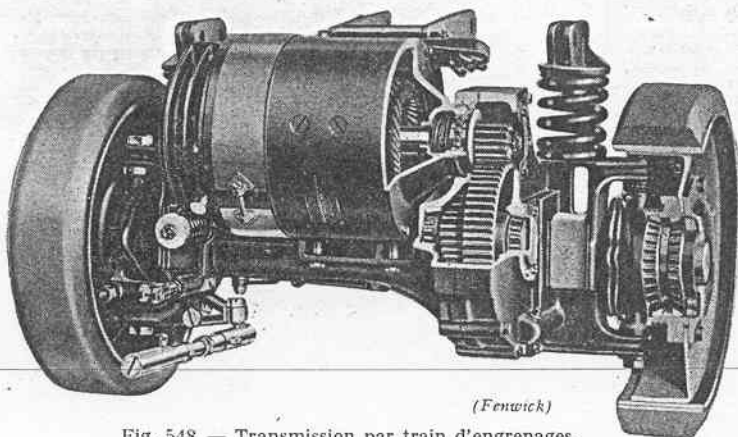


(Salme)

Fig. 547 — Transmission par roue et vis sans fin avec roues motrices orientables.

différentiel sont logés dans un carter étanche et baignent dans l'huile; l'ensemble du carter

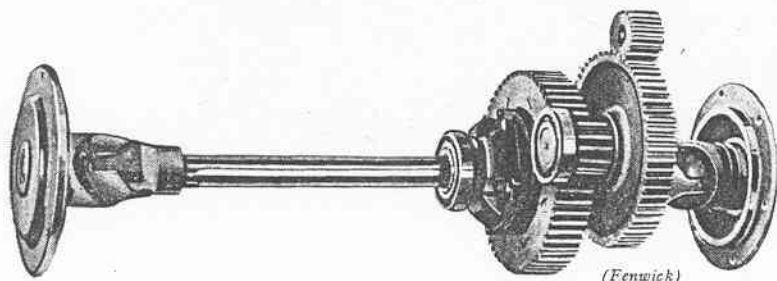
Certains constructeurs ont préféré transmettre l'effort moteur par l'intermédiaire d'un train d'engrenages et d'un différentiel; les figures 548 et 549 représentent un système de ce genre; les organes du pont moteur sont enfermés dans un carter étanche formé de deux pièces en fonte malléable. Dans le pont moteur représenté sur la figure 548, les roues motrices sont orientables; elles sont à cet effet montées avec joint à rotule; cette disposition permet de rendre les 4 roues orientables et l'on peut ainsi faire tourner le chariot dans des courbes de rayon très faible.



(Fenwick)  
Fig. 548 — Transmission par train d'engrenages.

et du moteur est fixé au châssis par l'intermédiaire d'une suspension élastique: l'essieu

L'avant du véhicule comporte généralement une plateforme destinée à recevoir le conducteur; cette plateforme est munie des appareils de manœuvre du chariot. Une pédale dont l'action consiste à desserrer les freins, empêche la mise en marche du véhicule si le conducteur n'est pas en place; cette pédale de frein actionne quelquefois le démarreur qui élimine du circuit moteur une résistance permettant le démarrage progressif; en maintenant la pédale à mi-course on obtient une vitesse réduite.



(Fenwick)  
Fig. 549 — Détails de la transmission par train d'engrenages droits.

moteur est en outre muni d'un frein puissant dont les segments agissent à l'intérieur d'un tambour.

Le contrôleur, placé également à la portée du conducteur, sert à modifier le couplage des inducteurs et de l'induit du moteur pour obtenir les deux sens de marche; en outre



(Fenwick)  
Fig. 550 — Tracteur.

un levier sert à la direction du chariot. Certains constructeurs n'ont pas utilisé la pédale de frein pour manœuvrer le démarreur et c'est le contrôleur lui-même qui, dans ce cas, sert au démarrage.

**Chariots tracteurs.** — Les chariots tracteurs servent, soit à tirer des wagons à l'intérieur d'une usine, soit à entraîner une ou plusieurs remorques. Les chariots tracteurs sont à 3 ou 4 roues et peuvent

La figure 550 représente un tracteur à 3 roues dont une directrice.

Les remorques généralement employées sont du type à « tournant correct »; attelées en nombre

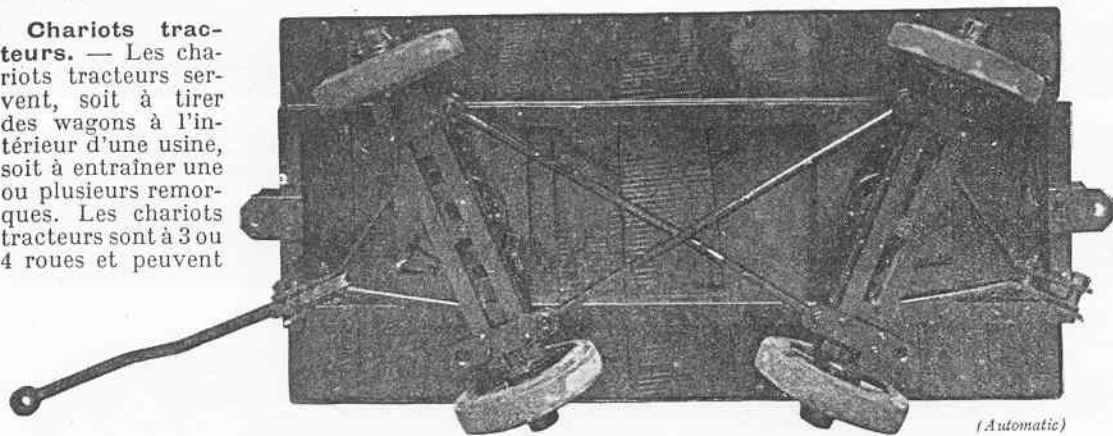


Fig. 551 — Remorque à « tournant correct ».

remorquer, sur bon sol en palier, des charges de 2 à 20 t; la vitesse de déplacement varie de 4 à 12 km/h.

Les tracteurs, utilisés pour le remorquage des wagons, peuvent tirer de 10 à 120 t en palier et alignement droit; dans ces appareils on recherche surtout à avoir un effort élevé au démarrage plutôt qu'une grande vitesse de déplacement.

quelconque à la suite du tracteur, elle suivent exactement le même chemin que celui-ci grâce à un assemblage de biellettes d'accouplement des roues avant et arrières; la figure 551 montre comment est réalisé ce système d'accouplement.

La figure 552 montre un tracteur à accumulateurs sur rails qui n'est autre chose qu'une locomotive semblable à celles que nous étudie-

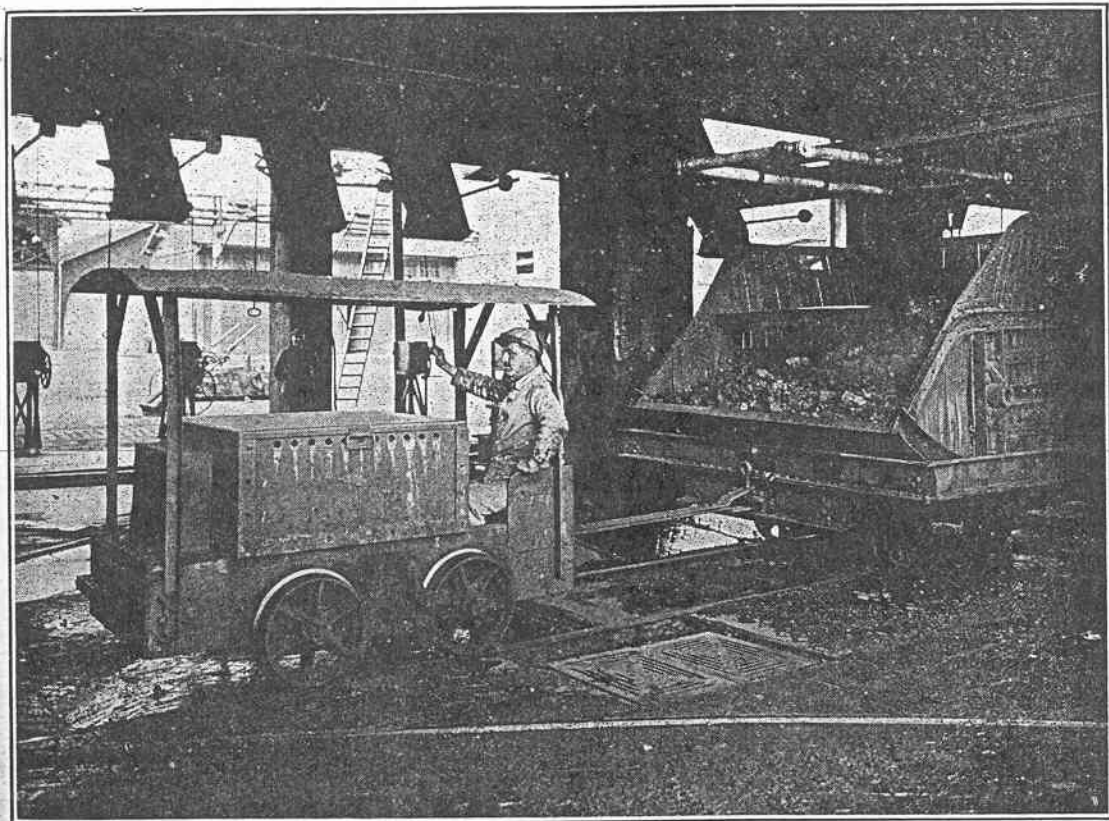


Fig. 552 — Locomotive à accumulateurs.

(Automatic)

rons à propos de la traction dans les mines (N° 137).

**Chariots porteurs.** — Ces chariots permettent de transporter d'un point à un autre une charge

chargement qui s'effectue sur la plateforme amovible; la capacité de transport d'un tel appareil est donc beaucoup plus grande que celle d'un porteur ordinaire.

Les chariots élévateurs à faible hauteur de levée sont presque toujours à 4 roues directrices pour leur permettre de tourner dans des espaces restreints et dans des ateliers encombrés.

Le système de levage comporte généralement un moteur spécial avec dispositifs de démarrage, freinage, fin de course électrique et un système mécanique limitant les positions extrêmes.

Les chariots élévateurs à faible hauteur de levée se construisent pour les mêmes valeurs de charges et vitesses que celles des chariots porteurs ordinaires. La figure 554 représente un chariot de cette catégorie.

**Chariots élévateurs à grande hauteur de levée.** —

Ces chariots permettent de prendre la charge en un point déterminé à une certaine hauteur, de la transporter et de la déposer en un autre point à

une hauteur différente.

La hauteur de levée est variable suivant type de chariot et elle atteint, pour certains, 3 m. L'élévation de la plateforme est commandée par un système auxiliaire ayant un moteur indépendant agissant sur cette plateforme par l'in-

qui a été au préalable déposée sur la plateforme du véhicule; c'est généralement sous cette plateforme que se trouve disposée la caisse contenant les accumulateurs; la plateforme peut être haute ou surbaissée, comporter soit des ridelles fixes ou amovibles, soit des supports pour barres ou tubes, soit des casiers divers ou encore une benne basculant latéralement ou en arrière, suivant le trafic et la nature des produits à transporter.

La charge utile des chariots porteurs peut varier de 500 kg à 2 t et leur vitesse peut atteindre 3 à 15 km/h. Ils peuvent être munis d'un crochet d'attelage permettant l'adjonction de quelques remorques.

La figure 553 représente un chariot de cette catégorie.

**Chariots élévateurs à faible hauteur de levée.** — Ces véhicules n'ont pas pour objet d'élever la charge, mais seulement de soulever légèrement celle-ci du sol pour la transporter à l'emplacement voulu et la reposer au sol. A cet effet, la charge est placée, au préalable, sur une plateforme basse amovible munie de pieds entre lesquels vient s'insérer le chariot; un mouvement de levage

de faible amplitude (10 cm environ) permet de décoller les pieds du sol et d'assurer le transport et le déchargement à l'arrivée. Ce système a l'avantage de n'utiliser le tracteur que pendant la durée du transport et de ne pas l'immobiliser pendant tout le temps du

termédiaire de câbles, chaînes ou vis sans fin.

Ces chariots se construisent pour des valeurs de charge et de vitesses semblables à celles des chariots porteurs.

