

NOTE

SUR

LA TRACTION ÉLECTRIQUE

DE LA

LIGNE DE VILLEFRANCHE-VERNET-LES-BAINS A BOURG-MADAME

Par MM.

E. JULLIAN,

INGÉNIEUR EN CHEF ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION

AUX CHEMINS DE FER DU MIDI.

J. LHERIAUD,

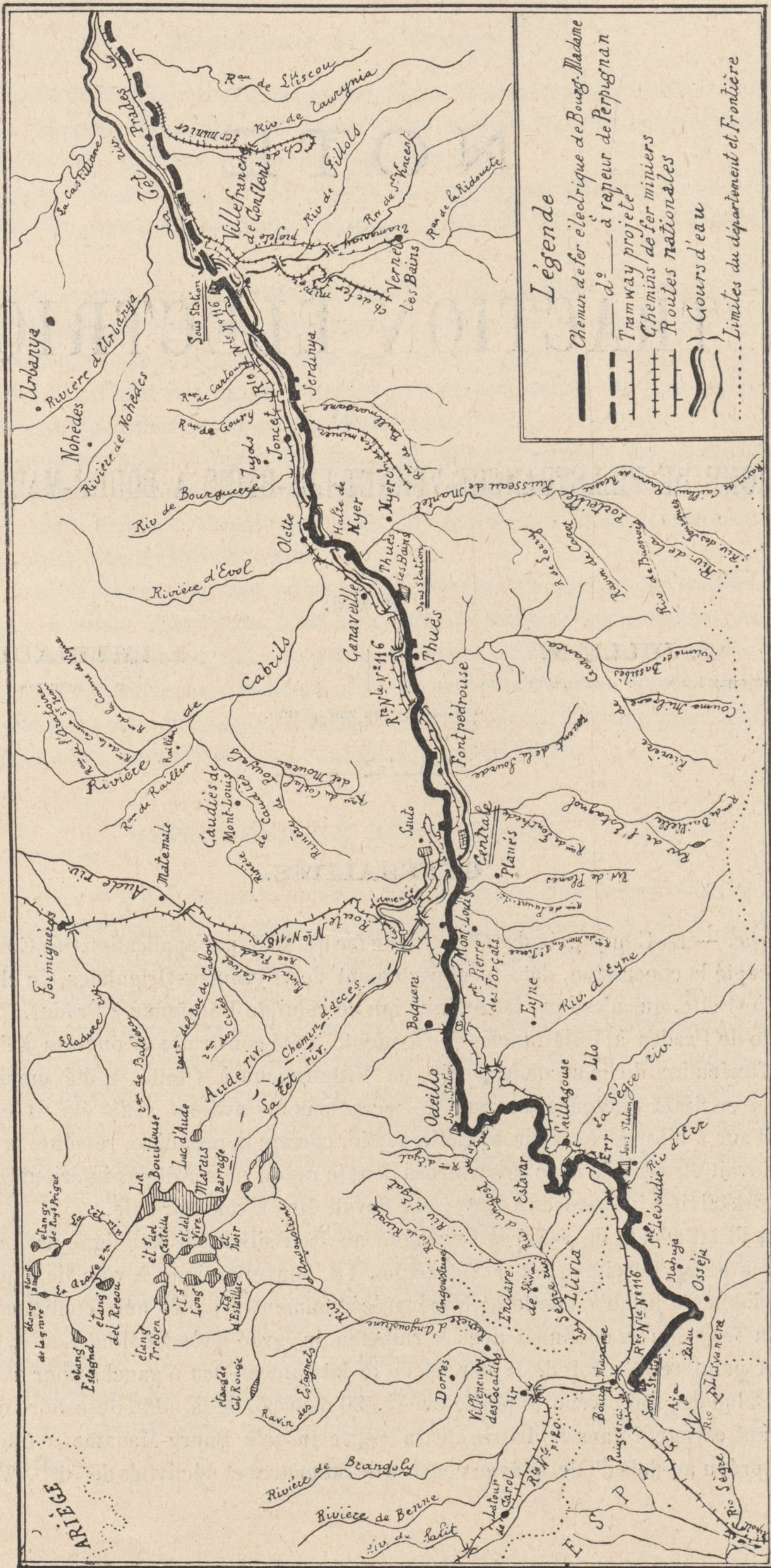
CHEF DE TRACTION

GÉNÉRALITÉS.

Historique. — La Compagnie des Chemins de fer du Midi, par application des Conventions de 1883, a accepté la concession, dans le département des Pyrénées-Orientales, du chemin de fer de Prades à Olette, qui n'est que la continuation de celui de Perpignan à Prades. Une première partie, celle de Prades à Villefranche-de-Conflent, a été construite et ouverte à l'exploitation en 1895; l'exécution de la seconde partie, de Villefranche à Olette, a été menée avec peu d'activité et en 1902 quelques travaux de terrassements avaient seuls été exécutés jusqu'à Joncet, soit sur 7 kilomètres environ. Cette partie, comme la première, remonte la vallée de la Têt; elle devait être tracée avec des courbes dont le rayon ne serait pas inférieur à 300 mètres et avec des déclivités inférieures à 22^{mm}; elle devait être à voie normale.

En 1902, l'Etat décida de relier la Cerdagne au Roussillon par une ligne prolongeant celle existant déjà entre Perpignan et Villefranche. La nouvelle ligne à voie de 1 mètre devait suivre sensiblement jusqu'à Olette le tracé précédemment projeté, puis continuer à suivre la vallée de la Têt jusqu'au confluent avec le ruisseau du Jardo (près de Mont-Louis), se diriger à partir de ce point vers le col de la Perche en le laissant un peu à gauche pour atteindre, à la station de Bolquère, son niveau le plus élevé (1.590 mètres), de là enfin descendre en Cerdagne sur le versant espagnol dans le bassin de la Sègre jusqu'à Bourg-Madame, son terminus. Ce tracé était prévu au-delà d'Olette avec courbes de 80 mètres et déclivités de 70^{mm}. (Voir Fig. 1).

Fig. 1.



La concession de cette ligne fut offerte à la Compagnie des Chemins de fer du Midi qui procéda à l'examen des conditions dans lesquelles pourrait se faire la traction des trains et étudia concurremment les deux solutions de la traction électrique et de la traction à vapeur. Elle reconnut qu'en adoptant un tracé approprié, facilement réalisable d'ailleurs, ne comprenant qu'une section à forte déclivité qui serait franchie au moyen d'une crémaillère, la traction à vapeur serait sensiblement plus économique que la traction électrique.

Pour des raisons d'ordre administratif, l'Etat fut d'avis qu'il fallait avoir recours à la traction électrique, en prenant l'énergie à une usine hydro-électrique, et, pour compenser les dépenses supplémentaires d'exploitation que la Compagnie des Chemins de fer du Midi aurait ainsi à subir, il se montra disposé à prendre à sa charge les dépenses de premier établissement, relatives à la constitution du réservoir en haute montagne, à l'amenée de l'eau jusqu'aux turbines (y compris les conduites forcées), ainsi que celles relatives à l'établissement des lignes à haute tension et de travail pour la distribution de l'énergie électrique. La Compagnie des Chemins de fer du Midi ne devait fournir que la machinerie des usines et sous-stations, le matériel moteur et roulant et contribuer enfin, jusqu'à concurrence de 12.500 fr. par kilomètre aux dépenses de construction du chemin de fer; elle serait en outre autorisée à appliquer les prix de transport à des distances virtuelles doubles des distances effectives par rails sur la section d'Olette à Bourg-Madame.

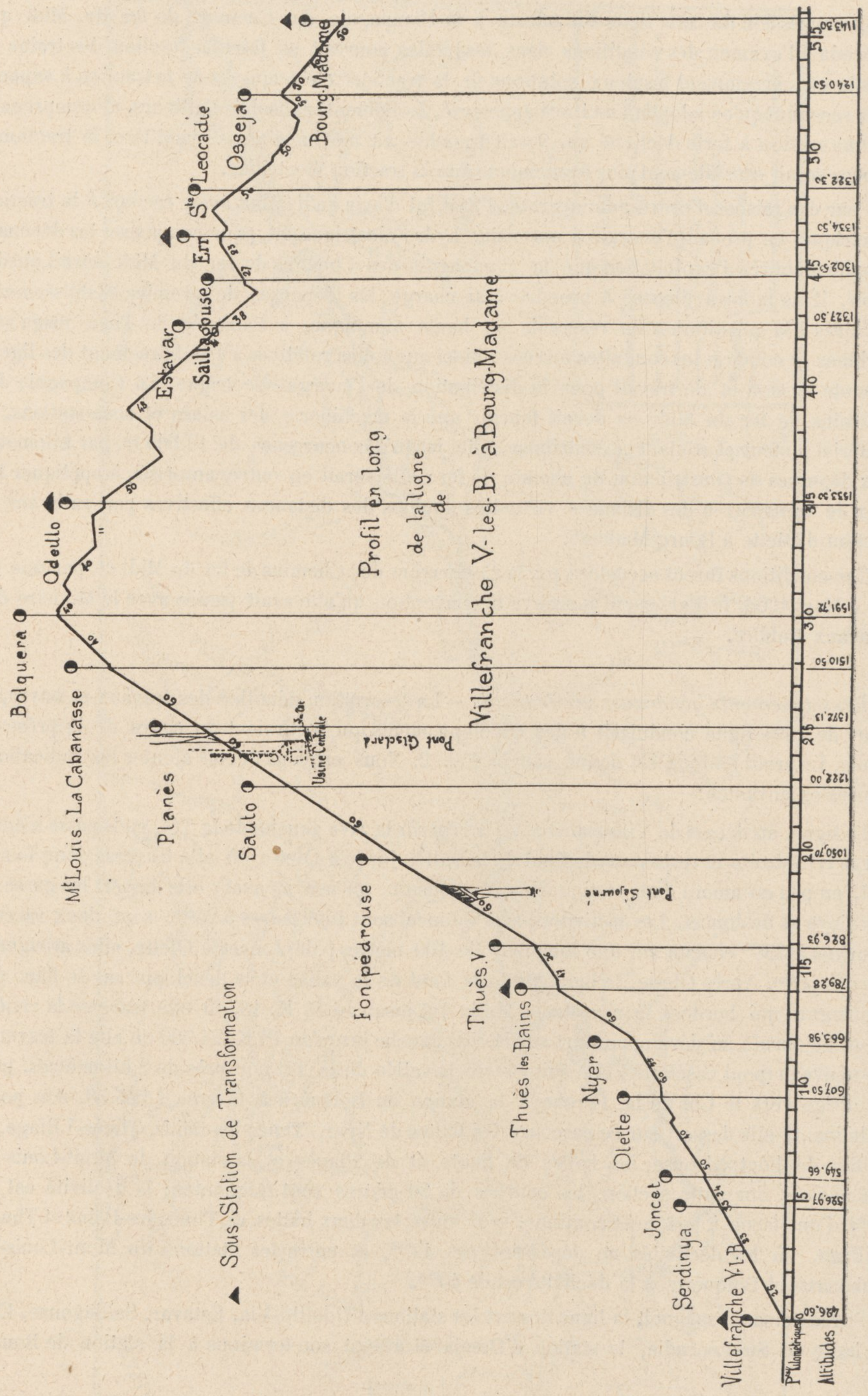
Ces conditions furent acceptées par la Compagnie des Chemins de fer du Midi et, par une loi du 4 Mars 1903, le Parlement approuva la convention qu'elle avait passée avec le Ministre des Travaux Publics.

Renseignements généraux sur le tracé. — La description détaillée des travaux et ouvrages d'art de cette ligne conduirait à des développements qui sortiraient du cadre de la présente étude. Le profil en long est donné par la Fig. 2. Nous croyons devoir ajouter les indications générales suivantes :

La ligne, au départ de Villefranche, se trouve sur la rive gauche de la Têt, mais passe bientôt sur la rive droite et reste dans le fond de la vallée jusqu'à Olette où elle traverse deux fois la Têt, un peu en amont de la station d'abord et ensuite un peu en aval; elle dessert les gares de Serdinya et de Joncet. Les déclivités jusqu'à Joncet sont inférieures à 25^{mm}, sauf deux raccourcissements à 33^{mm} chacun sur une longueur de 100 mètres; de Joncet à Olette, elles atteignent parfois 50^{mm}. Après Olette, la ligne quitte le fond de la vallée et se développe sur le flanc des montagnes qui bordent la rive droite de la Têt jusqu'au P. K. 18, où elle traverse la rivière (pont Séjourné), se développe alors sur la rive gauche jusqu'au P. K. 24.500 où elle la traverse de nouveau (pont Gisclard); elle suit encore la vallée de la Têt sur près de 2 kilomètres, puis se dirige vers le Col de la Perche à la station de Bolquère à la cote 1.585,58, son point culminant; elle dessert sur ce parcours les haltes de Nyer, Thuès-les-Bains, Thuès-Village, la station de Fontpédrouse, les haltes de Sauto et de Planès et la station de Mont-Louis-la-Cabanasse. Sur cette section, les courbes de 80 mètres sont fréquentes; la déclivité est de 60^{mm} d'une façon à peu près continue, sauf entre les deux haltes de Thuès-les-Bains et Thuès-Village, où les déclivités ne dépassent pas 47^{mm}, et entre les stations de Mont-Louis-la-Cabanasse et Bolquère où la déclivité est de 40^{mm}.

Sur le versant espagnol, la ligne dessert les stations d'Odeillo-Via, Estavar, Saillagouse, Err, la halte de Ste-Léocadie, la station d'Osseja et atteint son terminus à la station de Bourg-

Fig. 2.



Madame à la cote 1.143,30; les déclivités n'y dépassent pas 50^{mm}, mais le rayon des courbes y descend fréquemment à 80 mètres.

Composition des trains. — A la suite de l'étude commerciale que fit la Compagnie des Chemins de fer du Midi, il fut décidé que l'exploitation serait faite au moyen de trains mixtes de voyageurs et de marchandises dont le poids, automotrices comprises, pourrait atteindre 120 tonnes dans le sens Villefranche Bourg-Madame et 140 tonnes dans le sens inverse; le nombre des trains devait être au minimum de 3 dans chaque sens; mais il était prévu que des trains spéciaux de voyageurs et de marchandises circuleraient suivant les besoins. Un peu avant l'ouverture à l'exploitation, il fut décidé que la charge de 140 tonnes dans le sens de Bourg-Madame à Villefranche serait abaissée à 120 tonnes.

Choix du courant. — Les études de cette électrification remontent à 1903; à cette époque, on parlait à peine des moteurs à courant monophasé à collecteurs, et il n'était pas possible de baser un projet sur leur utilisation.

L'utilisation des courants triphasés a été examinée; il fut d'abord reconnu qu'ils permettraient difficilement de réaliser la gamme des vitesses désirable pour tirer le meilleur parti des variations importantes du profil; mais ce fut surtout la complication du réseau et des aiguillages aériens dans les gares qui y fit renoncer. Les inconvénients de cette complication étaient aggravés par ce fait que la Compagnie des Chemins de fer du Midi prévoyait, d'une part, l'électrification de la Section de Perpignan à Villefranche-de-Conflent, d'autre part, la construction d'un transpyrénéen à traction électrique qui comporterait près de Bourg-Madame une gare internationale, sillonnée par des voies françaises à écartement normal et à écartement de 1^m,000 et par des voies espagnoles à écartement de 1^m,736.