La figure 555 montre comment on peut utiliser un chariot élévateur spécial

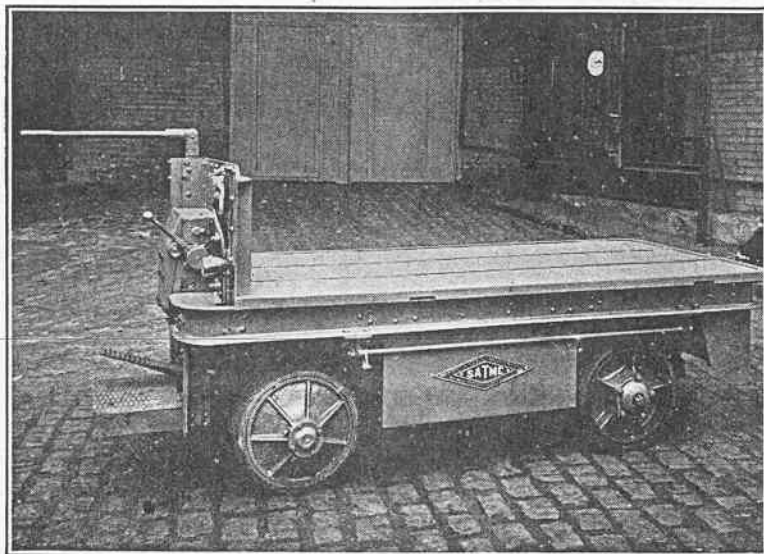


Fig. 553 — Chariot porteur

(Salme)

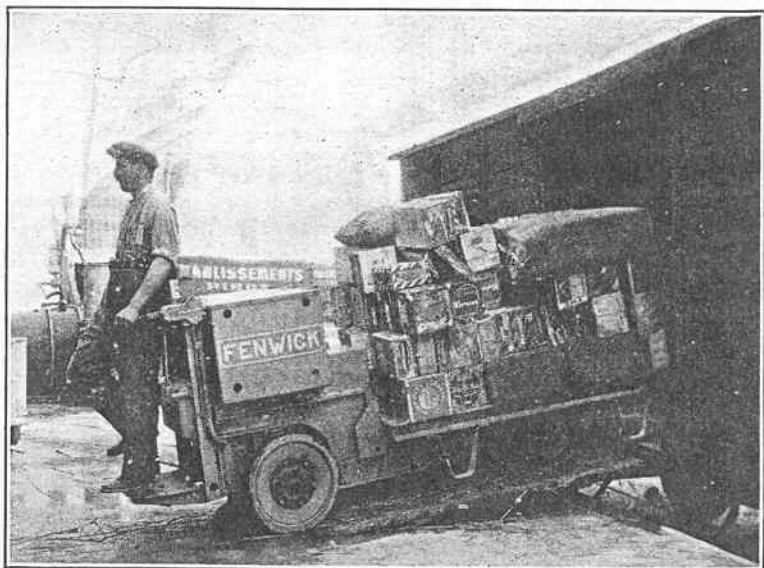


Fig. 554 — Chariot élévateur à faible hauteur de levée.

(Fenwick)

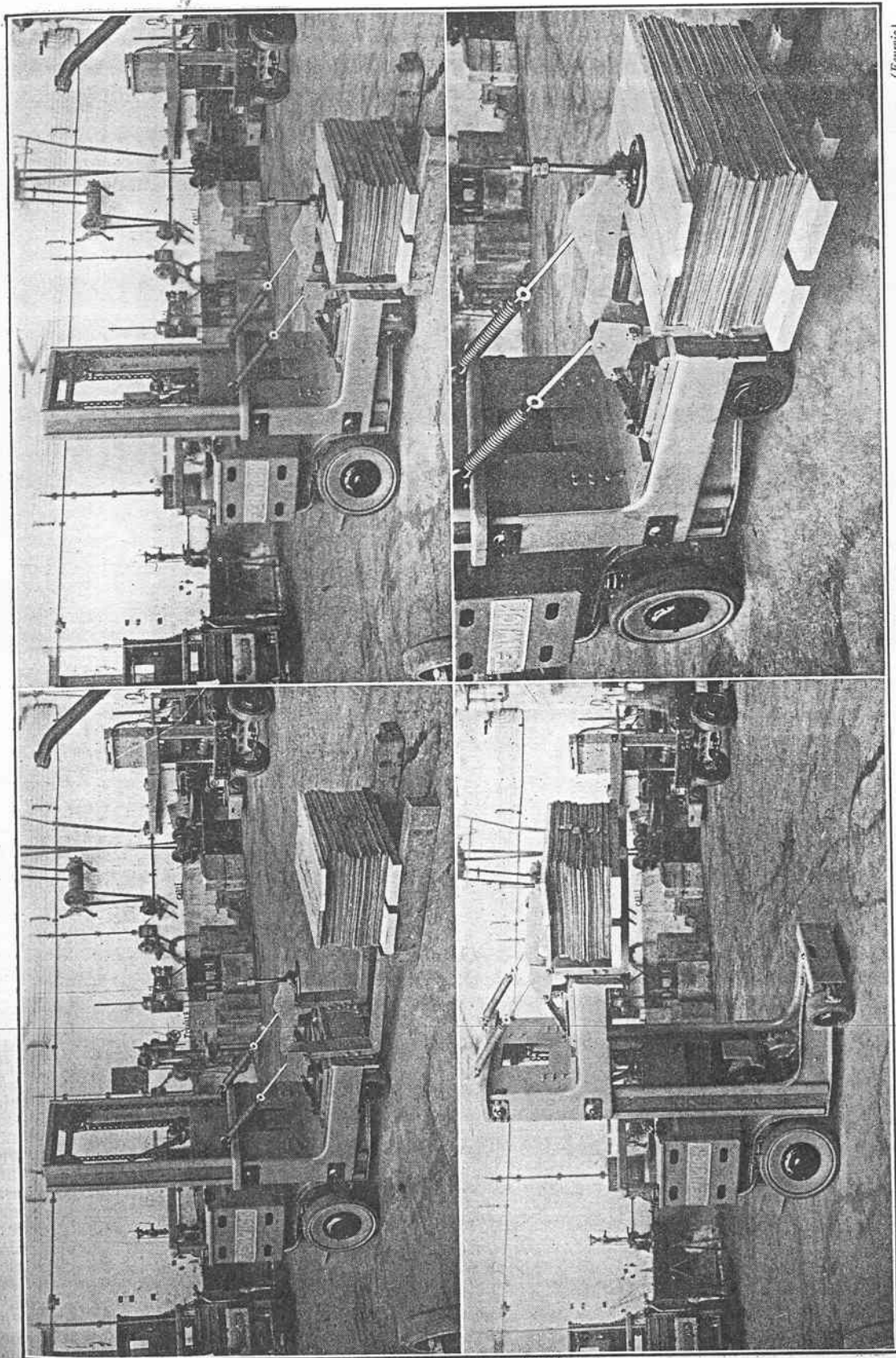


Fig. 555 — Manutention de tôles à l'aide d'un chariot élévateur à grande hauteur de levée.

(Fenwick)



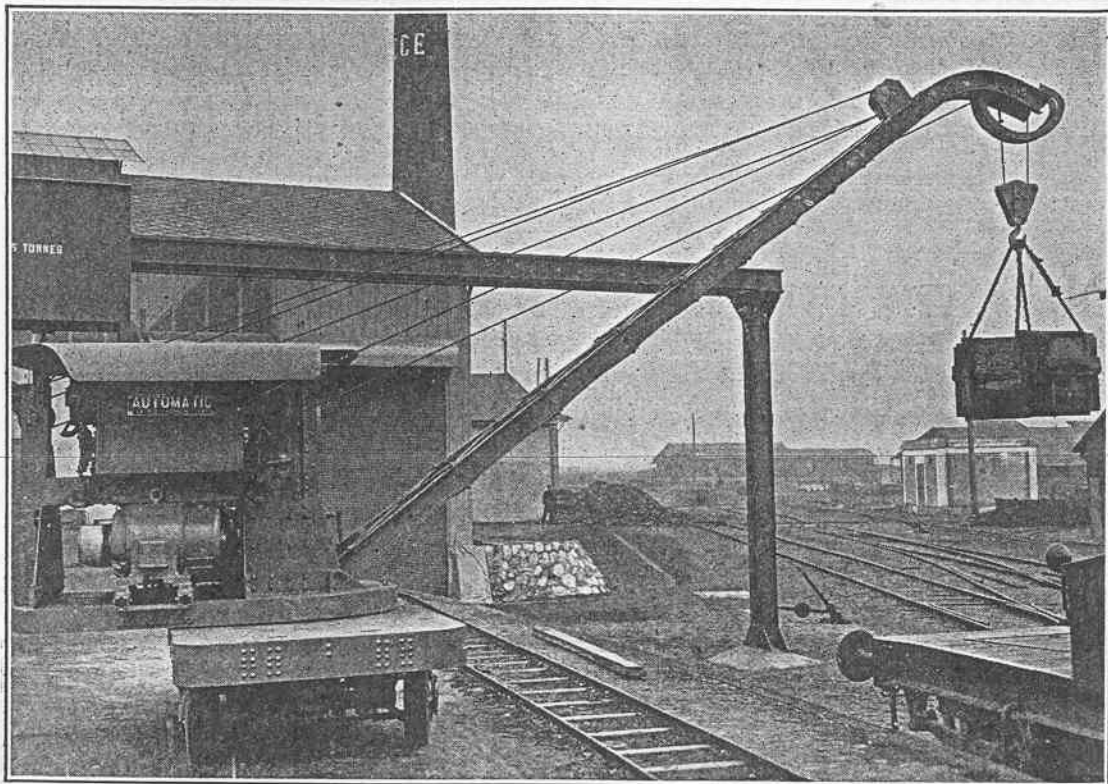
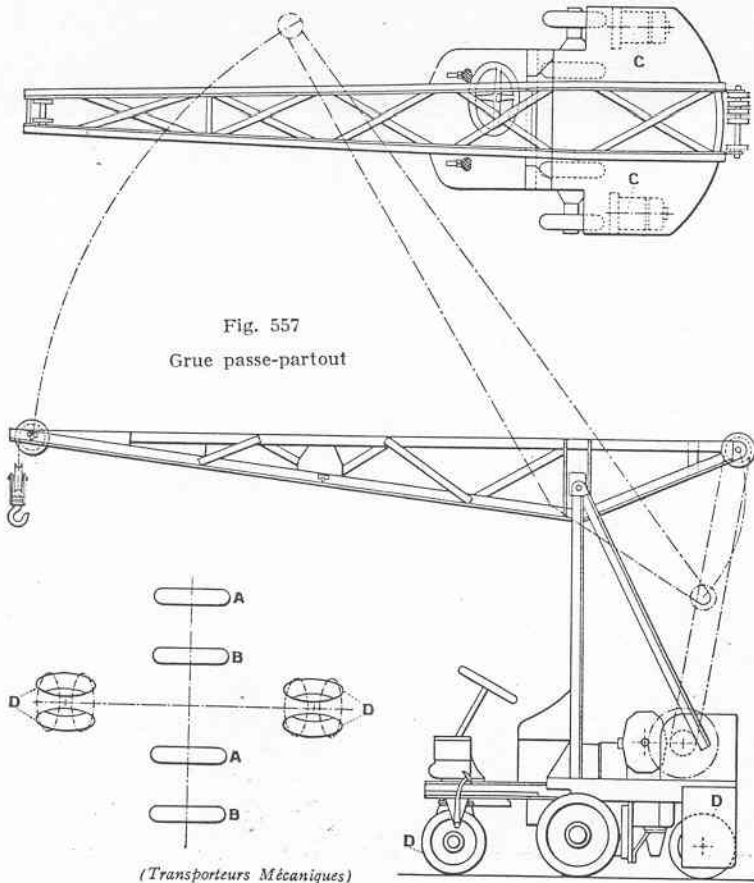


Fig. 556 — Chariot porteur avec grue de 3 t.

(Automatic)



pour la manutention de tôles.

**Chariots avec grue.** — Ces véhicules se composent d'un chariot porteur ordinaire sur lequel a été montée une petite grue pour permettre de manoeuvrer des charges sans qu'il soit fait usage de plateforme comme dans le chariot élévateur à grande hauteur de levée.

La grue pivote sur son axe et, généralement, la flèche peut être inclinée plus ou moins (fig. 556); la difficulté provient du fait que la grue pivotant sur son axe avec une charge au crochet et le chariot restant fixe au sol, doit être équilibrée dans toutes ses positions, ce qui conduit à faire un chariot très lourd, de grand empattement que l'on immobilise généralement pendant la manoeuvre à l'aide de vérins ou de griffes pour soulager les roues surchargées.

Une solution ingénieuse de ce problème a été trouvée; elle consiste à laisser la flèche constamment dans la même position par rapport au chariot et pour obtenir le mouvement de rotation de la charge à faire pivoter l'ensemble, grue et chariot, sur les roues de ce dernier; cet appareil, dé-

nommé grue « Passe-partout » est porté par 4 paires de roues, les paires avant et arrières DD (fig. 557) sont directrices, les paires latérales A et B ne sont pas mobiles en direction et la roue extérieure de chaque paire est motrice actionnée par le moteur C. Le contrôleur de direction et de pivotement est placé à la gauche du siège du conducteur, mais le pivotement proprement dit ne peut avoir lieu que lorsque les roues DD à chaque extrémité du châssis ont été amenées dans une position perpendiculaire aux roues motrices AB. Dans cette position un contacteur électrique actionné automatiquement par le mécanisme de direction agit pour faire tourner les moteurs en sens inverse dès qu'on les met en marche par le contrôleur, ce qui fait pivoter la grue.

A la droite du siège du conducteur se trouve le contrôleur de levage et de mouvement de la flèche. Les mouvements de levage de la charge et de la flèche sont obtenus au moyen d'un seul moteur agissant sur 2 tambours de câbles par un engrenage à vis sans fin; des 2 câbles s'enroulant sur ces tambours, l'un commande les mouvements de montée, l'autre constitue le câble de crochet; un levier unique commande l'embrayage de l'un ou l'autre de ces tambours.

## B. — Traction thermo-électrique

136. — Lorsqu'on veut utiliser les moteurs à combustion interne pour la traction, on est généralement obligé d'avoir recours à une transmission de force indirecte, le moteur à combustion interne ne se prêtant pas, en général, à la commande directe des essieux. Pour les petites puissances, le problème fut vite résolu par l'emploi de changements de vitesse à engrenages, mais pour les grandes puissances il fallut utiliser un autre moyen de transmission; c'est la transmission électrique qui fut appliquée d'une manière presque absolue sur les véhicules de moyenne et de grande puissance; le moteur thermique entraîne une génératrice à courant continu qui alimente les différents moteurs calés sur les essieux; on a choisi le courant continu parce que le moteur série à courant continu est le plus simple, le plus léger, le meilleur marché et celui dont le fonctionnement est le plus sûr.

Le moteur thermique est généralement choisi à grande vitesse parce que l'on peut, par suite de l'augmentation du nombre de tours, diminuer, à puissance égale, le poids et le prix de la génératrice. La tension de la génératrice est variable suivant les locomotives; elle ne dépasse pas 1200 V, même dans les machines de forte puissance.

On adjoint souvent à la génératrice une excitatrice servant à l'éclairage, à la charge de la batterie et à la commande des divers moteurs auxiliaires.

Les moteurs de traction sont des moteurs série identiques à ceux que nous avons étudiés dans la traction par courant continu.

Le moteur thermique est soit à essence, soit du type Diesel; le moteur à essence est presque exclusivement employé sur les véhicules routiers ou encore sur les tracteurs industriels. En Europe, l'économie réalisée sur le combustible par l'emploi du moteur Diesel est d'autant plus importante que le prix de l'essence est élevé par rapport à celui de l'huile lourde; c'est

pourquoi l'emploi du moteur à essence n'est réservé que pour les faibles puissances.

**Locomotives Diesel électriques.** — L'emploi des moteurs Diesel peut faire réaliser d'importantes économies de combustible; en effet, le rendement d'une machine à vapeur oscille entre 7 et 10%; les locomotives spéciales à turbine et à haute tension ont un rendement meilleur: 15%, tandis que les locomotives équipées avec moteur Diesel atteignent un rendement global de 25%. En outre, ils ont des avantages appréciables sur les machines à vapeur: absence de fumée, faible quantité d'eau nécessaire, possibilité d'assurer le service avec un seul homme. Les machines ainsi équipées ont en outre l'avantage de ne pas nécessiter de frais d'établissement de lignes de contact et de sous-stations; ces machines trouvent une application intéressante dans les lignes à faible trafic.

Une locomotive Diesel électrique se compose d'un ou de plusieurs moteurs Diesel entraînant directement une ou plusieurs génératrices à courant continu. Chaque génératrice est à excitation séparée et transmet son énergie aux moteurs de traction.

La puissance demandée à la locomotive est variable suivant le poids remorqué, le profil de la ligne, les courbes; or, pour économiser le combustible, il y a lieu de faire marcher le moteur Diesel au voisinage de la pleine charge; en outre, le moteur Diesel n'a une capacité de surcharge que de 10 à 12%.

Les machines modernes sont équipées de manière à empêcher automatiquement toute surcharge du moteur Diesel et imposer des vitesses ou des admissions déterminées pour des puissances choisies, soit pour réduire la consommation de combustible, soit pour diminuer la fatigue des organes mécaniques.

Pour régler l'effort de traction et la vitesse du véhicule, il y a deux moyens fondamentaux:

1° en agissant directement sur la puissance du moteur à combustion, en faisant varier l'admission de combustible; la transmission électrique est disposée de telle sorte qu'elle établit automatiquement les valeurs de l'effort de traction et de la vitesse (ce qui correspond au réglage du courant et de la tension) correspondant à la puissance fixée par le moteur à combustion.

2° en agissant sur l'excitation de la génératrice; un régulateur automatique doit alors faire varier l'admission du combustible au moteur Diesel pour obtenir la puissance demandée et maintenir la vitesse constante.

La commande Gébus agit uniquement sur le réglage de l'admission de combustible; lorsque le moteur à combustion marche à vide, la génératrice se trouvant au-dessous de sa limite d'excitation, ne fournit pas de puissance; lorsque l'admission du combustible augmente, le moteur tourne plus vite et la génératrice fournit de la puissance. Lorsque la vitesse baisse, la puissance d'une génératrice shunt décroît plus rapidement que la puissance du moteur thermique; pour éviter cet inconvénient, dans le système Gébus, on utilise des génératrices shunt à faible saturation, dont la caractéristique externe se rapproche d'une parabole correspondant à une vitesse constante.

Dans le dispositif de commande de la Triebwagenbau-A.-G. et l'A. E. G., il n'est pas utilisé

de génératrice à faible saturation et la forme convenable de la caractéristique externe est obtenue par le réglage automatique du champ de la génératrice par l'action combinée de différentes excitations séparées, shunt et contre-compound convenablement ajustées.

La génératrice principale comporte 2 enroulements d'excitation séparés et sur l'excitatrice est monté un enroulement série, anti-compound, parcouru par le courant de la génératrice principale.

L'un des enroulements d'excitation principaux est relié directement aux bornes de l'excitatrice; l'autre est parcouru par le courant de charge de la batterie. Par l'anticom-pounding on a une forte diminution de tension dans les génératrices principales et auxiliaire pour les fortes intensités; le courant de charge de la batterie passant par le deuxième enroulement d'excitation, on produit une augmentation de tension de la génératrice pour les grandes vitesses et un courant faible d'induit. Par un choix judicieux de ces différentes excitations, on peut réaliser avec cette commande un réglage automatique à puissance constante dans des limites assez étendues.

Les commandes Jeumont et Oerlikon reposent sur le même principe; la constance de la puissance de la génératrice est obtenue en agissant sur la tension de la génératrice auxiliaire (fig. 558). L'enroulement inducteur A donne environ 80 % de flux total et l'enroulement B est de plus faible résistance et est shunté par une résistance permettant de régler la vitesse de charge de la batterie.

La Maison écossaise Beardmore règle la puissance uniquement par variation du nombre de tours du groupe Diesel qu'elle fait tourner suivant la puissance à fournir, à 3 vitesses différentes au moyen d'un levier qui agit sur l'admission du combustible.

Les Ateliers de Constructions Oerlikon ont réalisé un système de régulation consistant à faire varier le champ de la génératrice à l'aide d'un levier spécial sur lequel agit également un mécanisme actionné par l'un des essieux de la locomotive; il est ainsi possible de maintenir pratiquement constante la puissance du Diesel sur tout le champ de réglage. Un autre système consiste à faire agir par l'intermédiaire d'un servo-moteur le régulateur de combustible sur l'excitation de la génératrice principale, de sorte que la puissance du véhicule se maintient à une valeur constante que l'on peut régler, suivant les besoins du service, au moyen du contrôleur. Cette puissance constante, qui correspond à une position de marche déterminée, reste invariable quelles que soient les variations de l'effort de traction dues aux rampes, etc. Le contrôleur de marche est construit de telle façon que sur n'importe quelle position et sur tout le champ de réglage du régulateur de combustible, il permette de coupler le servo-moteur pour régler dans un sens ou dans l'autre, la tension de la génératrice principale. Un relais limiteur de courant ne laisse en outre fonctionner le servo-moteur que tant que la génératrice principale n'est pas surchargée. Des contacts

sont également prévus sur le contrôleur de marche pour faire varier en plusieurs échelons le nombre de tours du Diesel, qui peut alors tourner, par exemple, à la vitesse la plus réduite sur les premières positions du contrôleur et à des vitesses plus élevées sur les groupes de contacts voisins; on se contente en général de 3 vitesses.

Suivant le poids du train, le wattman peut avant la mise en marche placer le contrôleur sur un secteur de contact correspondant à l'un

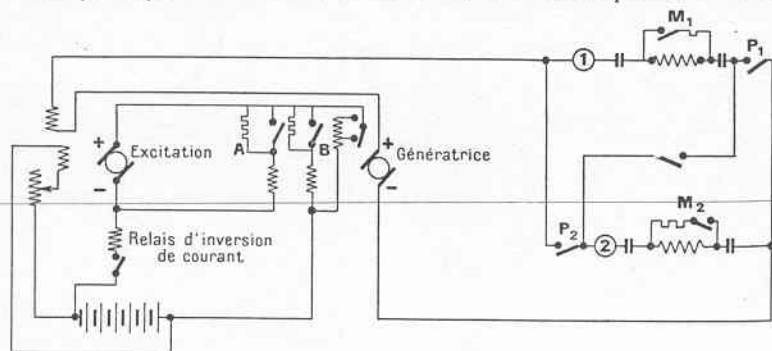


Fig. 558

des 3 régimes de puissance. Si la vitesse est reconnue trop faible, il peut l'augmenter en passant sur le secteur du régime suivant; après quoi, le réglage à puissance constante se fait automatiquement. La figure 559 représente

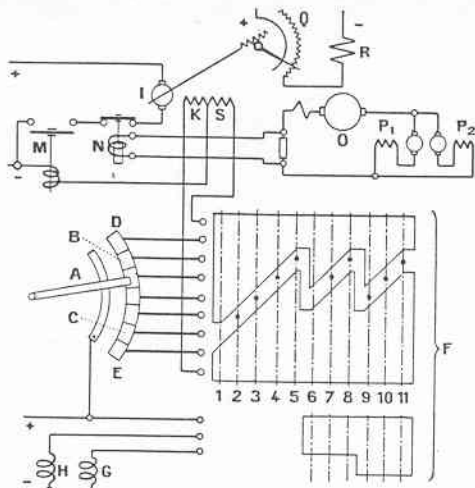


Fig. 559 — Schéma de couplage de la commande combinée avec le régulateur de combustible.

- A. Levier de réglage raccordé au régulateur pour le combustible.
- B. Contact d'admission maximum.
- C. Contact d'admission minimum.
- D. E. Contacts pour le changement du sens de marche du servo-moteur.
- I. Servo-moteur.
- K, S. Bobines d'excitation du servo-moteur pour marche avant et arrière.
- N. Relais limiteur de courant.
- M. Relais de fermeture du circuit.
- O. Génératrice principale.
- R. Excitation de la génératrice principale.
- Q. Régulateur d'excitation.
- P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>. Moteurs de traction.

schématiquement un système de ce genre, et la figure 560 montre les courbes des efforts de traction en fonction de la vitesse pour chaque

cran du contrôleur, ces courbes étant déterminées pour une puissance constante.

Bien d'autres dispositifs de commande ont été imaginés basés sur les principes généraux des systèmes décrits ci-dessus, mais comportant des dispositions de détail particulières.

Le lancement du moteur à combustion est généralement effectué par la génératrice principale que l'on fait tourner, à cet effet, en moteur sur la batterie; quelquefois, on utilise l'air comprimé dans

Nous citons encore comme type de locomotive Diesel électrique les automotrices des Chemins de fer Fédéraux Suisses.

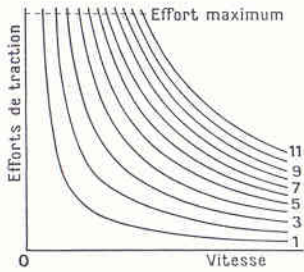


Fig. 560

les moteurs Diesel à injection d'air, mais ce procédé est peu employé.

L'éclairage est presque toujours alimenté par la génératrice auxiliaire et par la batterie.

Dans certains cas (Great Southern Railway de Buenos-Aires) on a constitué des systèmes de traction à unité multiple avec locomotives Diesel-Électriques; la locomotive avec moteur Diesel est attelée à une extrémité du train et les différentes automotrices sont réparties sur toute la longueur du train, les moteurs étant commandés de la locomotive Diesel-électrique.