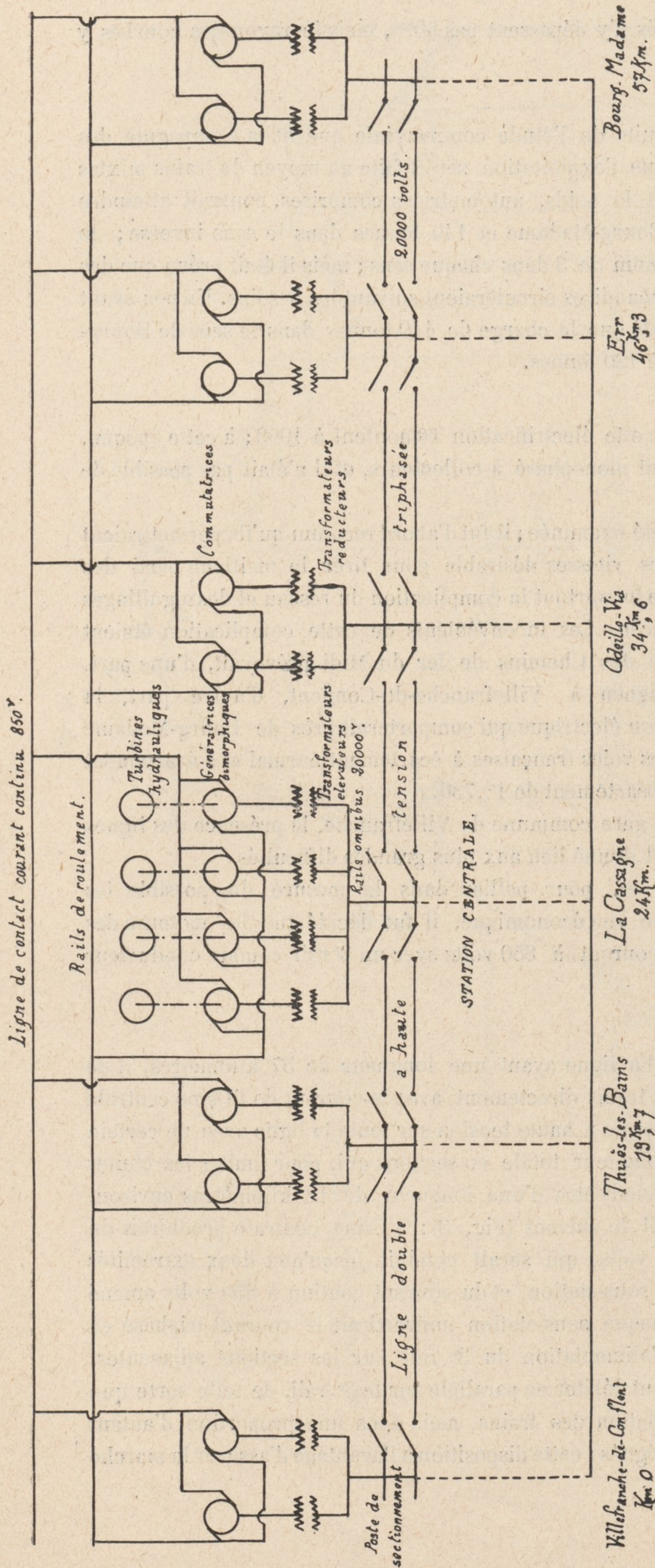
Dans la gare internationale et dans la gare commune de Villefranche, la présence des lignes à double fil pour courants triphasés aurait donné lieu aux plus grandes difficultés.

Le courant continu fut donc choisi et, pour pallier dans la mesure du possible les inconvénients qu'il présentait au point de vue économique, il fut décidé que les moteurs des automotrices seraient alimentés par du courant à 850 volts avec un 3^e rail comme conducteur d'alimentation.

Programme de la distribution. — La ligne ayant une longueur de 57 kilomètres, il ne pouvait pas être question d'alimenter les trains directement avec le courant de l'Usine centrale et il fallait prévoir une distribution d'énergie à haute tension sur toute la ligne avec un certain nombre de sous-stations partageant la longueur totale en sections qui, pour limiter les chutes de tension à une valeur acceptable, devaient être d'une longueur de 12 kilomètres environ.

Le programme de la distribution était le suivant (Fig. 3): l'Usine centrale produirait du courant triphasé à haute tension 20.000 volts, qui serait conduit jusqu'aux deux extrémités de la ligne avec dérivations sur chaque sous-station, et du courant continu à 850 volts amené au 3^e rail par un feeder spécial; chaque sous-station convertirait le courant triphasé en courant continu à 850 volts destiné à l'alimentation du 3^e rail sur les sections adjacentes. D'ailleurs, toutes les sous-stations devaient débiter en parallèle sur le 3^e rail, de telle sorte que chacune d'elles put coopérer à l'alimentation des trains, mais dans une proportion d'autant moindre que ceux-ci en seraient plus éloignés; cette disposition a l'avantage d'assurer la marche

Fig. 3.



des trains même si un accident se produit à la sous-station la plus proche et en outre, ainsi que cela sera indiqué plus loin, de pouvoir faire démarrer par le côté continu les commutatrices des sous-stations pendant tout le temps que l'Usine centrale débite sur le 3^e rail.

Détermination de la puissance de l'Usine centrale et des sous-stations. — Pour déterminer la puissance des groupes de l'Usine centrale, on a admis, d'une part, que trois trains de 120 tonnes pourraient circuler simultanément se dirigeant vers le sommet de la ligne, deux compris entre Villefranche et Mont-Louis et un circulant entre Mont-Louis et Bourg-Madame ; pour déterminer la puissance des sous-stations, il a été admis que deux trains montants se suivant à 10' d'intervalle pourraient se trouver en même temps entre deux sous-stations voisines.

Sans donner tout le détail des calculs, nous dirons qu'ils consistaient à déterminer pour chaque train la puissance nécessaire à la jante des roues pour assurer la remorque sur les divers points de son parcours à la vitesse prévue ; de diviser cette puissance par le rendement des moteurs et de l'équipement des voitures ; de partager cette puissance en deux parties inversement proportionnelles aux distances du train aux deux sous-stations immédiatement voisines et de porter au compte de chacune de ces deux sous-stations la part qui lui revenait majorée de la perte ohmique produite dans le troisième rail entre le train et la sous-station ;

on négligeait ainsi l'apport des sous-stations situées au-delà de celles qui limitaient la section considérée, mais cela n'altérerait pas sensiblement le résultat final.

Cette détermination faite de 2 minutes en 2 minutes pour les trains prévus au graphique permettait de construire pour chaque sous-station la courbe des puissances à fournir pendant la journée. En totalisant les abscisses partielles divisées d'abord par le rendement des groupes de la sous-station et augmentées de la perte en ligne sur la ligne à haute tension, on obtenait la courbe des puissances à l'Usine aux bornes des dynamos : on en déduisait facilement la courbe de la puissance demandée aux turbines.

Cette étude a conduit à fixer comme suit la constitution de l'Usine centrale et des sous-stations :

Usine centrale : 4 groupes de 1.000 kilowatts chacun, dont un de réserve ;

Sous-stations : 2 groupes de commutatrices de 850 kilowatts chacun, dont un de réserve.

Il est intéressant de signaler que les puissances relevées en pratique pendant l'exploitation ont concordé très approximativement avec celles déterminées à priori par la méthode qui vient d'être indiquée.

DESCRIPTION DES INSTALLATIONS FIXES

I. — Distribution du courant

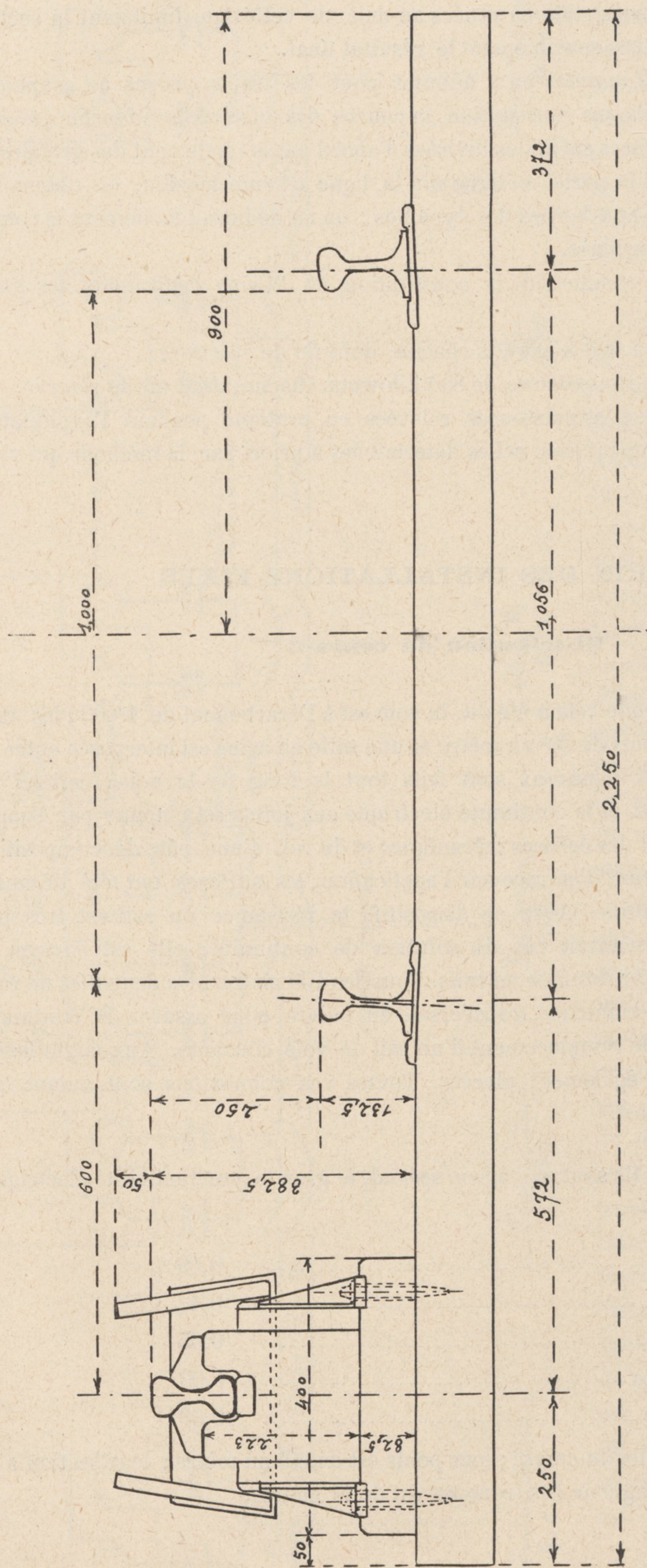
Voie de roulement. — Ainsi que cela a été dit, la voie est à l'écartement de 1^m,00 ; les rails sont en acier type Vignole du poids de 30^k au mètre et une selle en acier est interposée entre le patin et la traverse ; des ancrages nombreux sont faits tout le long de la voie ; celle-ci est utilisée pour le retour du courant, et la continuité électrique aux joints est obtenue par l'application sur les surfaces en contact des éclisses mécaniques et du rail d'une pâte de composition spéciale (pâte Brown-Boveri) ; avant d'en recevoir l'application, les surfaces ont été décapées soit au jet de sable, soit au grattoir. Avec ce dispositif, la résistance du rail est très peu supérieure à celle d'un rail qui n'aurait pas de solution de continuité ; elle est environ de 0^m,0322 par kilomètre sur chacune des files de rails. Tous les 100 mètres, les deux files de rails sont reliées en parallèle par une connexion transversale en cuivre pour assurer la continuité électrique en cas de rupture ou de remplacement d'un rail de voie courante. Aux aiguillages, des connexions semblables sont également placées. Toutes ces connexions sont, autant que possible, dissimulées sous le ballast.

Rails de prise de courant. — Ils sont en acier spécial, à grande conductibilité électrique, présentant la composition ci-après :

Carbone	0,09 %
Manganèse.....	0,42
Soufre	0,05
Silicium	0,09
Phosphore.....	0,03

Leur résistivité est de 7 fois celle du cuivre ; leur poids est de 39^k au mètre ; leur section a la forme double champignon ; la longueur des tronçons est de 11 mètres.

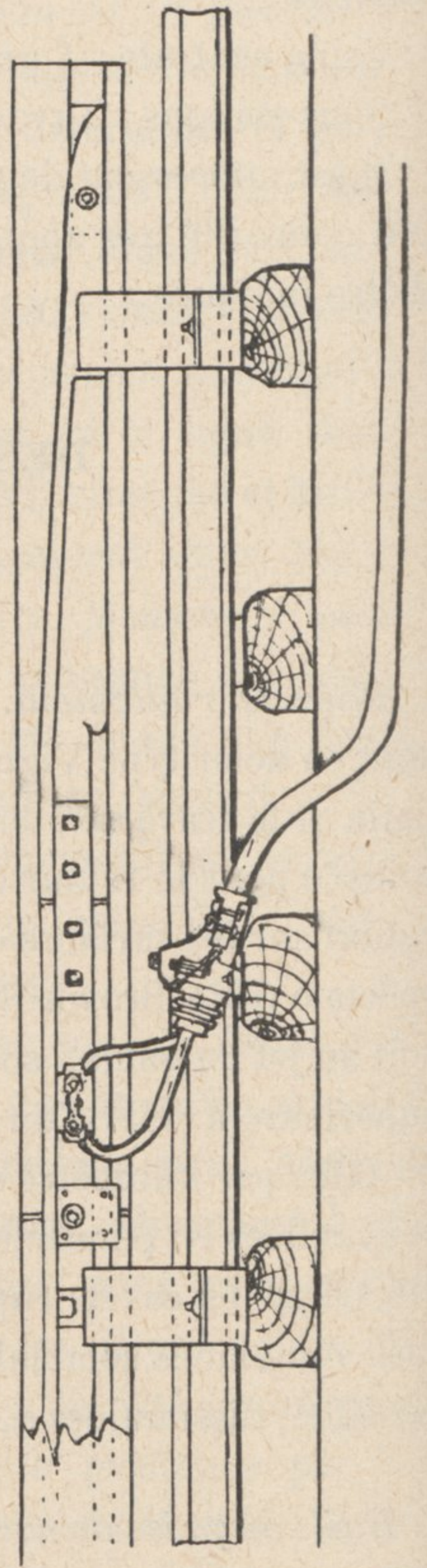
Fig. 4.