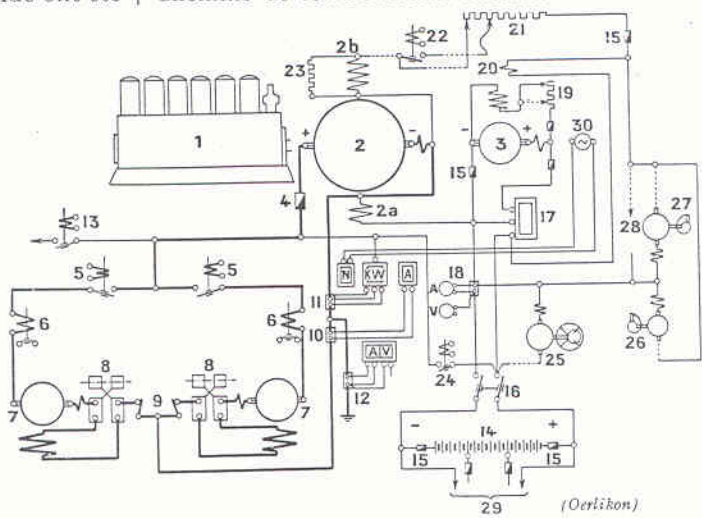
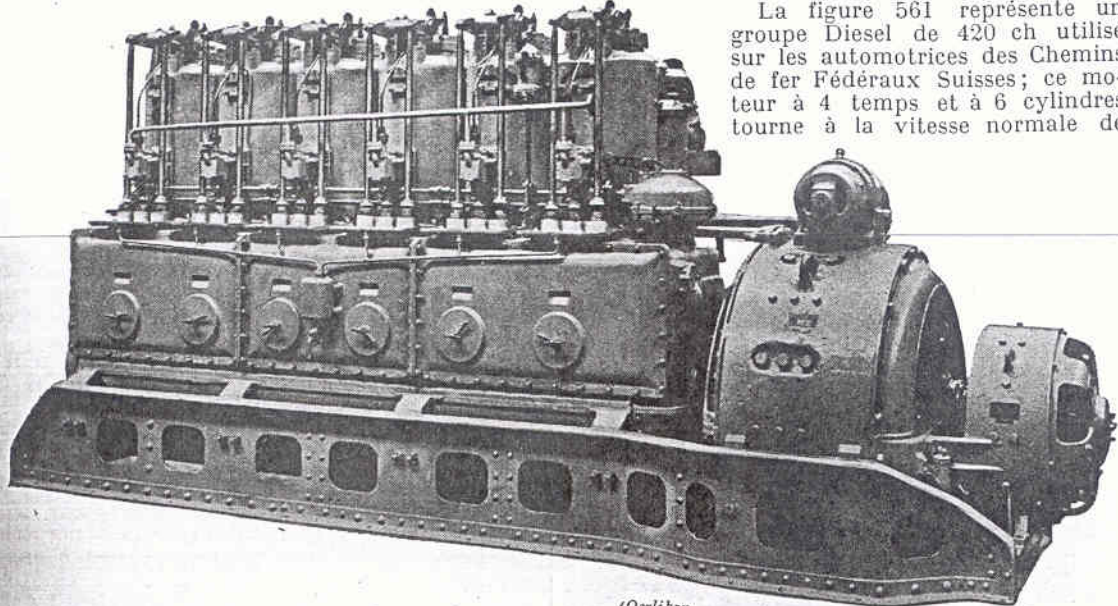


Fig. 562 — Schéma de couplage de l'automotrice de 420 ch des chemins de fer fédéraux suisses.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Moteur Diesel.                                      | 14. Batterie d'accumulateurs.                      |
| 2. Génératrice principale.                             | 15. Coupe-circuit.                                 |
| 2a. Enroulement d'excitation pour le démarrage.        | 16. Interrupteur de batterie.                      |
| 2b. Enroulement d'excitation principal.                | 17. Dispositif de charge de la batterie.           |
| 3. Génératrice auxiliaire.                             | 18. Shunt pour l'ampèremètre de la batterie.       |
| 4. Coupe-circuit pour la génératrice.                  | 19. Résistance d'ajustage de l'excitation.         |
| 5. Contacteur pour les moteurs de traction.            | 20. Enroulement compound                           |
| 6. Relais à minimum de courant                         | 21. Résistance de réglage.                         |
| 7. Moteur de traction.                                 | 22. Contact de l'excitation.                       |
| 8. Interrupteur de changement du sens de marche.       | 23. Résistance de protection.                      |
| 9. Sectionneurs.                                       | 24. Contact de démarrage.                          |
| 10. Shunt d'ampèremètre                                | 25. Compresseur avec moteur                        |
| 11. Shunt de wattmètre.                                | 26. Pompe pour l'eau de refroidissement du moteur. |
| 12. Shunt de l'ampèremètre pour le chauffage du train. | 27. Pompe à huile avec moteur                      |
| 13. Contacteur pour le circuit de chauffage.           | 28. Commande.                                      |
|  | 29. Eclairage.                                     |
|  | 30. Dynamo-tachymètre.                             |

Ces automotrices, mises en service en 1930, ont été construites par les Ateliers de Constructions Oerlikon.

La figure 561 représente un groupe Diesel de 420 ch utilisé sur les automotrices des Chemins de fer Fédéraux Suisses; ce moteur à 4 temps et à 6 cylindres tourne à la vitesse normale de



(Oerlikon)

Fig. 561 — Groupe Diesel de l'automotrice de 420 ch des chemins de fer fédéraux suisses.

630 t/m; il est accouplé directement avec la génératrice à courant continu et porte en bout d'arbre la génératrice auxiliaire; le refroidissement du moteur Diesel est obtenu par un réfrigérant à air monté sur le toit de la voiture. La motrice comporte 2 moteurs de traction à auto-ventilation avec transmission au rapport 1/4,1. La génératrice est excitée par la dynamo auxiliaire qui comporte un enroulement compound. Le lancement du moteur Diesel est effectué à l'aide d'une batterie d'accumulateur au fer-nickel de 90 éléments 225 Ah. L'air comprimé nécessaire pour le frein et pour la commande des appareils est fourni par un groupe compresseur Oerlikon dont le moteur peut être alimenté, soit par la dynamo auxiliaire, soit par la batterie. Le schéma des connexions est représenté sur la figure 562. Les caractéristiques principales de ces automotrices sont les suivantes :

Moteur Diesel à 6 cylindres et à 4 temps; puissance 420 ch à 650 t/m; à 520 t/m, puissance réduite en conséquence.

Génératrice type 8 B 950 directement accouplée; tension maximum 1 020 V.

Dynamo auxiliaire type C. E. 45, tension d'excitation 150 V.

Moteurs de traction type EM 520 avec transmission simple pour un diamètre des roues motrices de 1 040 mm.

Puissance continue 165 ch sous 790 V.

Puissance unihoraire 156 ch sous 540 V.

Puissance continue 159 ch sous 1020 V.

Vitesse maximum 75 km/h.

Poids total de l'équipement électrique sans batteries auxiliaires .... 11 650 kg

Poids de l'automotrice complète ..... 56 t.  
Poids adhérent ..... 24 t.

**Tracteurs avec moteur à essence et transmissions électriques.** — Le moteur à essence est léger et bon marché parce qu'il fonctionne à de faibles pressions moyennes et à des vitesses élevées (1 000 à 2 000 t/m); il convient parfaitement pour les tracteurs de faible puissance.

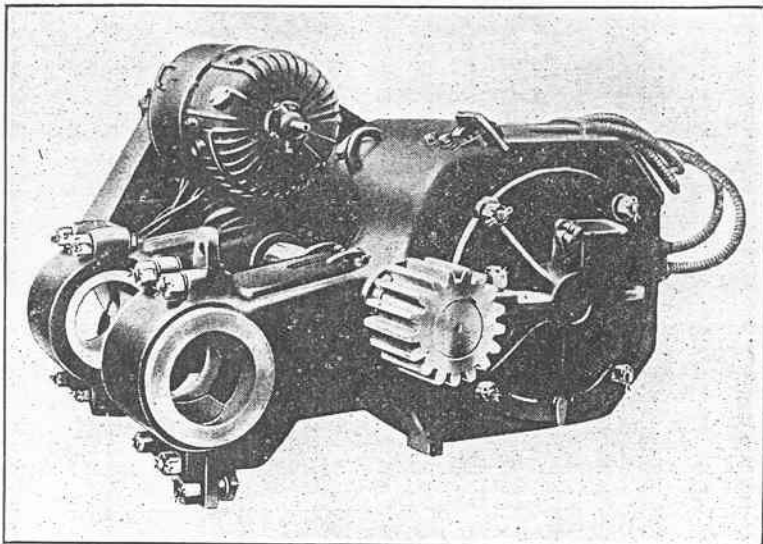
Il y a lieu de remarquer que le service d'un tracteur est très différent de celui des véhicules ordinaires mus par moteurs à explosion; le régime de vitesse d'un tracteur est très variable et il est nécessaire de prévoir un dispositif de changement de vitesse entre le moteur et la roue afin de pouvoir utiliser toute la puissance du moteur aux différentes vitesses du tracteur. Dans un camion automobile ordinaire, le changement de vitesse n'entre en action que pendant les courtes périodes de démarrage ou de loin en loin suivant le profil de la route; on peut alors se contenter d'un changement de vitesse non progressif et parer au manque de progressivité de ce changement de vitesse par un embrayage à friction.

Dans un tracteur, au contraire, le changement de vitesse est la règle et il faut prévoir un organe très progressif, très robuste et très maniable. On a essayé différents systèmes mécaniques permettant d'obtenir ces résultats, mais la transmission électrique offre une plus grande souplesse.

Elle consiste à accoupler le moteur à explosion à une génératrice à courant continu à excitation réglable et à envoyer le courant produit par cette génératrice sur les moteurs de traction.

Or, l'usure et la consommation d'un moteur à explosion sont minima à chaque charge lorsque le moteur travaille à son couple normal, autrement dit à cylindrée à peu près constante; il faut donc que la vitesse du moteur à explosion soit, en régime, sensiblement proportionnelle à la puissance demandée.

Le système de transmission électrique utilisé par les Forges et Ateliers de Constructions



(Forges et Ateliers de Constr. Electr. de Jeumont)

Fig. 563 — Moteur de traction et excitatrice de locotracteur à essence et transmission électrique.

Electriques de Jeumont permet d'adapter la vitesse du moteur à explosion automatiquement à la puissance demandée; la seule commande laissée à l'initiative du conducteur est le réglage de la puissance; le moteur à explosion prend alors automatiquement une vitesse adaptée à la puissance imposée. Dans ce système le moteur de traction, à excitation série, comporte une excitatrice entraînée par l'essieu moteur (fig. 563); la vitesse de cette excitatrice est donc proportionnelle à la vitesse du tracteur; cette excitatrice est à excitation séparée avec une batterie d'accumulateurs; un rhéostat de réglage, solidaire de l'accélérateur du moteur à explosion, permet de faire varier la valeur du courant d'excitation (fig. 564).

Un élément d'accumulateur A est en série sur l'excitatrice, est rechargé par le courant principal et fournit l'excitation nécessaire au démarrage du tracteur.

Au démarrage, l'excitation de la génératrice est fournie par l'accumulateur A; cet élément engendre dans les inducteurs  $i$  un courant, grâce auquel, se développe dans le circuit principal un courant croissant avec la vitesse de

la génératrice et suffisant pour mettre en route le véhicule. A partir de ce moment, l'excitatrice entre en action et fait croître la tension de la génératrice au fur et à mesure que le démarrage progresse.

Pendant la marche du véhicule, si l'effort de traction croît, le moteur de traction M ralentit, l'intensité augmente, mais l'excitatrice E ralentit

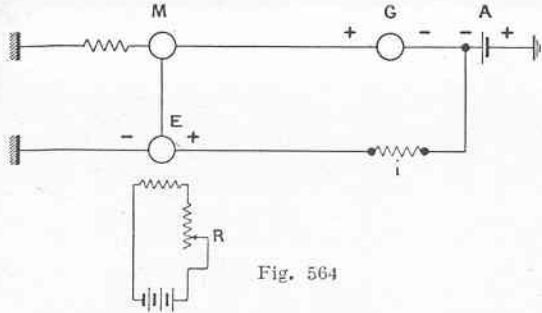
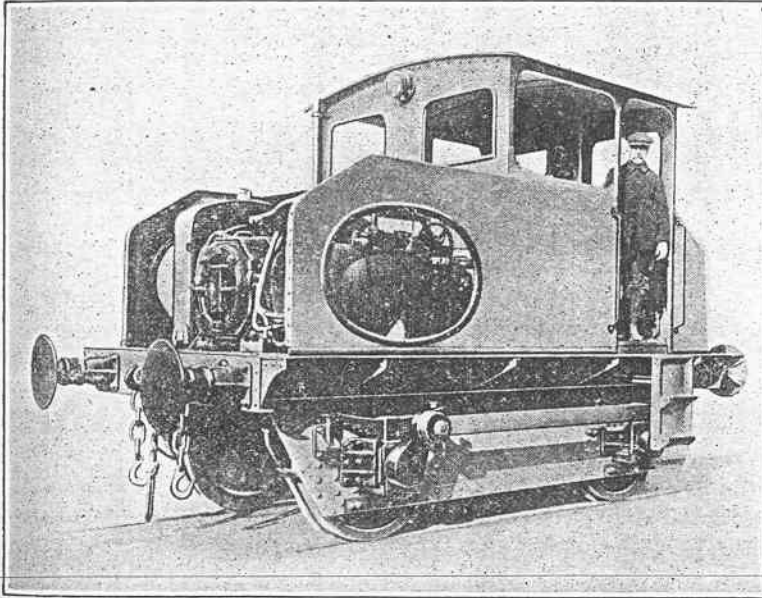


Fig. 564

tissant également, le courant d'excitation de la génératrice décroît de telle façon que la puissance demandée au moteur à explosion et par suite sa vitesse, restent invariables.

Le réglage de la vitesse du véhicule se fait à l'aide d'une seule manette commandant à la fois l'accélérateur et le rhéostat d'excitation de l'excitatrice.



(Forges et Ateliers de Constr. Electr. de Jeumont)  
Fig. 565 — Locotracteur à essence et à transmission électrique.

En agissant sur cette manette, on fait développer au moteur plus ou moins de puissance, mais on n'a pas à se préoccuper des variations de l'effort de traction qui n'ont pas de répercussion sur la marche du moteur à explosion qui est celle du meilleur rendement.

Les Forges et Ateliers de Constructions Electriques de Jeumont construisent un tracteur de 16 tonnes avec moteur à essence de 60/80 ch, fonctionnant suivant ces principes; l'effort développé est de 2 000 kg et la vitesse de 6 km/h; la figure 565 représente un tracteur de ce type.

## C. — Traction électrique dans les mines

137. — Pour le transport des minerais ou du charbon dans les galeries de mines, qui sont en général peu larges et très basses, on ne peut songer à utiliser la traction à vapeur qui offre de trop grands dangers d'incendie et d'asphyxie provoqués par les gaz et les fumées dégagés par la combustion; ce système qui a été employé dans quelques galeries de mines de fer hautes et larges est complètement abandonné aujourd'hui; les tracteurs avec moteurs à explosion présentent les mêmes inconvénients.

Les seuls systèmes réellement avantageux sont : la traction par air comprimé et la traction électrique.

La traction par air comprimé possède un avantage sur la traction électrique : absence d'étincelle et par suite sécurité absolue même dans les galeries de mines grisouteuses ou contenant des poussières inflammables. Par contre, la traction par air comprimé est en infériorité par rapport à la traction électrique sur les trois points suivants :

1° Obligation de recharger les réservoirs d'air à 150 kg après un parcours de 1 000 m à l'aller et de 1 000 m au retour.

2° Mauvais rendement des moteurs.

3° Coïncidence de l'appel d'énergie fait par le compresseur d'air avec la pointe d'énergie correspondant à l'extraction du charbon.

Comme conséquence, la traction à air comprimé est limitée aux galeries de grand roulage, car on a renoncé à installer des canalisations d'air dans les galeries, ce qui serait dangereux et difficile.

Pour ce qui est de la consommation, si l'on compare deux tracteurs identiques, l'un étant à traction par accumulateurs, l'autre à air comprimé, la consommation en énergie haute tension est de 200 Wh par tonne kilométrique transportée dans le premier cas, tandis que le tracteur à air comprimé absorbe 1 000 Wh pour accomplir le même travail. Nous voyons que la traction électrique est bien plus économique que la traction par air comprimé.

La traction électrique peut être, soit avec locomotives à prise de courant à trolley, soit avec tracteurs à accumulateurs. Le premier système est encore utilisé dans certaines mines; le courant généralement employé est le courant continu sous une tension ne dépassant pas 250 V, à cause des dangers que présente pour le personnel la proximité du fil de contact qui, dans certains cas, est à une distance du sol ne dépassant pas 2,50 m; pour utiliser une tension plus forte, on a employé quelquefois deux lignes de contact alimentées sous une différence de potentiel de 500 V, la tension par rapport au sol ne dépassant pas 250 V.

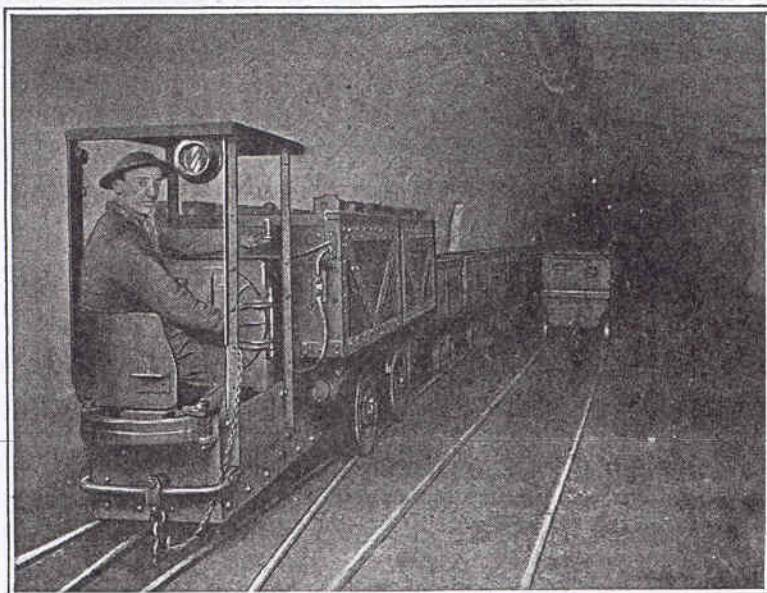
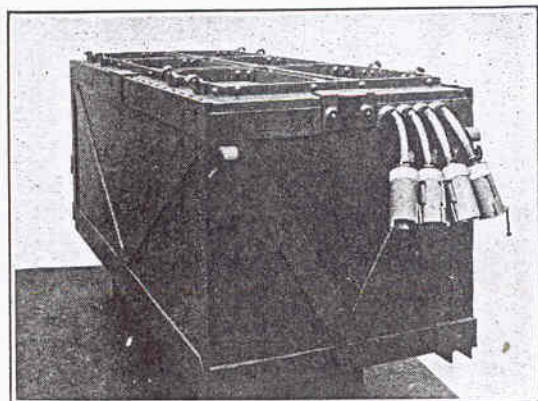


Fig. 566 — Locomotive de mine.

(Automatic)

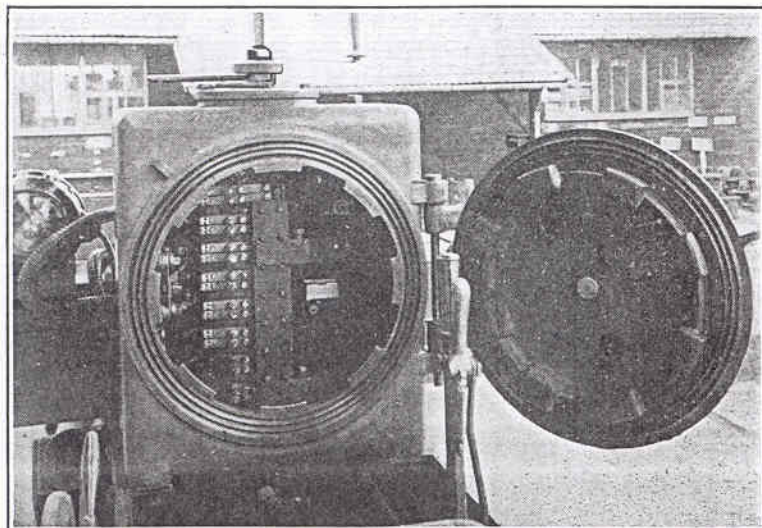
La traction par locomotives à trolley ne peut pas être étendue aux galeries secondaires aboutissant aux chantiers d'abattage et a le grave défaut d'être dangereuse par suite des étincelles du trolley. Ce système ne se développe plus à l'heure actuelle et a même été abandonné dans certaines mines.

Un système particulièrement avantageux est la traction par locomotives à accumulateurs; il possède le grand avantage d'être aussi autonome que le cheval employé dans les mines et remplace celui-ci dans les galeries secondaires aboutissant aux chantiers d'abattage, là où les autres systèmes de traction n'avaient pas pu s'installer; de plus, le tracteur à accumulateurs est plus puissant que le cheval et a permis de réaliser des économies importantes de main d'œuvre, représentée surtout par les conducteurs; de plus, l'emploi d'un matériel dit « antidéflagrant » a rendu ce système utili-



(Automatic)

Fig. 568 — Coffre à accumulateurs „Antidéflagrant”.



(Automatic)

Fig. 567 — Contrôleur „Antidéflagrant”.

sable partout, même dans les galeries grisouteuses.

Les voies ferrées sont presque toujours construites en pente d'équilibre, les berlines pleines circulant à la descente et les vides à la montée, de façon que l'énergie dépensée soit à peu près la même pour les rames circulant à vide que pour celles qui sont chargées; la pente est déterminée par le coefficient de traction du matériel roulant; elle est de 3 à 4 mm par mètre pour des berlines à rouleaux utilisées de plus en plus et de 7 à 11 mm par mètre pour les berlines à coussinets en fonte.

Trois types de locomotives sont généralement utilisés :

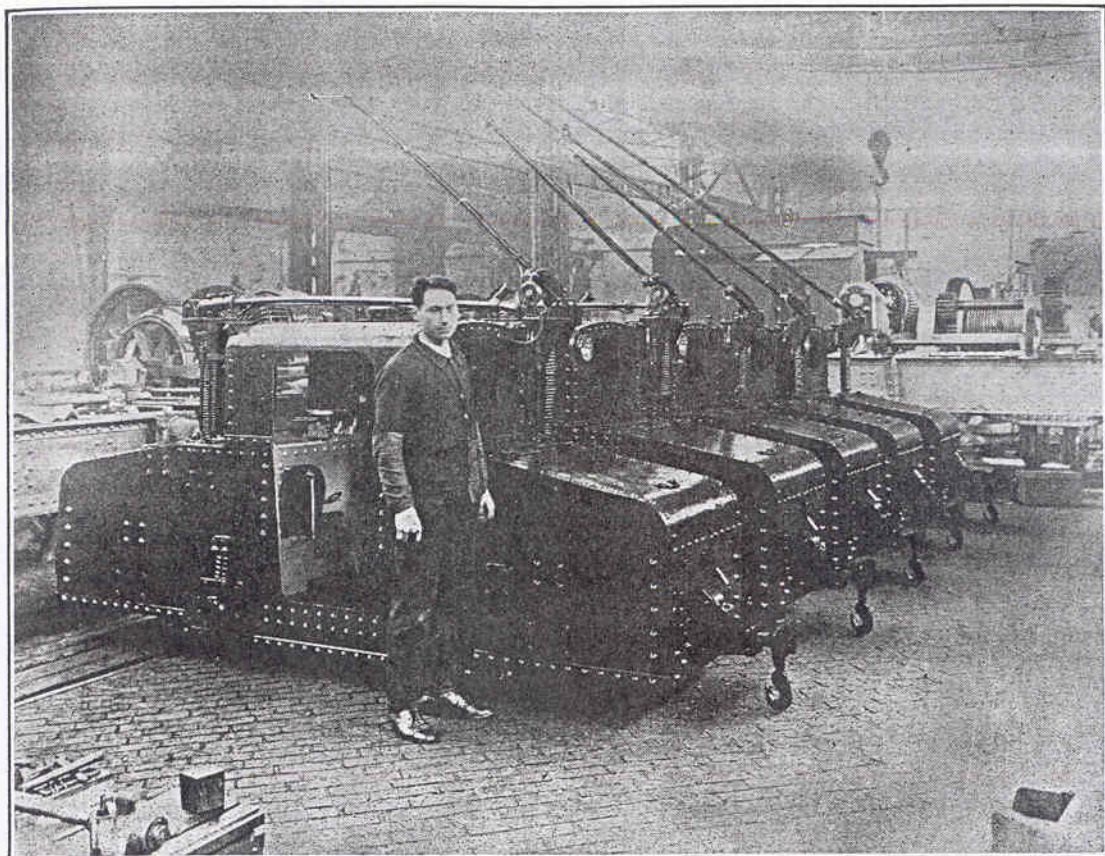
1° locomotives de grand roulage tirant des rames importantes constituées par le rassemblement des rames plus faibles venant des galeries secondaires;

2° locomotives de galeries secondaires, plus faibles que les premières et entraînant des rames de 20 à 30 berlines depuis le chantier d'abattage aux galeries de grand roulage;

3° locomotives cheval, beaucoup plus petites que les précédentes et pouvant être admises dans les cages de petites dimensions.

Les locomotives sont particulièrement robustes et doivent être construites spécialement pour éviter l'introduction des poussières ou de la boue dans les moteurs et l'appareillage électrique.

L'équipement comporte, soit un contrôleur qui est généralement du type ordinaire avec couplage série-parallèle des moteurs et dans certains cas, avec quelques crans de freinage rhéostatique,



(Forges et Ateliers de Constr. Electr. de Jeumont)

Fig. 569 — Tracteur des mines.

soit des contacteurs commandés par un combinateur de dimensions plus faibles.