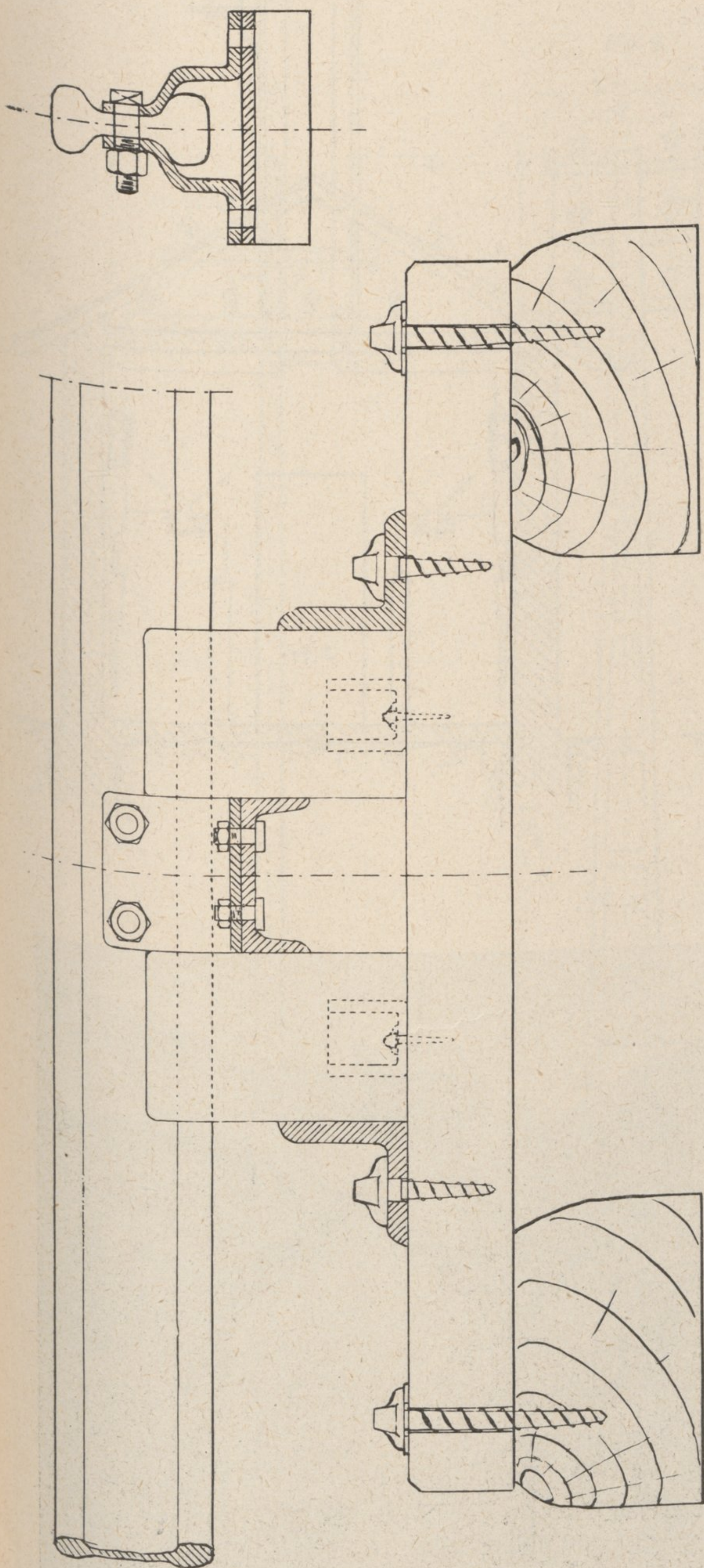
La continuité électrique est assurée par l'interposition de pâte Brown-Boveri entre les éclisses mécaniques et les rails.

Le rail de prise de courant est supporté tous les trois mètres environ par des isolateurs en grès vernissé posés

Fig. 5.



simplement sur des tasseaux en bois créosoté fixés sur les traverses de la voie au moyen de tirefonds (Voir Fig. 4). Il présente de nombreuses solutions de continuité mécanique: les passages à niveau, les aiguillages, les obstacles de



toute nature le divisent naturellement en plusieurs sections. Chaque section se termine à ses deux extrémités par un plan incliné en fonte (Fig 5) qui facilite la descente et la montée des frotteurs des automotrices ; lorsque les sections sont longues ou lorsqu'elles comportent de nombreuses courbes, les variations de température pourraient faire subir d'importantes déformations au rail ; pour y obvier des joints de dilatation en nombre suffisant y sont intercalés ; dans certains cas, il a même fallu flanquer les isolateurs en grès de petites équerres de butée perpendiculaires à la voie s'opposant au renversement de l'isolateur ; dans les fortes déclivités, pour éviter son cheminement le 3^e rail est fixé aux traverses au moyen d'ancrages (Fig. 6). Deux sections consécutives sont reliées électriquement par un câble armé connecté aux extrémités du rail et enfoui dans le sol (Fig. 5).

Aux abords des passages à niveau, dans les gares et partout où le public peut approcher du rail de prise de courant, celui-ci est flanqué de part et d'autre de protecteurs en bois ou en fibro-ciment (Fig. 4).

La résistance ohmique du 3^e rail est de $0\omega,027$ par kilomètre.

Ligne à haute tension. — Elle est presque en entier établie dans les emprises du chemin de fer. Lorsque des tunnels se présentent, la ligne passe au-dessus ou par côté ; toutefois, dans certains cas, lorsque le fichage des poteaux présentait de sérieuses difficultés ou lorsque la ligne traversait des régions où des avalanches de neiges étaient à craindre, la traversée des tunnels a été faite au moyen de câbles armés passant sous le tunnel

Fig. 7.

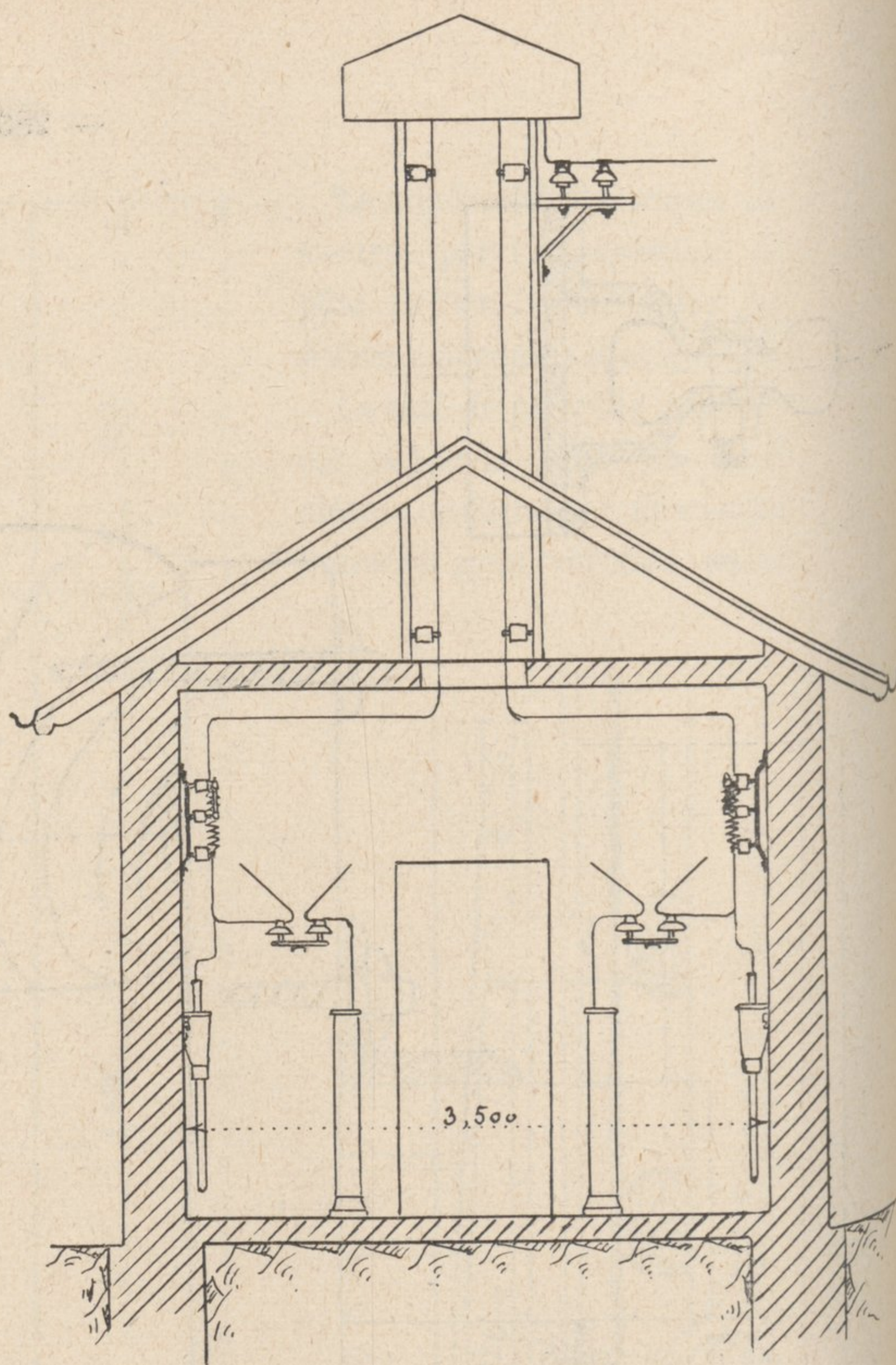
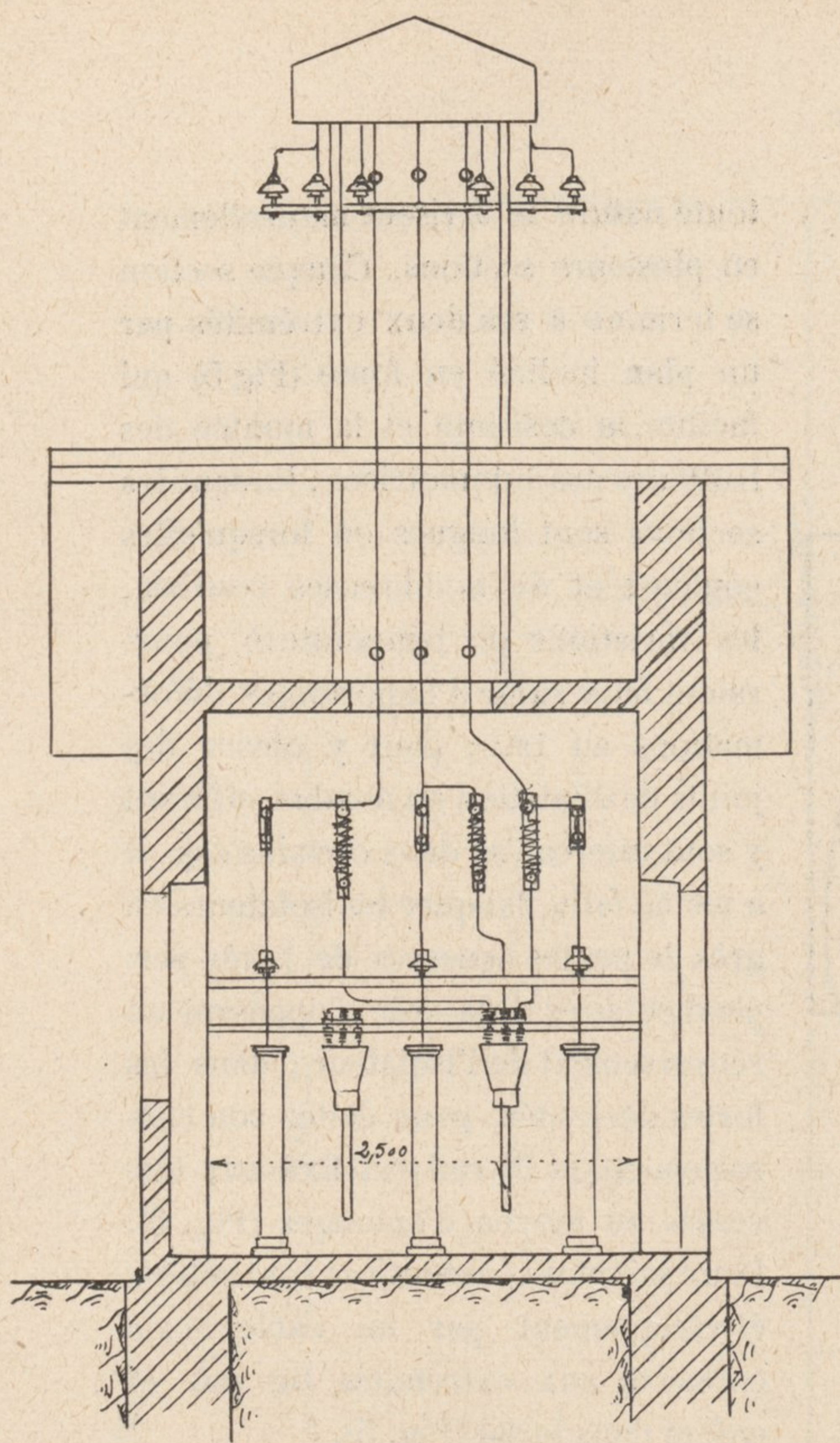
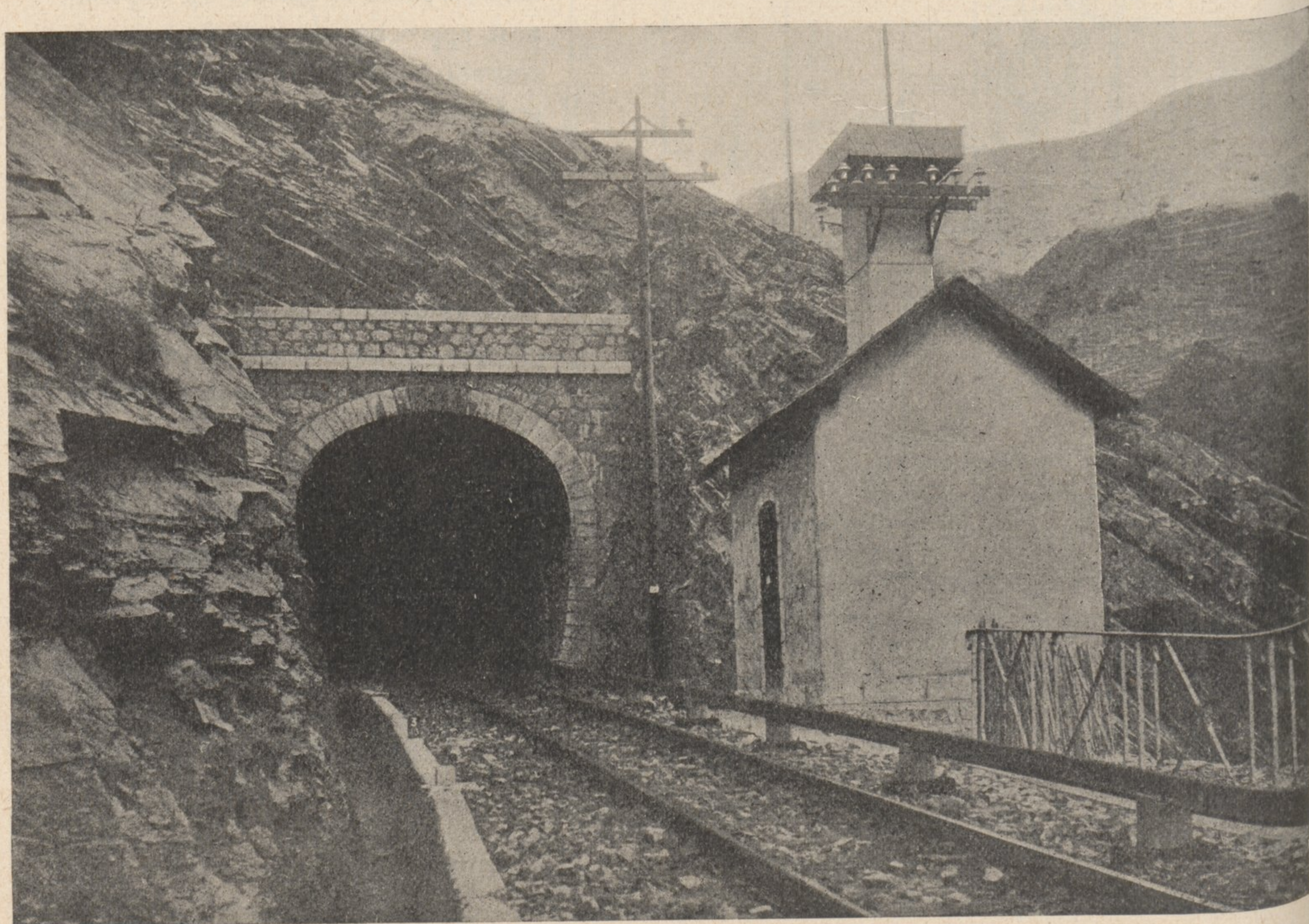
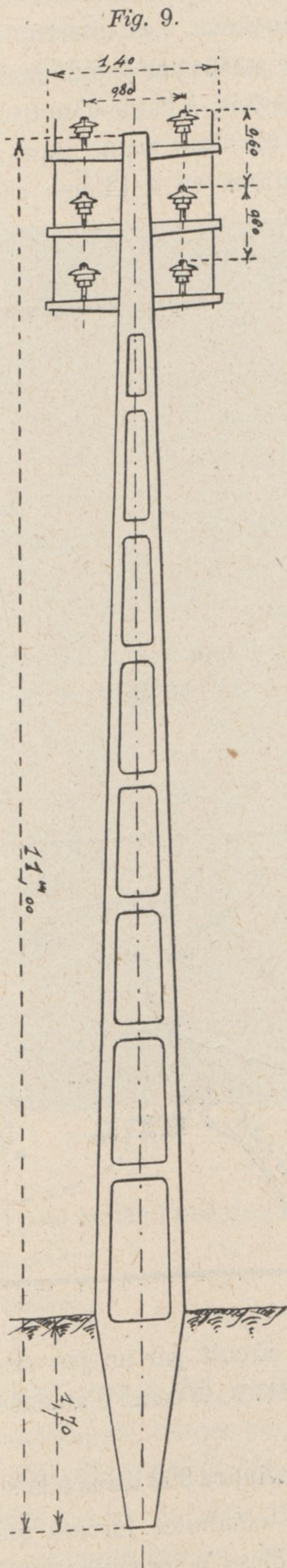
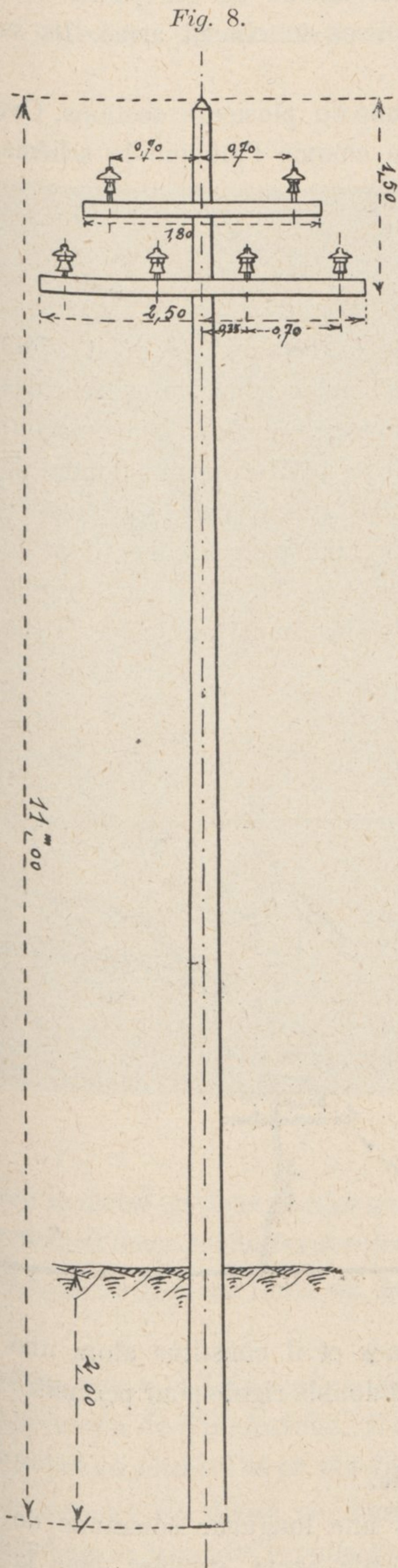