La figure 566 représente un tracteur de mine en service et les figures 567 et 568 les détails d'un contrôleur et d'un coffre à accumulateurs antidéflagrants.

La figure 569 représente des tracteurs de mine pour voie de 0,500 ou 0,600 m à volonté, par simple substitution des trains de roue. Le poids de ces tracteurs est de 5 t ; ils comportent 2 moteurs de traction à courant continu 450 V, d'une puissance unihoraire de 20 ch ; la vitesse du tracteur est de 7 à 15 km/h.

#### D. — Traction électrique sur les canaux

**138.** — Le remorquage des bateaux sur un canal peut être réalisé, soit par bateaux auto-moteurs, soit par touage, soit enfin par halage.

**Bateaux auto-moteurs.** — Le moteur qui peut être, soit à vapeur, soit électrique, actionne l'hélice du bateau remorqueur. Dans l'emploi de l'électricité, le courant peut être fourni, soit par batterie d'accumulateurs, soit par une dynamo actionnée par un moteur à vapeur ou thermique, soit enfin par un système de ligne de contact fixé sur la berge.

**Touage.** — Ce système consiste à haler par un bateau toueur sur une chaîne noyée qui s'enroule sur deux tambours à gorges à axes parallèles (fig. 570) ; la chaîne est enroulée d'un nombre de tours suffisants sur ces tambours pour que l'adhérence équilibre l'effort de traction.

On a imaginé un dispositif permettant de réduire la longueur d'enroulement de la chaîne

sur les tambours aux  $3/4$  de la circonférence ; ce dispositif, dit embrayage magnétique de Bovet, se compose d'un tambour dont la jante

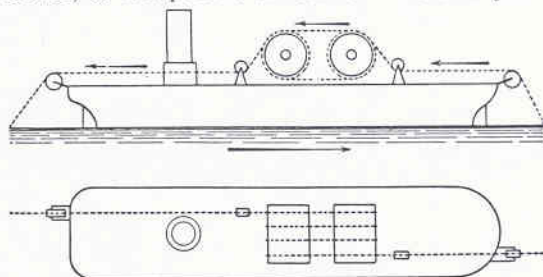


Fig. 570

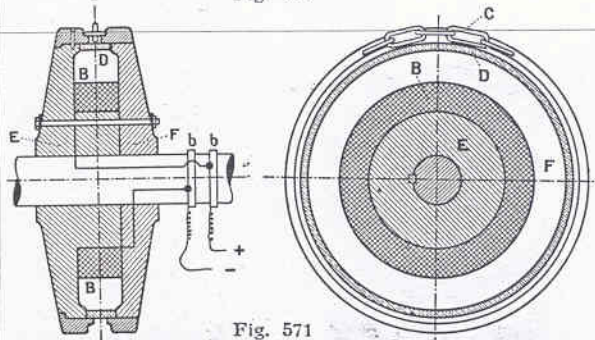


Fig. 571

est aimantée par une bobine B calée sur l'axe du tambour (fig. 571). Le courant est amené par deux bagues B sur lesquelles frottent deux



balais. Pour faire quitter la chaîne C du tambour D, il faut exercer un effort de décollement et à cet effet, on a disposé un galet de sortie en fonte G (fig. 572) qui touche la poulie et qui modifie à cet endroit le champ magnétique;

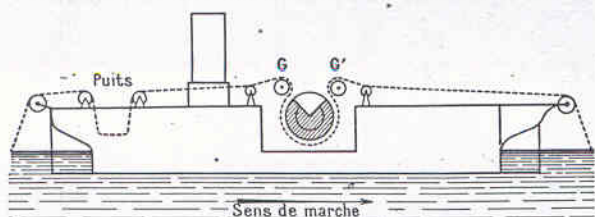


Fig. 572

au contraire, à l'entrée de la chaîne sur le tambour, comme il n'y a pas lieu de modifier le champ magnétique, le galet G' est en bronze.

**Halage.** — Le halage consiste à remorquer les bateaux à l'aide d'un tracteur, circulant, soit sur le chemin de halage bordant le canal, soit sur une ligne aérienne.

Les tracteurs peuvent être sur rail ou sur pneumatiques; ils sont alimentés généralement par une prise de courant à roulette reliée au tracteur par câble souple.

La figure 573 représente un tracteur de halage construit par la Société Alsthom et utilisé sur le canal du Rhône au Rhin; ce tracteur fonc-

tionne sur voie de 0,60 m et est équipé avec un moteur électrique auto-ventilé d'une puissance de 10 à 16 ch, entraînant un essieu par double réduction d'engrenages. Les deux essieux sont couplés mécaniquement par bielles, par engrenages ou par chaîne. Le moteur est commandé par un contrôleur comportant 6 ou 7 crans sur résistances pour le démarrage, 1 cran à plein champ sans résistance pour le halage qui s'effectue entre 3 et 5 km/h et 2 crans à champ réduit pour la marche haut le pied, qui s'effectue à la vitesse de 10 à 15 km/h. Le crochet de halage est muni d'un dispositif de déclenchement du câble à la disposition du conducteur ou automatique. La tension d'alimentation est de 550 à 600 V.

Les tracteurs aériens se composent en principe d'un chariot circulant sur un monorail longeant le canal; le chariot comporte un crochet auquel est fixé le câble de halage; un moteur, monté sur le chariot, sert à la propulsion de celui-ci et est commandé par un contrôleur situé dans la cabine.

Un dispositif de ce genre a été imaginé par M. J. CHÊNEAU et a été appliqué au passage des écluses des canaux du Nord de la France. Le moteur tourne à la vitesse de 2 400 t/m et entraîne les 4 roues motrices par l'intermédiaire d'engrenages démultiplicateurs à la vitesse de 150 t/m; l'appui de ces roues motrices sur le rail est proportionnel à l'effort de traction au crochet; à cet effet, les deux branches de

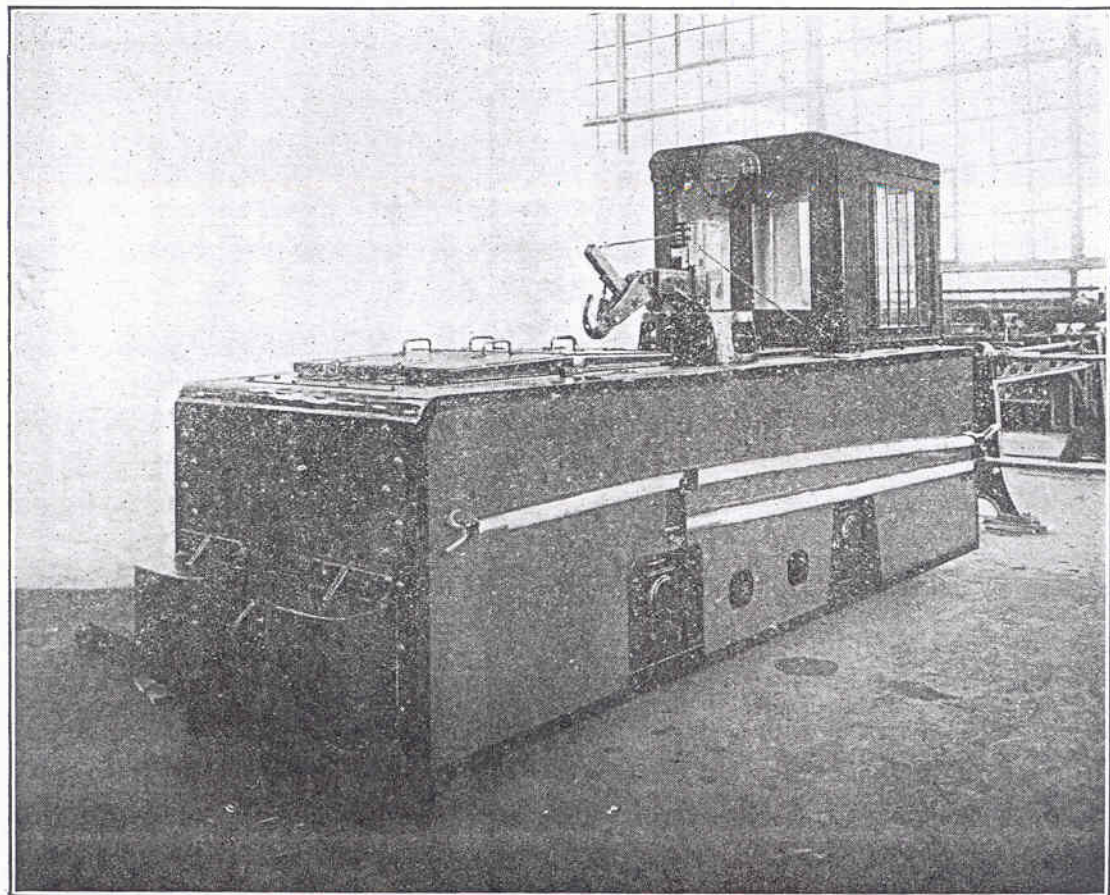


Fig. 573 — Tracteur de halage.

(Alsthom)

l'étrier se terminent par un levier articulé agissant sur le piston d'une pompe à huile; plus l'effort est grand, plus le piston de la pompe à huile pénètre dans le cylindre et chasse l'huile dans un autre corps de pompe à 2 pistons; ces deux pistons, en s'écartant, exercent un effort de traction sur des chaînes fixées à un levier calé sur chaque axe de roue motrice; il en résulte que plus l'effort de traction est élevé, plus la pression des galets sur le rail est forte.

## E. — Traction électrique sur route sans rail

139. — La traction électrique sur route sans rail offre des avantages sur la traction électrique sur rail au point de vue exploitation; il est en effet possible de dévier facilement un itinéraire si les conditions de trafic l'exigent sans être obligé d'effectuer de gros travaux de pose de voie; de plus, s'il était justifié, par suite de l'augmentation du trafic, de remplacer une ligne de transport sans rail par une voie ferrée, il serait très facile d'utiliser la ligne de contact et les sous-stations existantes.

Nous avons étudié un système de traction électrique sur route sans rail: l'*accubus*; en dehors de ce système, il existe un véhicule électrique tenant à la fois de l'autobus à essence et du tramway, c'est le *trolleybus*. Ce véhicule tient de l'autobus à essence par son mode de direction et par son mode de roulement; il tient du tramway par son système de prise de courant, avec cette différence qu'étant isolé du sol par les bandages de ses roues, il comporte nécessairement deux perches de prise de courant.

Le châssis est semblable en bien des points à celui d'une voiture automobile: direction, longerons, pont arrière, roues, freins, etc. (fig. 574); sur ce châssis, sont montés, soit un, soit deux moteurs; dans le cas d'un seul moteur,

ce dernier attaque les roues motrices du véhicule par l'intermédiaire d'un différentiel; dans le cas de 2 moteurs, chaque roue motrice est commandée par l'un d'eux.

Examinons maintenant dans quel cas le système de traction par trolleybus est plus économique que les autres systèmes. Dans un projet de transports publics, quatre solutions peuvent être envisagées; autobus à essence, tramway, trolleybus et *accubus*; nous éliminerons la solution par *accubus* qui, comme nous l'avons vu, ne convient qu'à des cas particuliers. En définitive, nous restons en présence de trois solutions distinctes, ayant chacune ses avantages et ses inconvénients; avant d'adopter l'une ou l'autre de ces solutions, il faut comparer, dans chaque cas particulier, les 3 modes de transport entre eux à un double point de vue: frais d'établissement et frais d'exploitation.

En ce qui concerne les premiers, l'établissement d'une ligne de tramway coûte environ 4 fois plus cher qu'une ligne d'autobus et environ 2 fois plus cher qu'une ligne de trolleybus; quant aux frais d'exploitation, ils sont sensiblement les mêmes pour une ligne de tramway que pour une ligne de trolleybus et 1 1/2 plus coûteux pour une ligne d'autobus que pour l'un de ces derniers; ces considérations sont à l'avantage du trolleybus sur le tramway, mais ce dernier reste supérieur en tant que transport rapide à grande fréquence. Comparons maintenant le trolleybus avec l'autobus à essence; pour cela il faut tenir compte des charges rapportées au kilomètre-voiture: intérêt et amortissement du capital engagé, dépense d'énergie et frais d'entretien des véhicules; de cette comparaison il ressort que l'emploi du trolleybus fait réaliser une économie kilométrique que nous désignerons par  $\alpha$ ; or, l'établissement de la ligne de contact, dans le cas du trolleybus, entraîne une dépense A au kilomètre; en tenant compte de l'amortissement de la ligne de contact et de

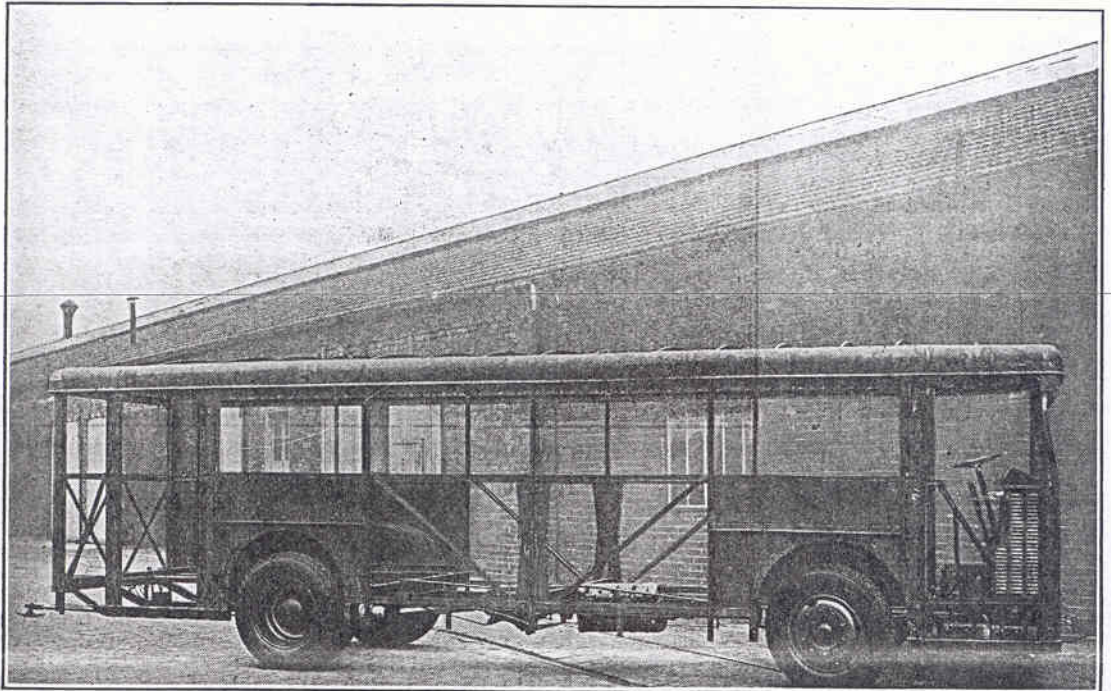


Fig. 574 — Trolleybus' — Ossature de la caisse et mécanisme.

(Vétra)

son entretien il en résulte une dépense par jour que nous désignerons par  $A'$ ; cette somme devra être couverte chaque jour par les économies kilométriques réalisées par le trolleybus pour que les deux solutions soient équivalentes, c'est-à-dire qu'il faudra que le nombre de passages quotidiens soient égaux à  $\frac{A'}{a}$ .

Ainsi, si nous fixons l'intérêt de l'argent à 5 %, le prix du véhicule à essence à 70 000 f, celui du véhicule électrique semblable à 120 000 f, la période d'amortissement de l'autobus à 10 ans et celle du trolleybus à 15 ans, le taux d'amortissement sera de 13 % du prix d'achat pour l'autobus et de 9,7 % pour le trolleybus. En admettant que le nombre de journées de travail de l'autobus soit de 300 par an et celui du trolleybus de 340 par an en raison de la rareté des immobilisations dues aux réparations et si nous admettons un trajet de 100 km par jour dans chaque cas, on arrive à une dépense kilométrique journalière de :

$$\frac{70\,000 \times 0,13}{300 \times 100} = 0,30 \text{ f pour l'autobus}$$

et

$$\frac{120\,000 \times 0,097}{340 \times 100} = 0,35 \text{ f pour le trolleybus.}$$

Il faut ajouter à ces prix, la dépense d'énergie qui atteint 1,25 f au kilomètre pour l'autobus (en se basant sur une consommation de 50 l d'essence aux 100 km, un prix moyen de l'essence de 2,20 f le litre et une dépense en huile de graissage égale à 15 % de la dépense en essence) et 0,24 f au kilomètre pour l'électrobus (en admettant une dépense d'énergie de 0,8 kWh par kilomètre et un prix moyen du courant de 0,30 f le kWh; la dépense en huile de graissage est presque nulle).

Enfin, il y a lieu d'ajouter les dépenses d'entretien aux chiffres ci-dessus; ces dépenses atteignent, suivant les statistiques, dans des exploitations bien organisées, un chiffre de 1 f par km pour l'autobus à essence et 0,35 f pour le trolleybus.

En résumé, les frais d'exploitation et d'entretien du véhicule à essence ressortent à 2,55 f le kilomètre et ceux du trolleybus à 0,95 f le kilomètre; l'économie ainsi réalisée par l'emploi du trolleybus est donc de 1,60 f au kilomètre.

Or, une ligne de contact à 2 fils, alimentée par une sous-station en son milieu, revient à 100 000 f le kilomètre, sous-station comprise; la période d'amortissement de la ligne étant fixée à 20 ans entraîne un taux d'amortissement de 8 % du capital; si nous supposons que l'entretien de la ligne peut être couvert par une annuité de 2 % du même capital la dépense journalière pour un kilomètre de ligne serait de :

$$\frac{100\,000 \times 0,10}{365} = 27 \text{ f.}$$

Pour que le trolleybus soit équivalent à l'autobus il faut donc que cette dépense de 27 f soit couverte par l'économie de 1,60 f par kilomètre, ce qui montre que le nombre de passages quotidiens devra être au minimum égal à :

$$\frac{27}{1,60} = 16, \text{ soit 8 pour chaque sens.}$$

En dehors de ces considérations, le trolleybus offre les avantages suivants :

A) par rapport au tramway électrique :

1° Evite la dépense d'une voie nouvelle et le remplacement des voies usagées.

2° Fait un service plus rapide et peut passer en pays de montagne, là où le tramway ne passerait pas.

3° Plus silencieux, mieux suspendu, donc plus confortable pour les voyageurs et pour les riverains.

4° Libère la circulation privée des rails plus ou moins saillants sur la chaussée des chances d'embouteillages, etc.

5° Peut accoster le trottoir aux points d'arrêt.

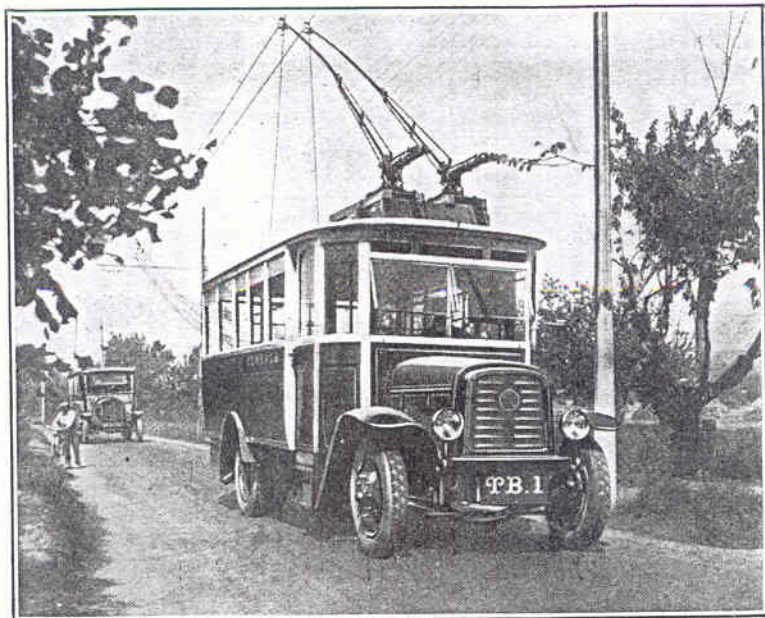
B) Par rapport à l'autobus :

1° Assure la force motrice à un prix bien inférieur à celui de l'essence.

2° Réalise une forte économie sur les frais d'entretien du mécanisme.

3° Présente moins de risques d'incendie.

4° N'incommode pas les voyageurs ou les passants par le bruit, les odeurs et les gaz nocifs.



(Vétra)

Fig. 575  
Trolleybus de la ligne Aubagne Gemenos.

Comme type de trolleybus, nous citerons celui construit par la Société Vétra qui a été mis en circulation sur la ligne Aubagne-Gemenos qui est le prolongement de la ligne de tramway Marseille-Aubagne. Les caractéristiques de cette voiture sont les suivantes :

1° Emploi d'un seul moteur.

2° Marche économique sans résistance pour des vitesses variant de 8 à 36 km/h en palier.

3° Freinage par récupération dans les descentes et lors des ralentissements.

4° Dispositif de contrôle commandé au pied pour laisser les deux mains libres au conducteur pour la direction.

L'aspect extérieur de la voiture (fig. 575) est le même que celui des autobus à essence; le moteur électrique est placé à l'avant du véhicule sous le capot et commande les roues arrière à l'aide d'un arbre à cardan (fig. 576). Le véhicule est freiné mécaniquement d'une part par un levier à main agissant sur les tambours des roues arrière et, d'autre part par une pédale commandant les quatre roues. Les bandages sont des pneumatiques, simples à l'avant, jumelés à l'arrière.

Le moteur employé est du type auto-ventilé compound pour permettre la récupération; on peut faire varier la vitesse en palier de 9 à 36 km/h uniquement par variation du champ et sans interposition de résistance.

Il y a lieu de remarquer que le véhicule étant isolé par rapport au sol par les pneumatiques, on est obligé d'avoir deux perches de prise de courant, une pour chaque polarité; en outre il pourrait arriver que le positif entre en contact avec le châssis, mettant celui-ci à une différence de potentiel de 550 V par rapport à la terre, ce qui serait un danger pour les voyageurs. Pour obvier à cet inconvénient, le châssis est relié au pôle négatif de l'équipement, si le positif se mettait à la masse du châssis il se produirait alors un court-circuit qui ferait sauter le fusible placé sur le positif (le négatif ne possède pas de coupe-circuit); on a prévu en outre un inverseur de polarité permettant de mettre toujours le négatif au châssis même dans le changement de sens de circulation du véhicule; cet inverseur est manœuvré à la main mais pour prévenir une fausse manœuvre, un relais polarisé a été branché aux bornes de l'inverseur côté équipement; lorsque la polarité est convenable, ce relais ferme les contacteurs connectant les perches à l'équipement, en outre le relais joue le rôle de minima de tension, de telle sorte que, si la perche négative vient à sauter, le relais coupe le courant d'alimentation.

La figure 577 montre la disposition des contacteurs et la figure 578 représente l'équipement électrique qui comporte :

- 1° Les 2 perches de prise de courant 1-2.
- 2° L'inverseur de polarité 3.
- 3° Un relais polarisé 5 agissant sur les 2 contacteurs 6 et 7.
- 4° Un interrupteur disjoncteur 8.
- 5° Un interrupteur de groupe fournissant le courant de contrôle 9.
- 6° Un fusible unipolaire sur le pôle + 10.
- 7° Un relais à maximum d'intensité 11.
- 8° Un relais à maximum de tension 12.

9° Un inverseur de marche 13.

10° Un contrôleur de commande 14, manœuvré au pied.

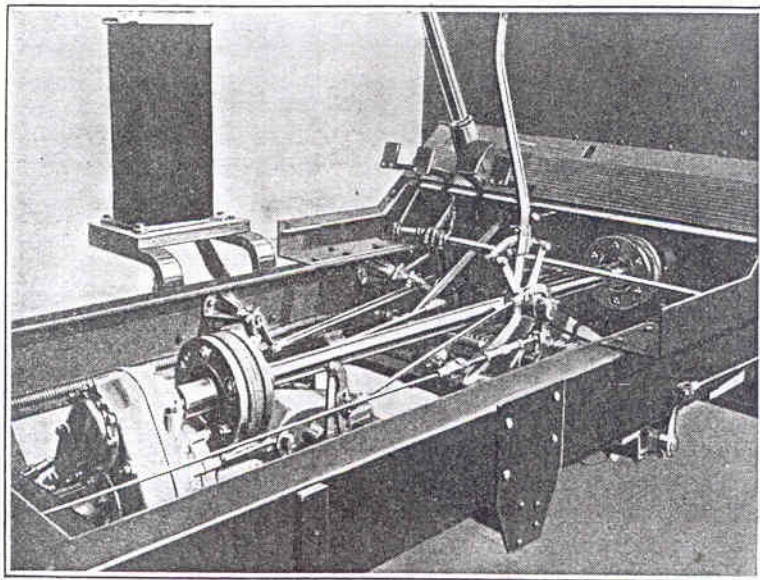
11° Un contrôleur dit accélérateur 15, commandé également au pied.

12° Un interrupteur de courant de contrôle 16, commandé par la pédale du frein mécanique.

13° Un voltmètre 17.

14° Un ampèremètre pour le circuit principal 18.

15° Une dynamo d'éclairage 19 à tension constante de 12 V fournissant le courant de contrôle et rechargeant les batteries d'accumulateurs.