Fig. 7bis.





avec interposition entre les lignes aériennes et souterraines, de cabines de sectionnement munies de parafoudres et limiteurs de tension (Fig. 7 et 7 bis).

Entre Bourg-Madame et l'Usine centrale, la ligne est constituée par 6 câblots en bronze silicieux de 10mm^2 de section ; ces câblots reposent sur des isolateurs triple cloche en porcelaine montés sur deux traverses en chêne créosoté horizontales fixées au sommet de poteaux en bois sulfaté et groupés par trois de part et d'autre du poteau formant un triangle équilatéral de 0,70 de côté (Fig. 8) ; la distance entre poteaux est de 35 mètres sur alignements, mais en courbe cette distance est notablement réduite.

Les poteaux sont munis de ronces artificielles et d'un placard en tôle mentionnant qu'il y a danger de mort à toucher les fils même traînant à terre.

Entre l'Usine centrale et Villefranche, la ligne avait d'abord été constituée comme dans la partie qui vient d'être décrite, mais elle dut être renforcée en vue d'essais de traction monophasée entre Villefranche et Perpignan. Elle comprend en réalité deux lignes : l'une composée de 3 câblots en aluminium de 70mm^2 de section, l'autre de 3 câblots en aluminium de 30mm^2 de section ; celle-ci est au point de vue de la conductibilité équivalente à la ligne en fils de bronze silicieux.

Sur cette partie du réseau, les poteaux en bois ont été remplacés par des pylônes en ciment armé (voir Fig. 9).

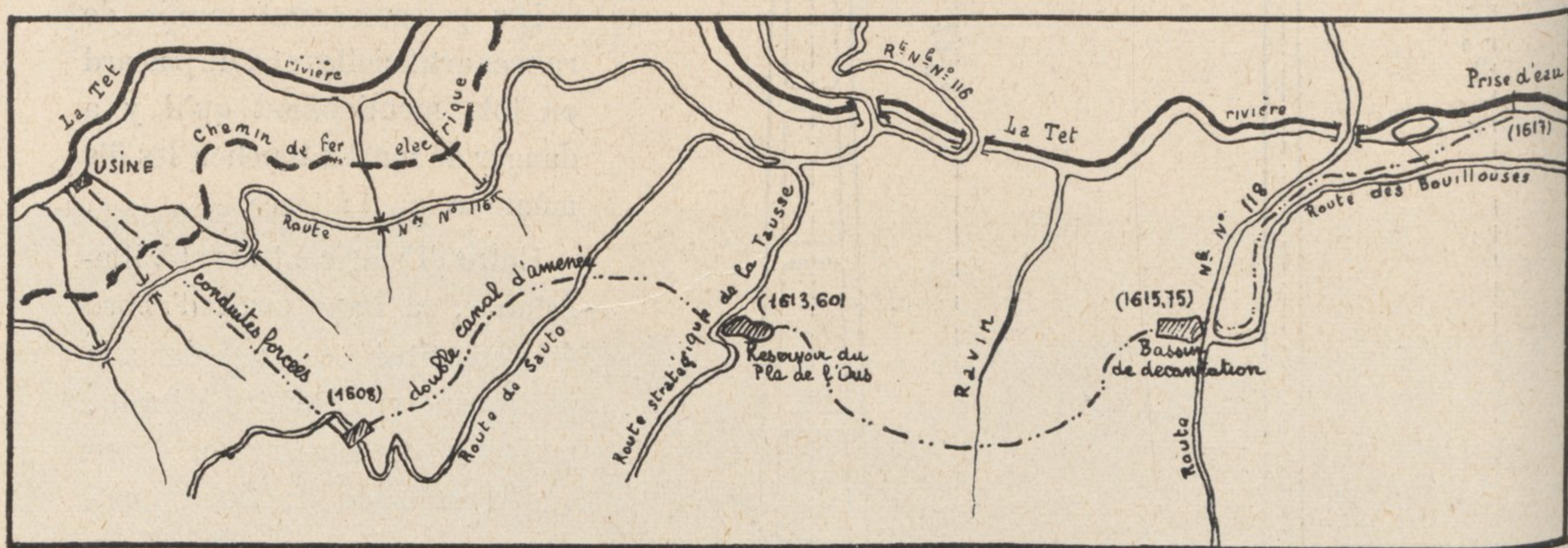
A l'entrée de l'Usine centrale et au droit de chacune des sous-stations, la ligne à haute tension aboutit à un poste aérien de sectionnement. Les interrupteurs de chacun de ces postes sont montés sur une charpente métallique portée par 4 pylônes en bois ou en ciment armé. Ils se manœuvrent par groupe de trois, à la fois, à l'aide d'un treuil.

Il est possible ainsi d'isoler les 3 fils d'une même ligne sur une ou plusieurs sections. Ces sections sont limitées aux sous-stations ou à l'Usine centrale comme l'indique le schéma (Fig. 3).

II. — Usine centrale

Partie hydraulique. — L'Usine est alimentée par les eaux de la Têt dont le débit a été régularisé par un bassin de 13.500.000 mètres cubes créé sur l'emplacement du marais des Bouillouses à la cote 2.000 environ. La retenue de l'eau y est assurée par un barrage en maçonnerie de 400 mètres de longueur. L'eau de la Têt est dérivée à la cote 1617 un peu en amont de la ville forte de Mont-Louis et conduite par un canal d'amenée d'une longueur de 5 kilomètres environ à un bassin de charge (bassin de Sauto) d'une capacité de 2.600 mètres cubes dont le déversoir est arrasé à la cote 1.608. Sur les trois premiers kilomètres, le canal est à rigole simple et alimente deux bassins de décantation dont le dernier, le plus important, celui du Pla de Lous, a une capacité de 12.000 mètres cubes (Fig. 10).

Fig. 10.



Chaque bassin peut être mis hors circuit par un jeu de vannes et il constitue alors une réserve. Sur les deux derniers kilomètres, le canal d'amenée est à double rigole pour permettre le nettoyage et l'entretien.

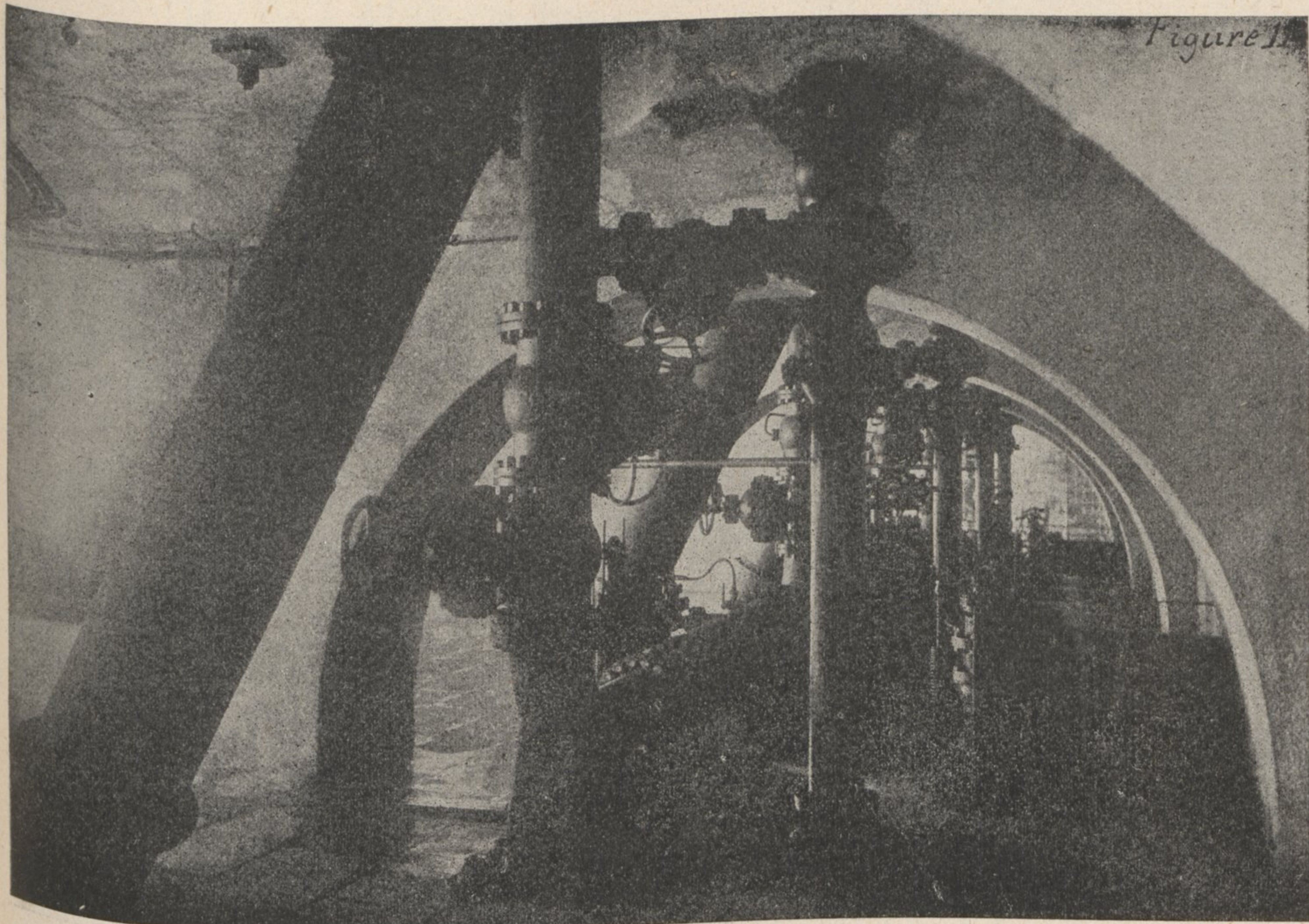
Le débit du canal d'amenée peut atteindre 900 litres à la seconde.