(Vétra)

Fig. 576

Châssis d'omnibus à trolley — Détails de la partie mécanique.

*Fonctionnement.* — Le démarreur 14 qui sert à éliminer les résistances de démarrage, commence à fermer le circuit de maintien du contacteur principal de contrôle 22 et entre les positions 0 et 1 met le courant sur la bobine du contacteur; ce contacteur est tripolaire; le premier contact 23 sert d'interlock de maintien; le deuxième contact 24 alimente le circuit de contrôle et le troisième contact 25 envoie du courant dans les relais chronométriques 27, 28 et 29. Le circuit de l'interlock peut être coupé, soit par le contrôleur en position 0 soit par les relais de surintensité et de surtension, soit par la pédale du frein mécanique; si ce circuit se trouve coupé par l'un quelconque de ces appareils, on est obligé de remettre le contrôleur en position 0 pour réarmer le contacteur et démarrer à nouveau.

Les 3 résistances de démarrage 34, 35 et 36 sont court-circuitées progressivement par les contacteurs 31, 32 et 33 commandés respectivement par les relais chronométriques 27, 28 et 29. Les bobines des relais chronométriques sont branchées aux bornes du contacteur 30 et des contacteurs 31, 32 et 33; lorsque les bobines ne sont pas sous tension, les contacts sont donnés et ils sont interposés dans le circuit

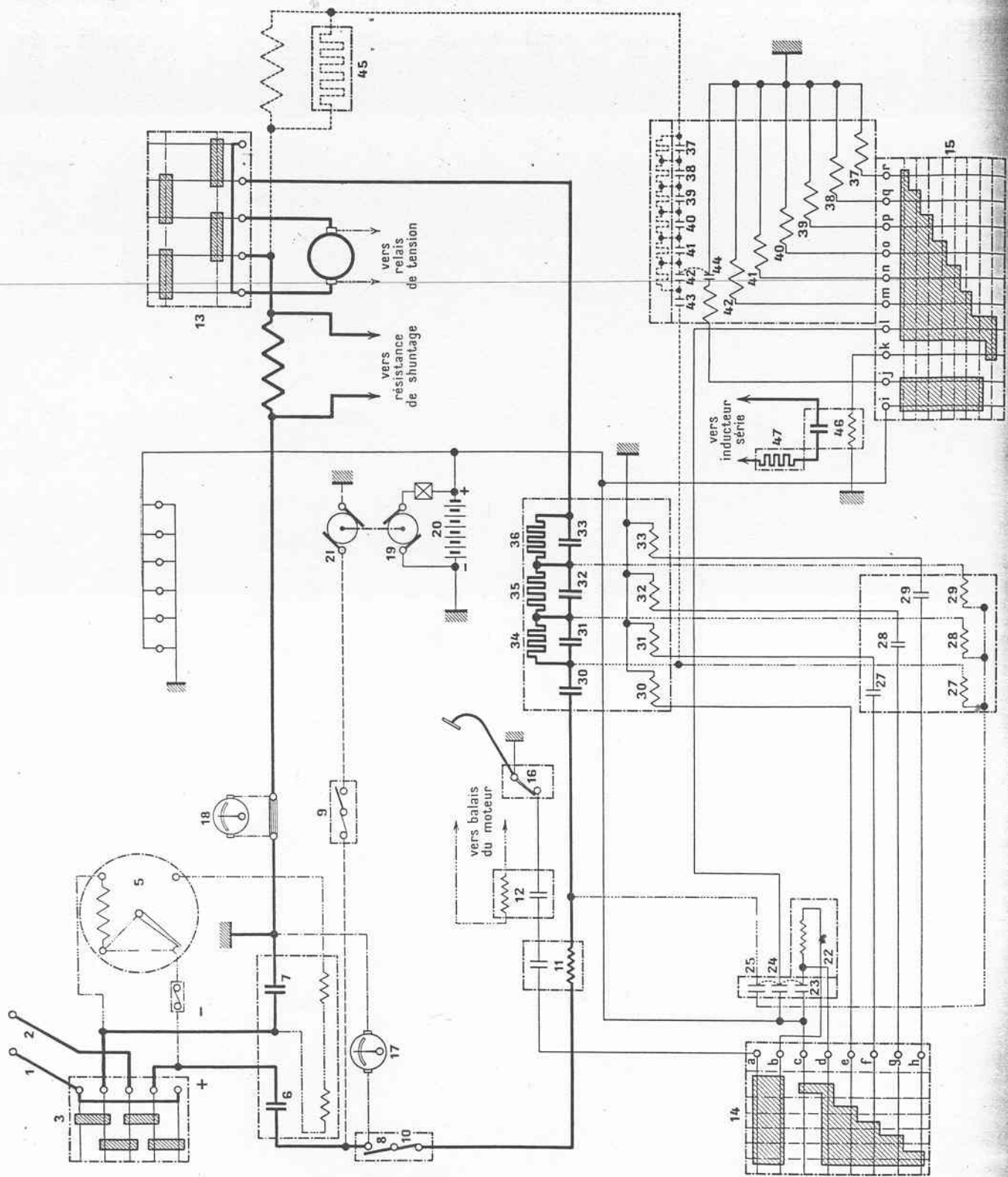
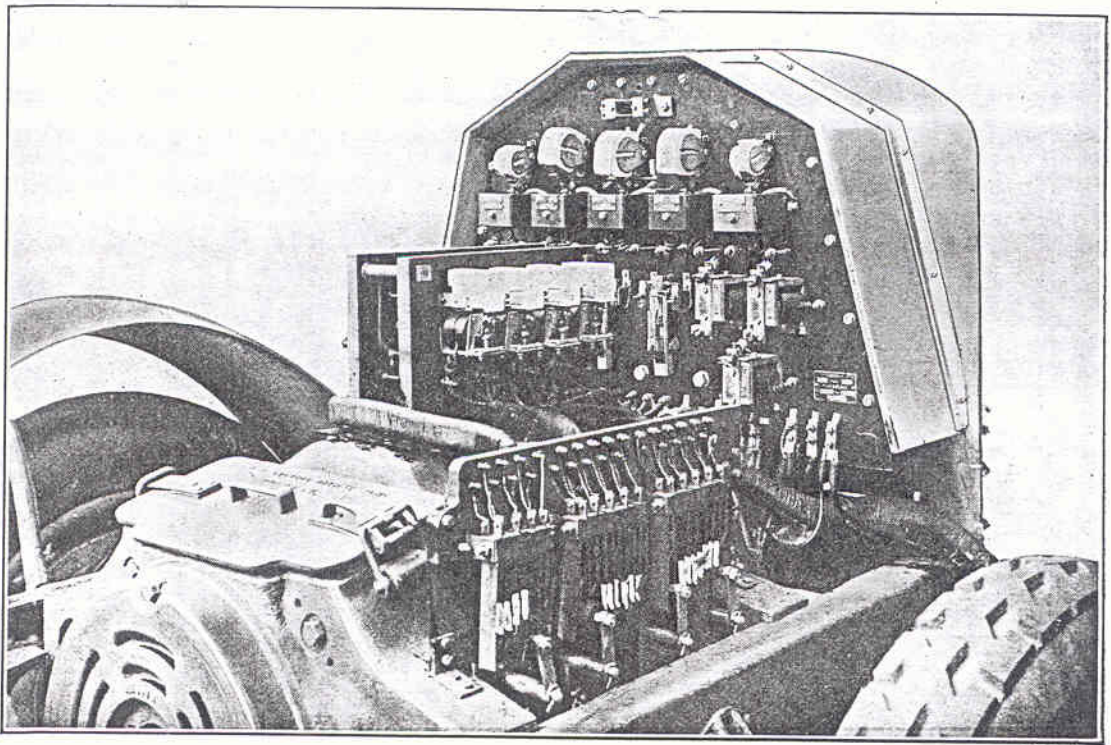


Fig. 578 — Omnibus à trolley — Schéma d'équipement.

(7 hrs.)



(Vétra)

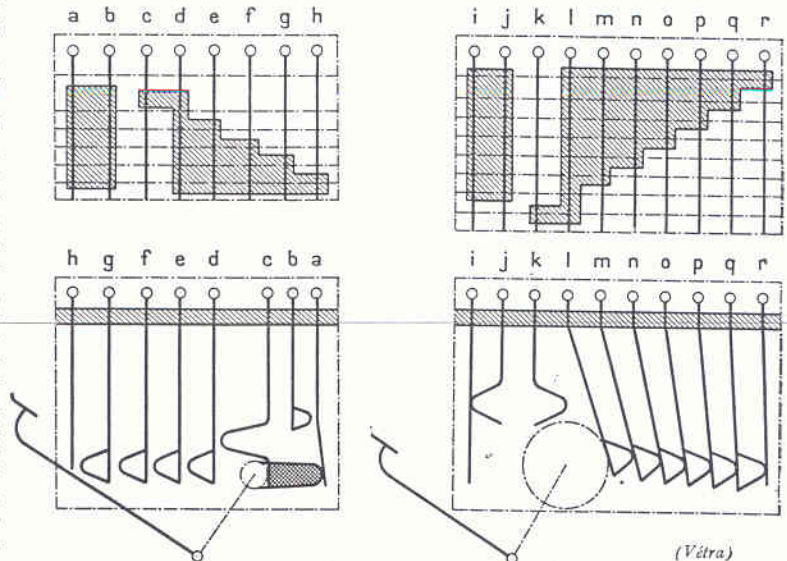
Fig. 577 — Omnibus à trolley — Panneaux des contacteurs.

des bobines des contacteurs 31, 32 et 33 qui court-circuitent les résistances de démarrage 34, 35 et 36.

Lorsque le courant de contrôle est remis sur le contacteur à triple contact, les bobines des relais chronométriques sont mises sous tension et les circuits des contacteurs shuntant les résistances sont coupés. Quand le contacteur principal 30 se ferme, la bobine du relais chronométrique 27 est mise en court-circuit et son armature, rappelée par l'action d'un ressort, vient fermer les contacts établissant le courant sur le contacteur 31; ce dernier shunte la résistance 34 mais, par suite de la self-induction de la bobine du relais chronométrique, le courant met un certain temps ( $4/10$  à 1 seconde) avant d'atteindre la valeur suffisante permettant à l'armature de se décrocher. Le contacteur 31 en se fermant, shunte la bobine du relais 28, ce qui entraîne la fermeture du contacteur 32 et le court-circuitage de la résistance 35 et du relais 29 et ainsi de suite.

On voit d'après le schéma, que si l'on arrête le démarreur sur une position 1 ou 2, on n'en shunte que les résistances correspondantes; mais si l'on manœuvre le démarreur complètement à fond, les relais chronométriques agissant, le court-circuitage des résistances ne s'opérera que progressivement.

Pour obtenir une accélération plus grande, on introduit progressivement par l'accélérateur des résistances dans le circuit shunt du moteur jusqu'à coupure de ce circuit puis shuntage des inducteurs série. Les résistances de champ sont mises en ou hors circuit par les contacteurs



(Vétra)

Fig. 579 — Omnibus à trolley contrôleur, démarreur, accélérateur.

37, 38, 39, 40, 41, 42 et 43. Ces contacteurs sont alimentés par le contacteur 22 exception faite du contacteur 43, qui est alimenté par un circuit pris avant le contacteur 22; de cette façon, si l'on coupe le circuit de contrôle, tous les contacteurs sont privés de courant sauf le



Fig. 580 — Trolleybus.

(Vétra)

contacteur 43; celui-ci est coupé par le contacteur 44 correspondant à la dernière résistance, ceci pour ne permettre la coupure du circuit d'excitation qu'après la mise en circuit de la dernière résistance. Pour éviter les étincelles au moment de la coupure du circuit shunt, on a branché une résistance de décharge 45 aux bornes des inducteurs shunt. Lorsque le circuit shunt est coupé, l'accélérateur envoie du courant de contrôle sur le contacteur 46 qui connecte aux bornes de l'inducteur série une résistance de shuntage 47.

Lorsque le circuit de contrôle se trouve coupé, soit par le démarreur, soit par l'interrupteur du frein mécanique, soit par le relais à maxima d'intensité, soit par le relais à maxima de tension, le contacteur à triple contact 22 n'est plus alimenté et le circuit d'alimentation du moteur est coupé.

Les contrôleurs sont constitués par des contacteurs à lamelles formées de ressorts en bronze qui viennent successivement en contact lorsqu'on appuie sur le premier. La figure 579 montre schématiquement la réalisation de ces appareils.

Le châssis comporte un levier de frein à main, une pédale de frein attaquée par le pied droit du conducteur, un inverseur de marche, une pédale de démarrage commandée par le pied gauche, une pédale d'accélération commandée par le pied droit et un interrupteur disjoncteur à portée de la main du machiniste.

L'éclairage de la voiture est assuré par une batterie d'accumulateurs de 12 V chargée par la génératrice de 330 W, 12 V qui fournit le courant de contrôle.

La figure 580 montre un type récent de trolleybus.