Du bassin de charge partent quatre conduites forcées qui ont une longueur commune de 1.001 mètres. Elles sont formées de tôles d'acier rivées dans la partie haute, soudées dans la partie basse. Leur diamètre intérieur est de 400 millimètres. Afin de les soustraire aux variations de température importantes dans cette région, on les a enfouies dans le sol jusqu'à l'Usine où elles pénètrent dans le sous-sol et s'y terminent par un robinet-vanne aboutissant à un collecteur; un peu à l'amont de ce robinet-vanne, la conduite est munie d'une tubulure

portant un sac à gravier avec dérivation latérale permettant une chasse directe dans la rivière.

Le collecteur est constitué par un fort tuyau horizontal ; un robinet-vanne placé en son

Fig. 11.



milieu le divise en deux parties que l'on peut isoler l'une de l'autre et sur chacune desquelles débouchent deux conduites forcées (Fig. 11).

La hauteur de chute brute est de 421 mètres.

Bâtiments. — L'Usine est située sur le bord de la Têt, près du hameau de la Cassagne, à 24 kilomètres de Villefranche, à une centaine de mètres au-dessous de la voie ferrée. Elle comprend un sous-sol et un rez-de-chaussée (Fig. 12 et 12 bis).

Le sous-sol est divisé en deux parties ; dans la plus grande où les conduites forcées débouchent se trouvent le collecteur des conduites forcées, les appareils de vannage pour la distribution et la régulation des turbines ; dans l'autre se trouvent les transformateurs-élévateurs.

Le rez-de-chaussée ne comporte qu'une grande salle dont le sol est occupé par les groupes électrogènes et le tableau à basse tension. Au mur du pignon côté Villefranche est adossé le

bureau surélevé du chef d'Usine ; contre le pignon côté Mont-Louis se trouvent les niches et les divers étages contenant l'appareillage et les départs de la haute tension.

Un pont roulant de 10 tonnes dessert le rez-de-chaussée dans toute sa longueur.

Fig. 12.



Groupes électrogènes. — Ils sont au nombre de 4 constitués chacun par une turbine hydraulique avec ses divers régulateurs, une dynamo dimorphique et un transformateur-élévateur.

Les *turbines* sont à libre déviation, genre Pelton, d'une puissance de 1.500 chevaux.

La capote et la roue de la turbine sont entièrement en saillie sur le parquet de la salle des machines et l'eau y est amenée par une colonne montante branchée sur le collecteur ; un robinet-vanne permet d'isoler ou d'alimenter la turbine.

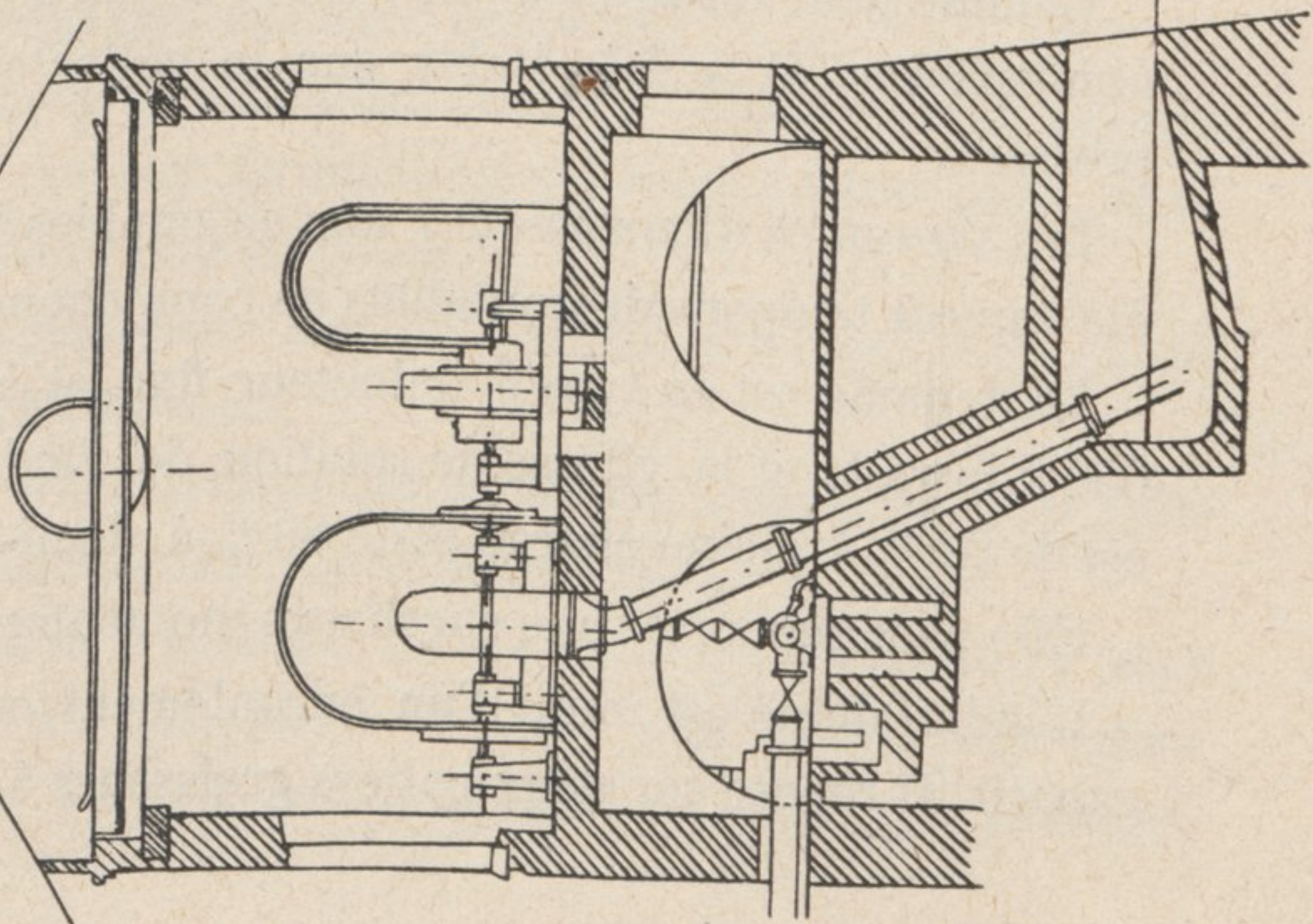
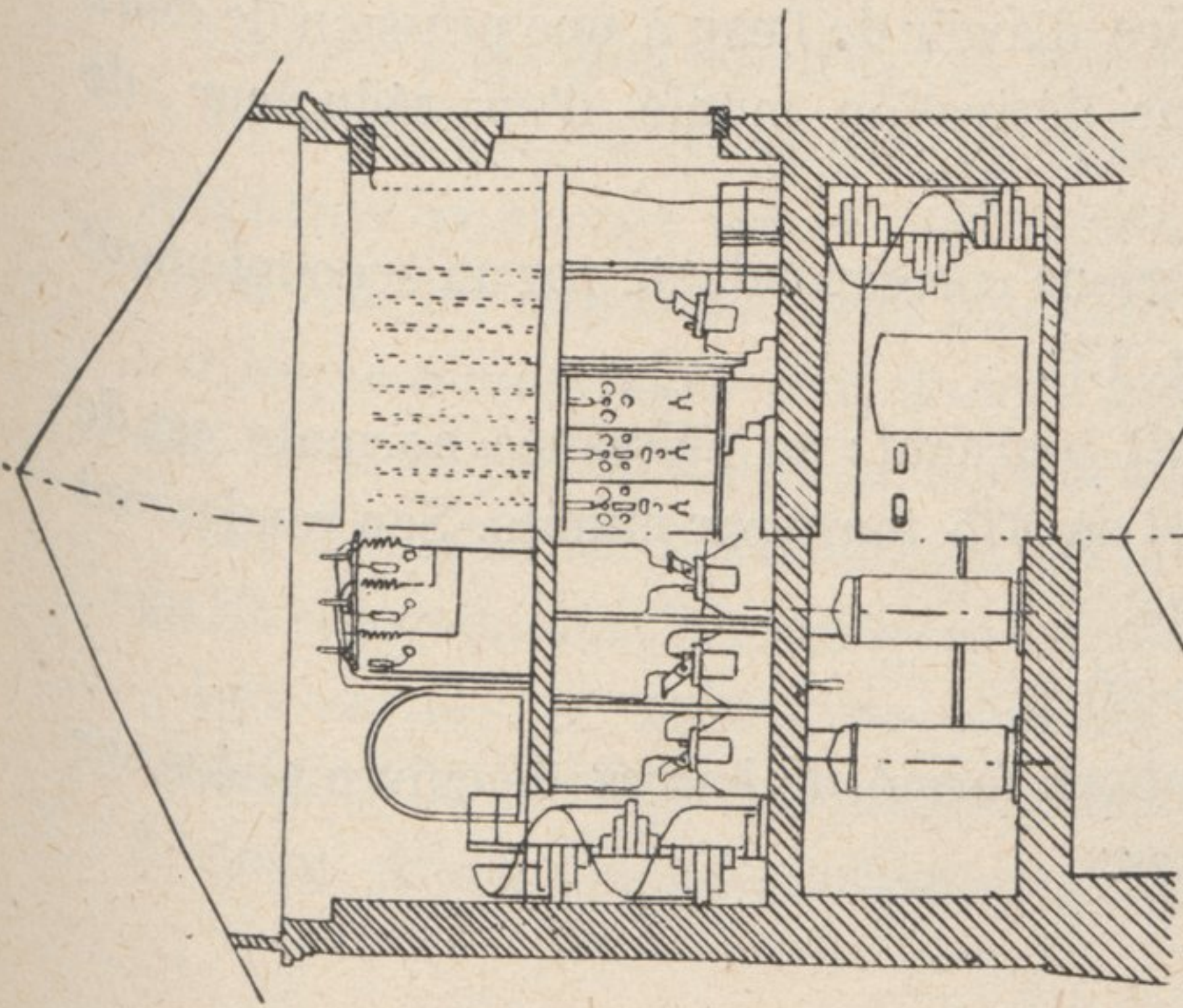
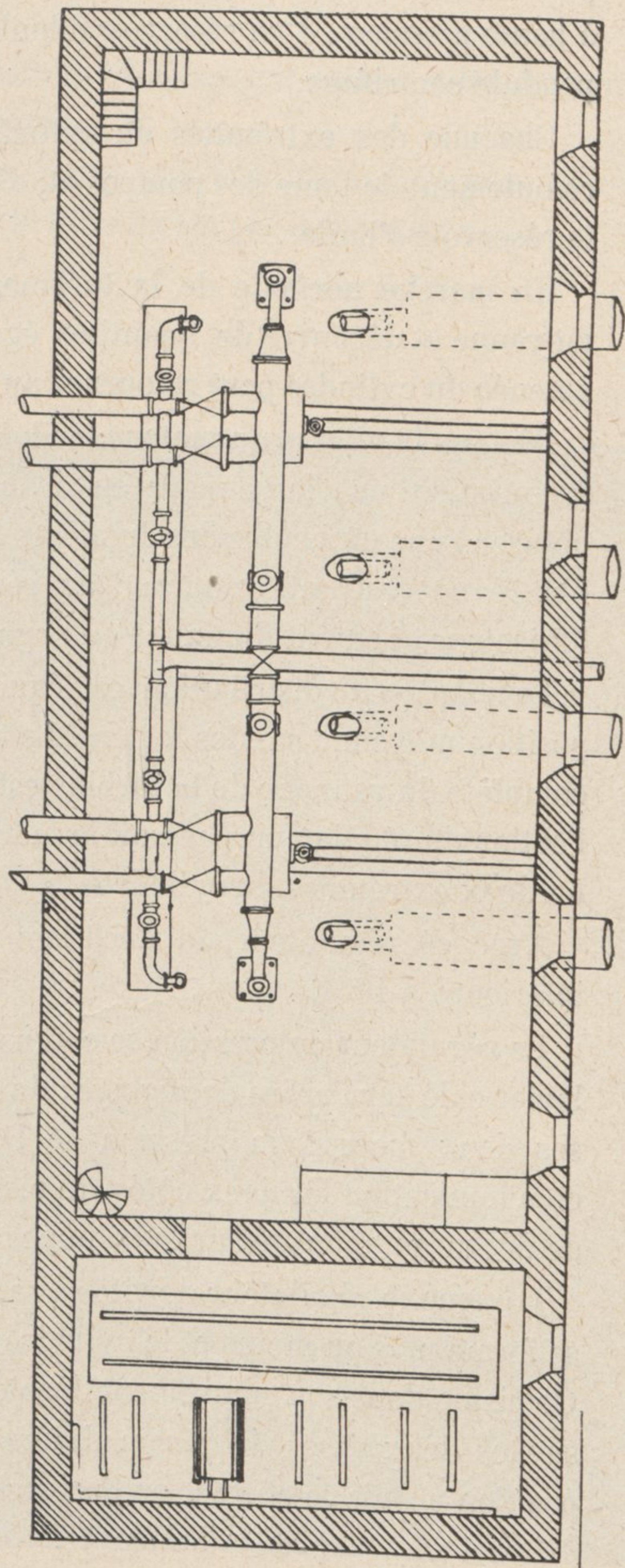
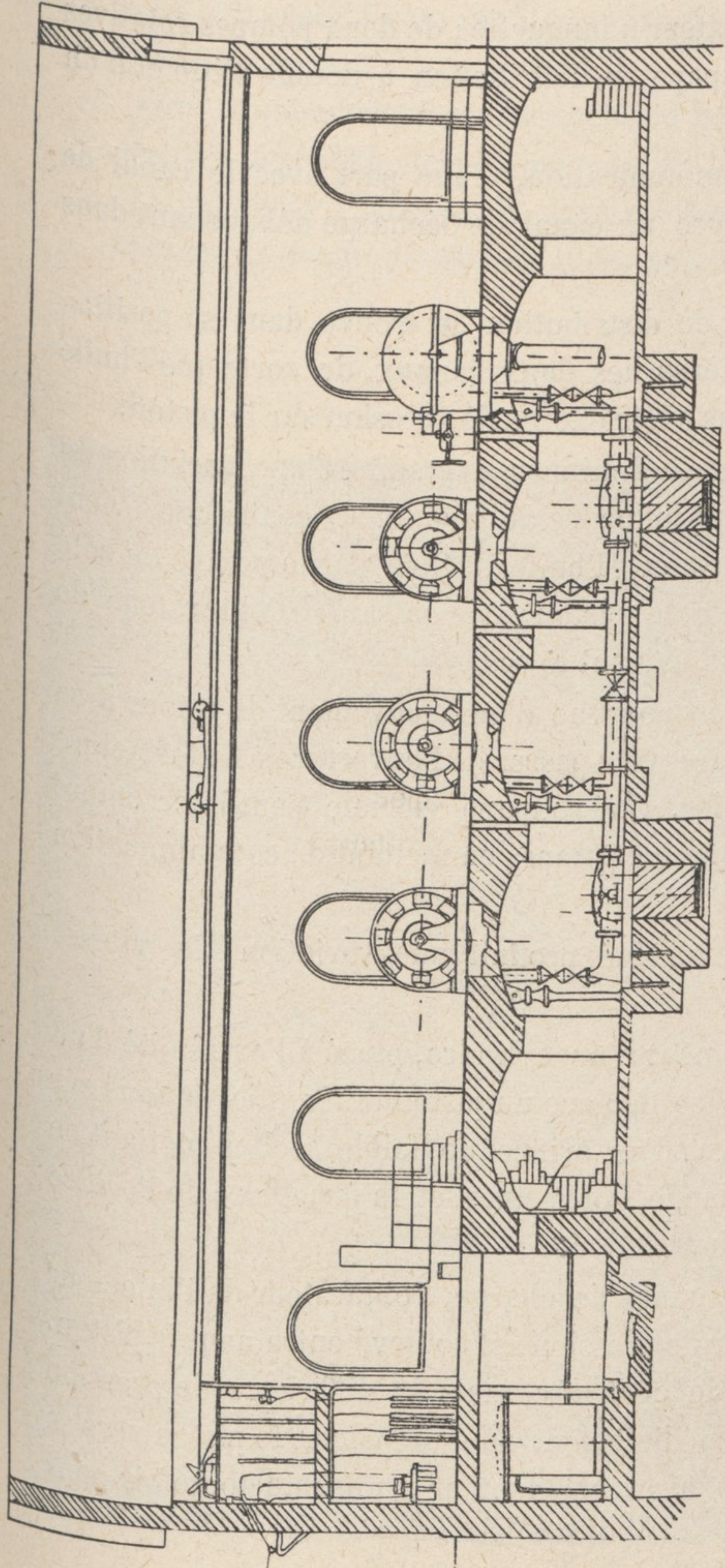
L'eau est projetée sur la roue par un injecteur unique en bronze muni d'un obturateur à languette équilibré par un piston compensateur.

Sur l'arbre de la roue de la turbine et extérieurement à la capote est calé un volant en acier coulé.

La régulation de la turbine est assurée par deux régulateurs : régulateur de vitesse Minetti et un régulateur de pression.

Le régulateur de vitesse se compose essentiellement : d'un cylindre dans lequel se meut un

Fig. 120a.



piston fixé à une tige actionnant directement l'obturateur à languette ; de deux pompes rotatives à haute pression ; d'un réservoir d'huile ; d'une soupape de distribution à double siège et d'un pendule centrifuge.

Chacune des extrémités du cylindre est en communication, d'une part avec le canal de refoulement de l'une des pompes et, d'autre part, avec un canal de décharge débouchant dans le réservoir d'huile.

En marche normale de la turbine, la soupape de distribution se trouve dans sa position moyenne et découvre de quantités égales les lumières des deux canaux, de sorte que l'huile amenée du cylindre peut retourner au réservoir sans avoir exercé de pression sur le piston.

Dès que la vitesse du moteur tend à augmenter ou à diminuer, par suite d'une variation du travail résistant, la soupape en se déplaçant sous l'influence du régulateur centrifuge, vient obturer l'une ou l'autre des lumières de décharge ; alors l'huile débitée par la pompe du côté obturé ne pouvant retourner au réservoir refoule le piston qui entraîne l'obturateur de l'injecteur et en fait diminuer ou augmenter le débit, suivant le cas.

La soupape de distribution est équilibrée ; elle est pourvue d'un mouvement de retour à sa position moyenne par des leviers. Le temps nécessaire pour passer de l'ouverture à la fermeture complète du vannage de la turbine est de 3 secondes. Une soupape spéciale peut interrompre l'action du régulateur pendant la marche sans arrêter les pompes en mettant en communication les deux extrémités du cylindre.

Avec ce régulateur, la décharge totale de la turbine produit une variation de vitesse inférieure à 10 %.

Le régulateur de pression se compose essentiellement d'un cylindre, placé à l'extrémité d'un levier calé sur l'arbre de réglage ; dans ce cylindre se déplace un piston différentiel soumis sur ses deux faces à la pression de l'eau et pourvu d'un orifice de faible section mettant en communication les deux côtés du piston qui commande l'ouverture et la fermeture de l'orifice de décharge, ménagé sur la colonne montante d'alimentation.

Lorsque le régulateur de vitesse agit, après une chute de charge, l'obturateur de l'injecteur se ferme plus ou moins et le cylindre du régulateur de pression est soulevé entraînant le piston. Ce piston dans son mouvement découvre l'orifice de décharge, mais la différence de pression sur les deux faces du piston différentiel agit immédiatement pour déplacer le piston vers sa position primitive et referme l'orifice de décharge avec une lenteur suffisante toutefois pour éviter toute surpression nuisible.

Les essais ont donné comme rendement global des turbines 78 %.

Comme pour les besoins de l'Usine il est nécessaire d'avoir de l'eau à une pression de deux atmosphères, il a été établi sur le collecteur une dérivation munie d'un réducteur de pression.

Les *dynamos* dimorphiques sont accouplées à la turbine correspondante par un accouplement élastique à tampons démontables en caoutchouc (Fig. 13).

La dynamo est du type à inducteur fixe et à induit tournant ; sa puissance normale est de 650 kilowatts et la vitesse de rotation de l'induit est de 375 tours par minute. Son rendement est de 93 % à pleine charge et de 89 % à demi-charge.

Elle peut supporter une surcharge momentanée de 60 %.

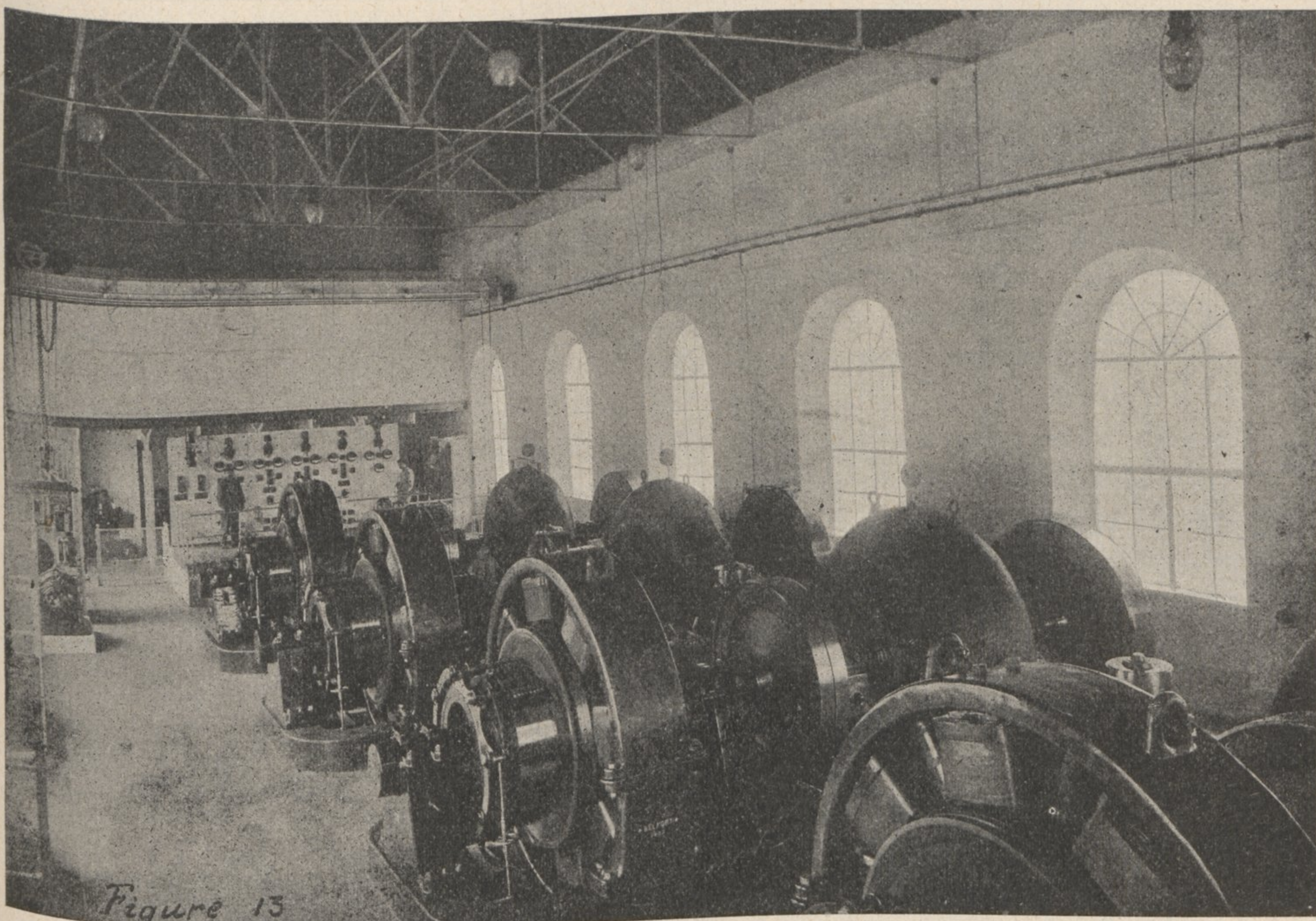
L'induit denté est muni d'un enroulement en tambour formé de barres de cuivre pliées sur gabarit. Il repose sur deux paliers graisseurs à bagues.

Le collecteur à courant alternatif compte six bagues en bronze pour recueillir le courant sous forme hexaphasée.

Sur le collecteur à courant continu frottent des balais en charbon qui restent calés dans une position invariable de quelque manière que varie la charge.

L'inducteur, composé de deux parties démontables, porte huit bobines inductrices et huit bobines de commutation enroulées autour de paquets de tôles fixées par des boulons.

Fig. 13.



Chaque projection polaire et sa bobine peuvent être aisément enlevées.

Il existe un enroulement shunt et un enroulement série, celui-ci destiné à élever la tension quand augmente la charge sur le côté continu; le courant passant dans l'enroulement série passe aussi dans les huit bobines des pôles auxiliaires de commutation.

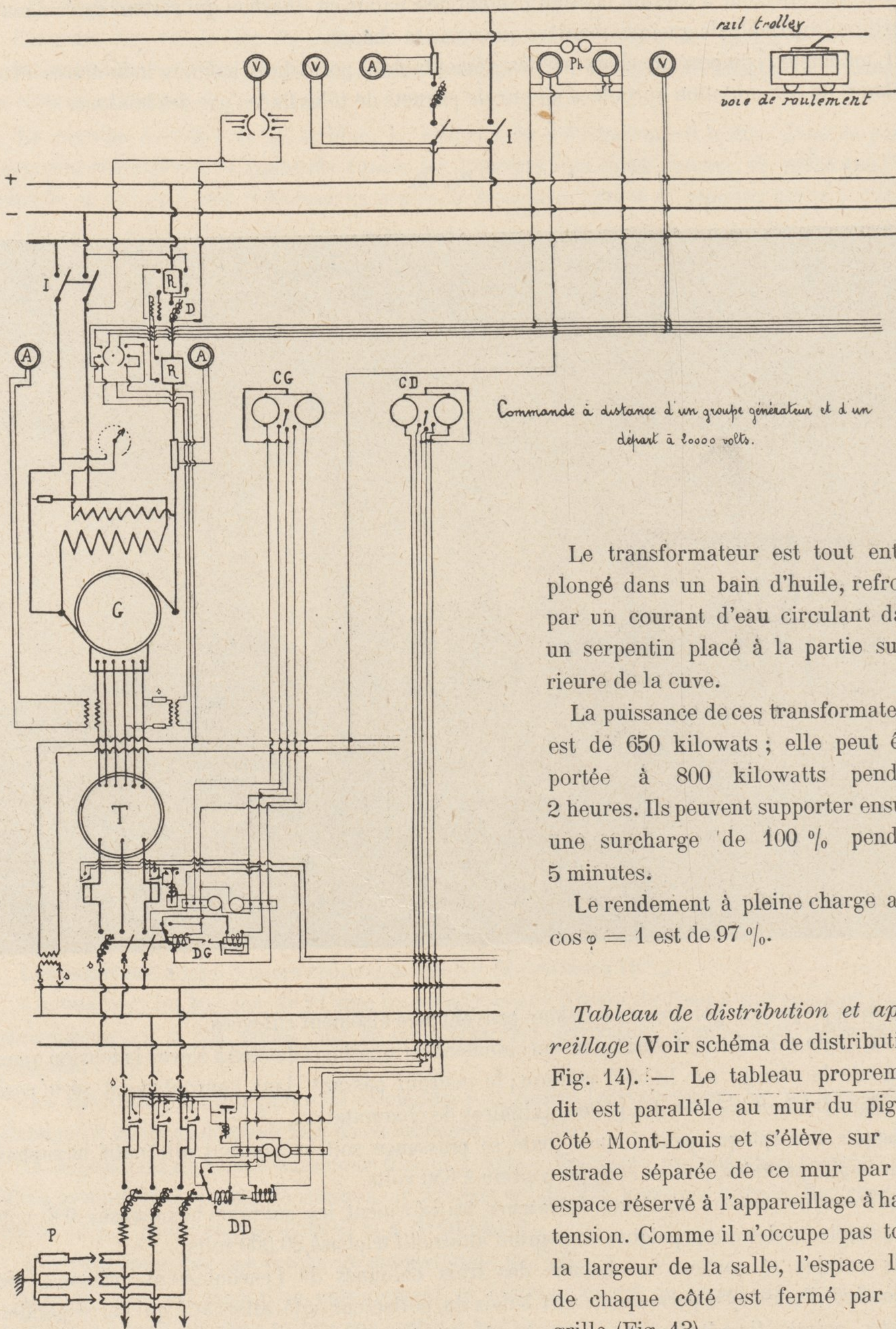
Chaque dimorphique peut donner toute sa puissance soit en courant alternatif hexaphasé 600 volts, 25 périodes, soit en courant continu à 850 volts.

Les *transformateurs statiques* éleveurs transforment les courants hexaphasés 600 volts qu'ils reçoivent des dimorphiques en courant alternatif triphasé 20.000 volts.

Les entrées et sorties de chacune des trois colonnes de l'enroulement primaire sont connectées d'une façon permanente aux balais du collecteur côté alternatif qui correspondent à deux points diamétralement opposés de l'induit des génératrices; les enroulements

secondaires sont connectés en étoile et leurs extrémités libres sont reliées à l'appareillage haute tension.

Fig. 14.



Commande à distance d'un groupe générateur et d'un départ à 20000 volts.

Le transformateur est tout entier plongé dans un bain d'huile, refroidi par un courant d'eau circulant dans un serpentín placé à la partie supérieure de la cuve.

La puissance de ces transformateurs est de 650 kilowatts ; elle peut être portée à 800 kilowatts pendant 2 heures. Ils peuvent supporter ensuite une surcharge de 100 % pendant 5 minutes.

Le rendement à pleine charge avec $\cos \varphi = 1$ est de 97 %.

Tableau de distribution et appareillage (Voir schéma de distribution, Fig. 14). — Le tableau proprement dit est parallèle au mur du pignon côté Mont-Louis et s'élève sur une estrade séparée de ce mur par un espace réservé à l'appareillage à haute tension. Comme il n'occupe pas toute la largeur de la salle, l'espace libre de chaque côté est fermé par une grille (Fig. 13).

Il est composé de 6 panneaux en marbre ; celui placé à l'extrémité à droite est le panneau de départ côté continu ; celui placé à l'extrémité à gauche est le panneau de couplage et de départ côté alternatif 20.000 volts ; les quatre du milieu sont réservés chacun à un groupe électrogène. Le devant du tableau fait face aux machines et porte les appareils de mesure, de couplage et de commande à distance, électrique et mécanique, des robinets-vannes et des interrupteurs à haute tension, ainsi que les volants des rhéostats de champ. L'arrière du tableau est occupé par les petites connexions, les rhéostats de champ, le petit appareillage et les trois barres omnibus pour courant continu à 850 volts. L'une de ces barres est connectée aux bornes positives des dynamos et au rail de prise de courant ; l'autre est connectée aux bornes négatives des dynamos et à la terre ; la troisième est la barre d'équilibre pour les couplages côté continu.

Les câbles qui connectent les dynamos au tableau et aux transformateurs passent dans le sous-sol.

Aucun appareil du tableau n'est parcouru par du courant à 20.000 volts.

L'appareillage à haute tension est tout entier installé dans la partie comprise entre le tableau proprement dit et le mur. Au rez-de-chaussée, se trouvent les interrupteurs tripolaires à bain d'huile, un par groupe électrogène, logés chacun dans une cellule et connectés, d'une part aux bornes secondaires des transformateurs, d'autre part aux barres omnibus à 20.000 volts ; les connexions allant à ces barres suivent des couloirs verticaux où sont placés les sectionneurs, les relais des disjoncteurs et les transformateurs de mesure.

Les barres à 20.000 volts, au nombre de trois, se trouvent au-dessus d'une galerie adossée au mur du pignon et reposent sur des isolateurs scellés sur les cloisons qui séparent les couloirs verticaux. A son extrémité, chacune d'elles est munie d'un déchargeur hydraulique à action continue pour la protéger contre les surtensions atmosphériques. Les fils de départ au nombre de six, deux par phase, portent chacun en dérivation un parafoudre à corne avec bobine de self et résistance liquide ; au-delà de ces appareils de protection qui sont situés dans l'Usine, les fils de départ traversent le mur du pignon et se rendent au poste de sectionnement.

L'éclairage de l'Usine est assuré par des lampes à arc et des lampes à incandescence auxquelles le courant est fourni par un petit groupe moteur générateur.

En raison de l'éloignement de l'Usine centrale de tout centre habité, la Compagnie a fait construire à quelques mètres du bâtiment de l'Usine une maison d'habitation pour les cinq ménages des agents, ainsi que les locaux accessoires, fontaines, buanderie, etc. (Fig. 12).

Le schéma (Fig. 3) indique la répartition des centres d'alimentation de la ligne de contact, Usine centrale et sous-stations de transformation.

III. — Sous-stations de transformation.

L'alimentation du rail de prise de courant se fait à Villefranche, à Thuès-les-Bains, à l'Usine centrale, à Odeillo-Via, à Err et à Bourg-Madame.

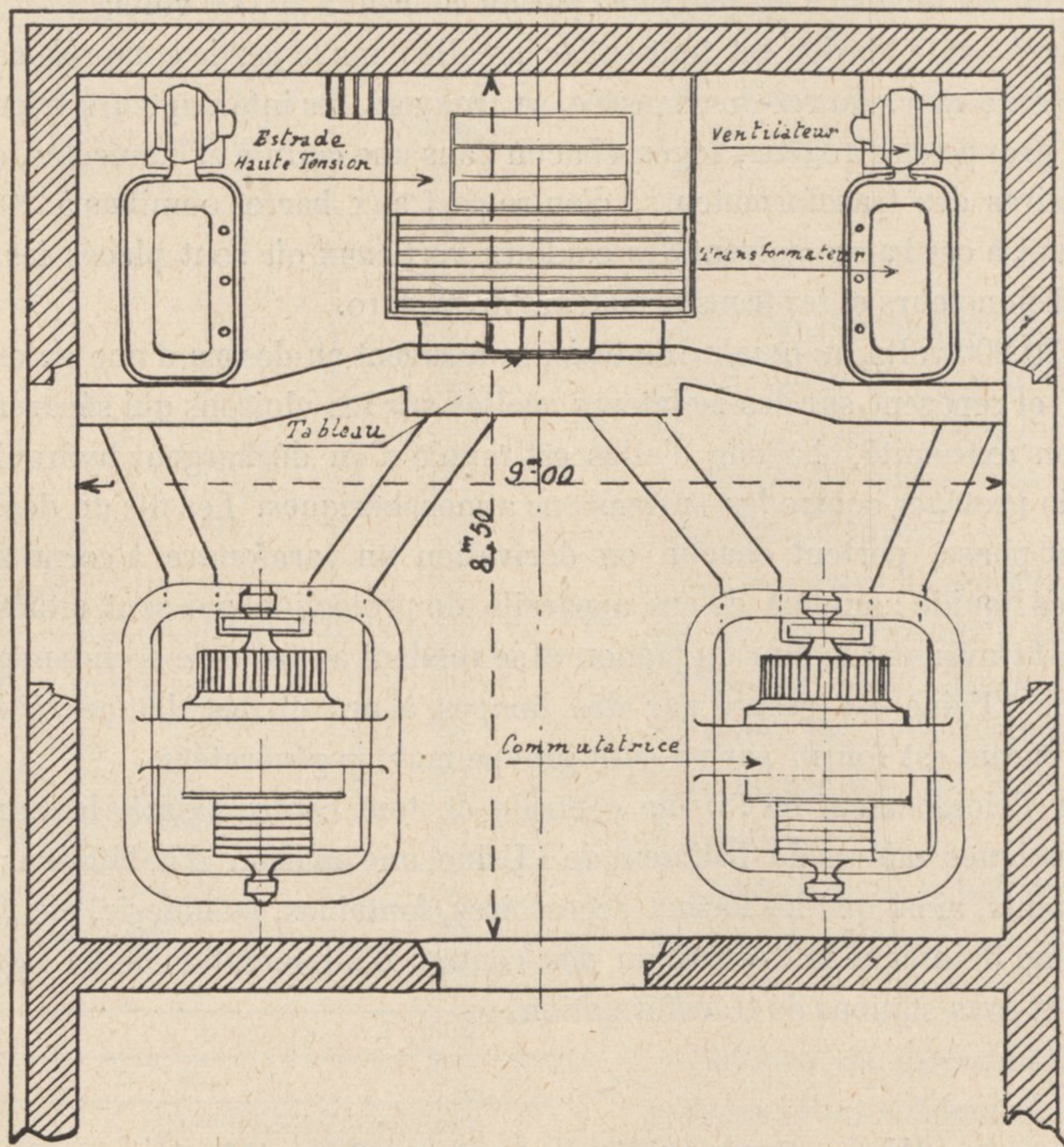
A l'Usine centrale, il n'y a pas eu à prendre de dispositions spéciales : les dynamos y produisant directement du courant continu. Sur les autres points, il a fallu établir une sous-station de transformation. A Villefranche, elle a été installée dans l'atelier de réparation et c'est le personnel électrique de cet atelier qui conduit les machines. A Thuès-les-Bains, Odeillo-Via, Err et Bourg-Madame, la sous-station a été installée dans la gare contre le bâtiment des

voyageurs pour permettre d'affecter à la conduite et à la surveillance des machines le Chef de station et son homme d'équipe incomplètement utilisés par les travaux de l'exploitation proprement dite. Le bureau du Chef de gare est en communication directe par une porte avec la salle des machines.

Les cinq sous-stations communiquent entre elles et avec l'Usine centrale de La Cassagne par une ligne téléphonique spécialement réservée à leur usage, l'emploi du télégraphe étant réservé au Service de l'Exploitation proprement dit.

Les cinq sous-stations comprennent toutes le même matériel électrique ; leur aménagement est identique. On a cherché à réaliser une installation très compacte pour réduire au minimum l'espace nécessaire à cause des difficultés du terrain pour certaines d'entre elles.

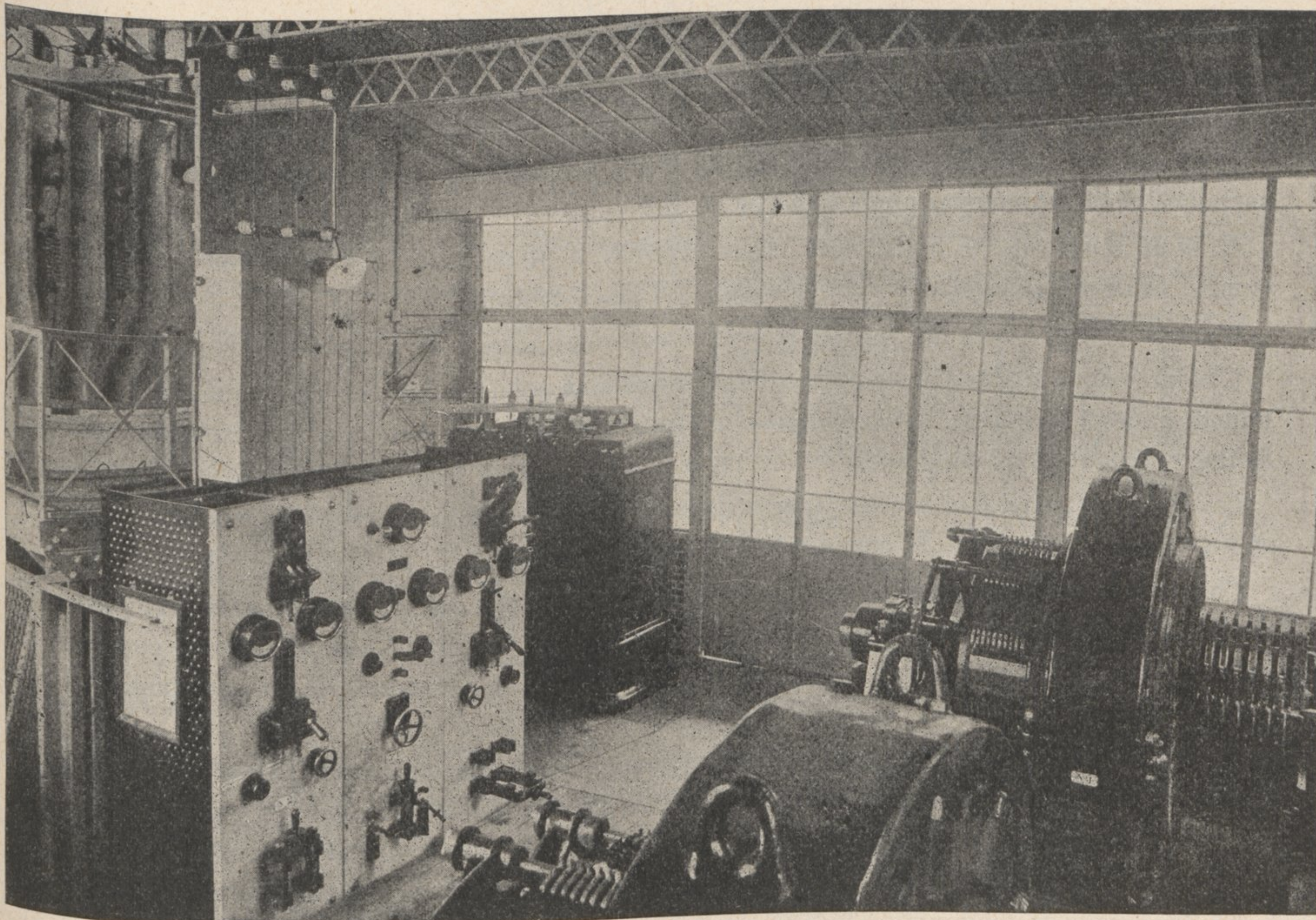
Fig. 15.



Chaque sous-station (Fig. 15) est composée d'une salle unique. Elle comprend deux groupes de transformation semblables constitués chacun par un transformateur réducteur et une commutatrice, connectés d'une façon permanente sans passer par des barres omnibus et qui sont disposés symétriquement par rapport au grand axe de la salle.

Une estrade en maçonnerie est dressée au fond de la salle entre les deux groupes précédents ; elle porte tout l'appareillage haute tension. Les panneaux du tableau sont adossés à cette estrade (Fig. 16).

Fig. 16.



Transformateurs. — Les transformateurs-réducteurs transforment le courant triphasé à 20.000 volts arrivant par la ligne à haute tension en courant hexaphasé à 600 volts environ.

Le refroidissement s'effectue pour chaque transformateur au moyen d'un ventilateur mû par un moteur asynchrone tournant à 1.400 tours environ et refoulant 80 mètres cubes d'air par minute sous une pression de 150^{mm} d'eau.

La puissance normale de ces transformateurs est de 600 k.v.a.; elle peut être portée à 750 k.v.a. pendant deux heures. Après la marche à pleine charge, ils peuvent supporter une surcharge de 100 % pendant 5 minutes.

Avec un facteur de puissance égale à 1, leur rendement est de :

97,1 à pleine charge ;

96,3 à demi-charge.

Entre la marche à vide et la marche à pleine charge, la chute de tension ne dépasse pas 3% (avec $\cos \varphi = 1$).

Le courant triphasé nécessaire au fonctionnement du moteur asynchrone du ventilateur est fourni par un enroulement spécial du transformateur donnant du courant à 200 volts entre phases.

Le moteur se met en route de lui-même dès que le courant passe dans le transformateur.

L'aspiration de l'air extérieur pour la ventilation se fait par des ouvertures pratiquées dans le

mur du bâtiment et garnies de deux cadres en toile métallique très fine. Entre ces cadres de menus copeaux arrêtent au passage les poussières en suspension dans l'air aspiré.

Commutatrices. — Les commutatrices sont du type à inducteur fixe et à induit tournant ; elles tournent à la vitesse de 250 tours par minute et donnent, du côté du continu, du courant à 800/850 volts.

Elles ont un rendement de 94,7 % à pleine charge et 90,5 % à demi-charge et elles peuvent supporter momentanément une surcharge de 100 %.

L'induit denté et les collecteurs, courant continu et courant alternatif, sont construits comme ceux des génératrices dimorphiques de l'Usine centrale.

L'induit repose sur de larges paliers à graissage automatique par anneaux.

L'inducteur en fonte d'acier porte douze projections polaires formées de paquets de tôles minces fixées à la culasse. Les bobines inductrices enroulées sur des carcasses isolantes sont facilement amovibles ; elles possèdent un enroulement shunt et un enroulement série.

Les pièces polaires sont munies d'amortisseurs composés chacun de 10 barres de cuivre réunies par des plaquettes de même métal placées latéralement.

Chaque commutatrice possède sur l'un de ses paliers un relai actionné par un appareil à force centrifuge calé sur l'extrémité de l'arbre de la machine, qui est destiné à faire couper le courant par le disjoncteur si la machine dépasse la vitesse de 300 tours par minute ou si elle tourne dans le mauvais sens.

Chacune des commutatrices développe en régime normal une puissance de 600 kilowatts. Elle peut fournir 1.000 kilowatts pendant des périodes de 15 minutes séparées par des intervalles de même durée. Enfin, elle peut donner 1.200 kilowatts pendant 2 minutes, à la condition que ces à coups ne se produisent qu'à des intervalles d'une heure au moins.

Le démarrage des commutatrices est obtenu en lançant dans l'induit le courant continu pris au 3^e rail : la machine fonctionne alors comme moteur à courant continu ; on ne peut pas démarrer avec le courant alternatif.

Un fil d'équilibre de très faible résistance réunit les enroulements en série des inducteurs (Schéma : fig. 17).

Appareillage et tableau de distribution. — Chaque sous-station est mise en communication avec la ligne à haute tension par l'intermédiaire du poste de sectionnement voisin.

A l'arrivée de la ligne à la sous-station se trouvent sur chaque phase :

Un parafoudre à cornes et sa ligne de terre traversant une résistance non inductive, constituée par un réservoir en grès rempli d'eau glycérinée ;

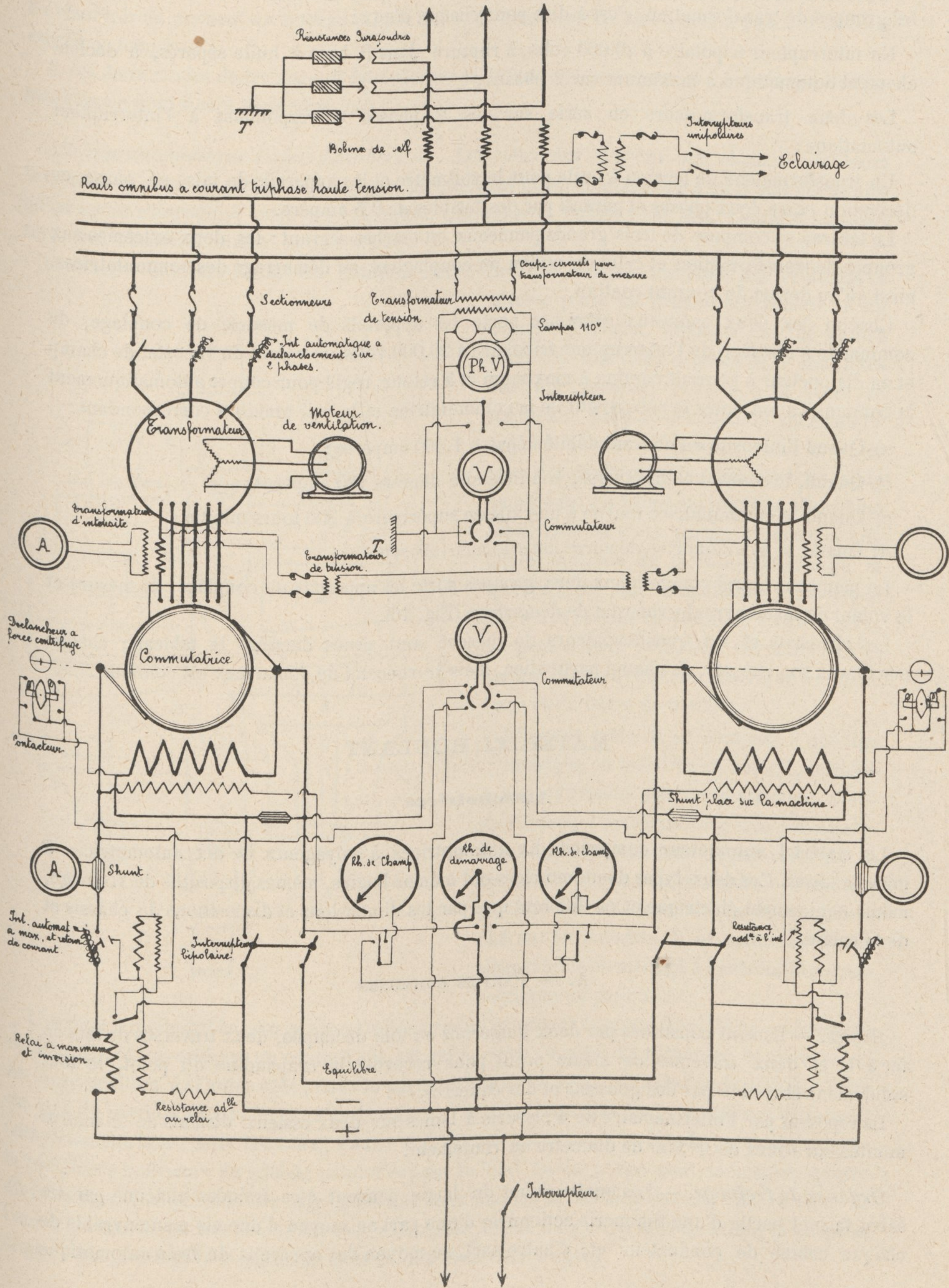
Un sectionneur à barrettes ;

Une bobine de self en série sur la ligne ;

Des sectionneurs à barrettes pour diriger le courant vers l'un ou l'autre des transformateurs ou les deux à la fois.

Les sectionneurs sont situés sur l'estrade à haute tension et garantis par des cloisonnements en ciment armé. Ils se manœuvrent au moyen d'une perche spécialement isolée, avec fil métallique assurant la mise à la terre de la poignée.

Fig. 17.



Au-dessous de l'estrade, entre des cloisons en briques, sont situés les appareils concernant les groupes de transformation, c'est-à-dire pour chacun d'eux :

Un interrupteur tripolaire à 20.000 volts, à rupture dans 3 bacs à huile séparés, à déclenchement automatique à maximum sur 2 phases ;

Les deux transformateurs en série sur les 2 phases correspondant à l'interrupteur automatique ;

Un transformateur de tension à huile pour le voltmètre et les appareils de mise en phase, en dérivation entre deux phases et garanti par des fusibles de 0,5 ampère.

Le tableau se compose de trois grands panneaux en marbre servant : les deux extrêmes aux groupes de transformation et celui du milieu au couplage et au démarrage des commutatrices, ainsi qu'au départ du courant continu.

Chacun des deux panneaux extrêmes porte les appareils de mesure, de couplage, de commande à distance de l'interrupteur tripolaire à 20.000 volts, le volant du rhéostat de champ et un disjoncteur à courant continu à maximum et à retour, réglé pour couper automatiquement la communication entre le pôle positif de la commutatrice et le rail omnibus correspondant :

- a) Quand l'intensité du courant débité dépasse 1.400 ampères ;
- b) Quand, le courant étant inversé, son intensité dépasse 120 ampères ;
- c) Quand la commutatrice tourne à une vitesse supérieure à 300 tours minute ;
- d) Quand la commutatrice démarre dans le mauvais sens.

Le panneau central commun aux deux groupes porte les appareils de couplage, de mesure et le volant de manœuvre du rhéostat de démarrage (Fig. 16).

Les rhéostats et les transformateurs de mesure sont situés derrière le tableau ; chaque machine a son rhéostat de champ particulier, mais le rhéostat de démarrage est commun.

MATÉRIEL ROULANT

Automotrices

Le matériel automoteur comprend dix automotrices à voyageurs et dix automotrices à marchandises. Ces deux types d'automotrices ont mêmes bogies, mêmes dispositifs de freinage, même équipement électrique et ne diffèrent que par les dimensions et dispositions du châssis et de la caisse.

A. — PARTIES COMMUNES

Bogies. — Ils sont constitués par deux longerons en tôle découpée, deux traverses de tête en fer à U et deux traverses de même profil pour recevoir la crapaudine du pivot, le tout solidement assemblé par des goussets et des équerres.

Ils reposent par l'intermédiaire de 4 ressorts à lames sur deux essieux distants de 2 mètres montés sur roues de 0^m,950 de diamètre au roulement.

Organes de freinage. — Les quatre roues du bogie peuvent être freinées chacune par un sabot faisant partie d'une timonerie actionnée, d'une part au moyen d'une vis manœuvrable de chaque cabine de conducteur et, d'autre part, au moyen des appareils du frein automatique

différentiel continu Westinghouse, qui permet de ne consommer qu'une faible fraction de l'air du réservoir au moment du serrage et, par suite, de laisser les freins en action pendant un long espace de temps.

A ces deux modes de freinage, il faut ajouter le freinage rhéostatique et le freinage électromagnétique dont il sera parlé plus loin.

Attelage automatique Leduc-Lambert. — Les véhicules portent sur chacune de leurs traverses un appareil permettant de faire les attelages et les dételages sans qu'il soit nécessaire qu'un agent s'introduise entre les véhicules. Cet appareil imaginé par MM. Leduc et Lambert sert aussi d'appareil de choc et de traction.

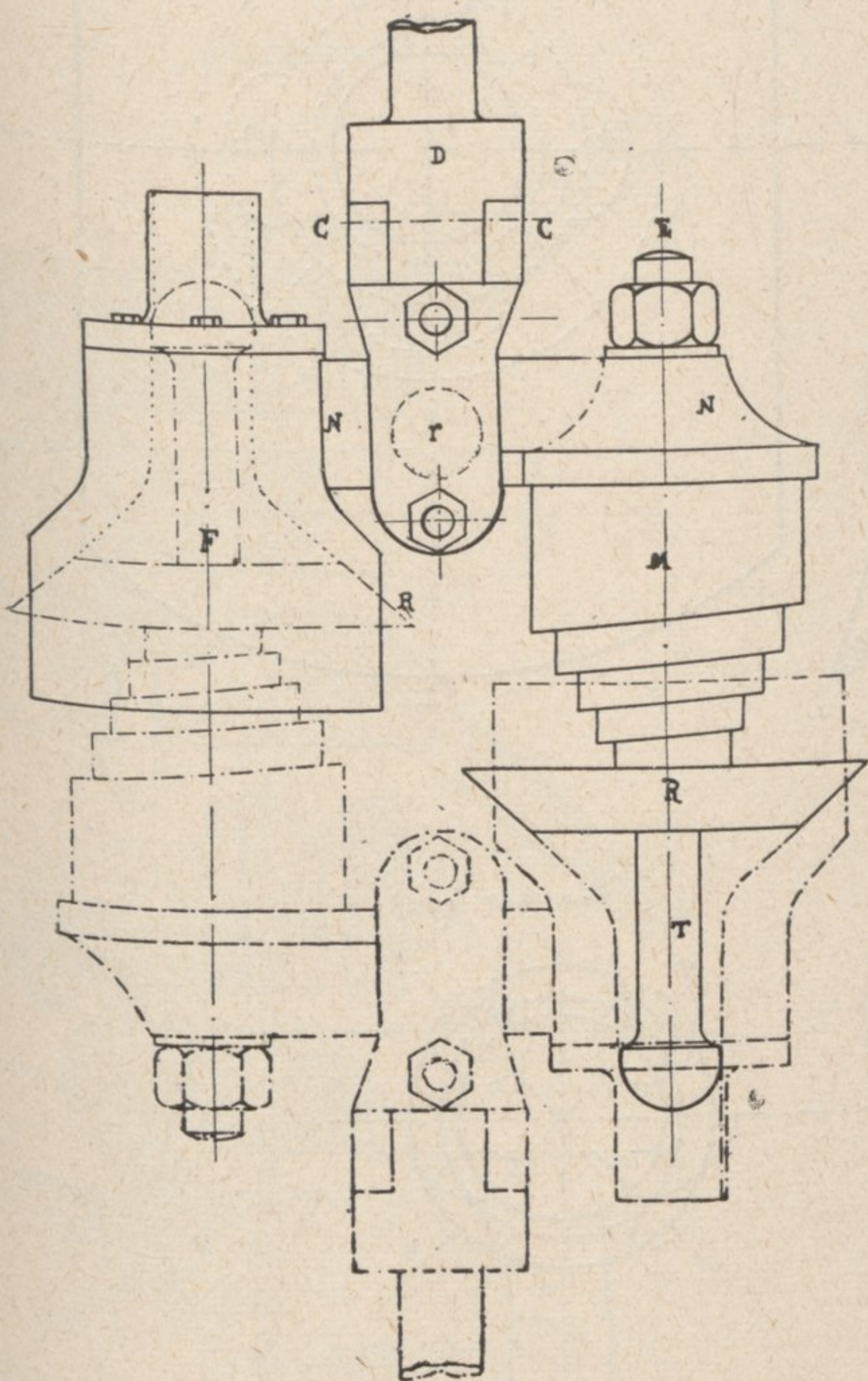
L'attelage Lambert-Leduc est double, c'est-à-dire que chaque traverse des véhicules à

atteler porte un organe accrocheur et un organe accroché, distincts l'un de l'autre (Fig. 18). Ces deux organes M, F sont fixés sur un palonnier N relié à la barre de traction D par une articulation sphérique r qui lui permet d'effectuer dans tous les sens des déplacements angulaires de faible amplitude. La barre de traction elle-même est divisée en deux parties réunies, à une faible distance de la face externe de la traverse, par une articulation cylindrique CC à axe horizontal parallèle à la traverse; un petit ressort maintient normalement le centre de l'articulation sphérique rr dans l'axe de la barre de traction.

L'organe mâle M se compose d'une tige cylindrique ou mandrin en acier T, terminé à une extrémité par un renflement hémisphérique; l'extrémité opposée est solidement fixée dans un bras du palonnier par la vis à écrou E; un ressort à spirale M terminé par une rondelle tronconique R est embroché sur le mandrin T et maintenu sur le siège circulaire ménagé à l'extrémité correspondante du palonnier.

L'organe femelle qui fait corps avec l'autre bras du palonnier consiste (Fig. 19) en un boisseau en acier coulé traversé par un conduit qui est cylindrique du côté du palonnier et s'évase en un large pavillon de l'autre côté; dans la partie cylindrique sont ménagées trois cavités: l'une du côté du pavillon II a la forme d'un U renversé dont les branches sont verticales et traversent complètement la paroi du boisseau; l'autre CC est une gorge assez profonde creusée sur toute la périphérie intérieure du côté du palonnier; sur le fond de la gorge sont ménagées quatre alvéoles A.A.A.A. placées aux extrémités des deux diamètres rectangulaires, l'un vertical et l'autre horizontal; la troisième J est une rainure en forme d'équerre ménagée dans le chapeau creux T qui prolonge le boisseau du côté de la traverse du wagon.

Fig. 18.



d'après les originaux

Dans la cavité II est placé un verrou *i* ayant la forme d'un U renversé mais à branches inégales ; la plus longue se trouve du côté du pavillon et peut sous l'action de son propre poids se présenter en saillie sur la surface intérieure du boisseau.

Dans la cavité J se trouve un verrou qui a la même forme qu'elle.

Fig. 19.

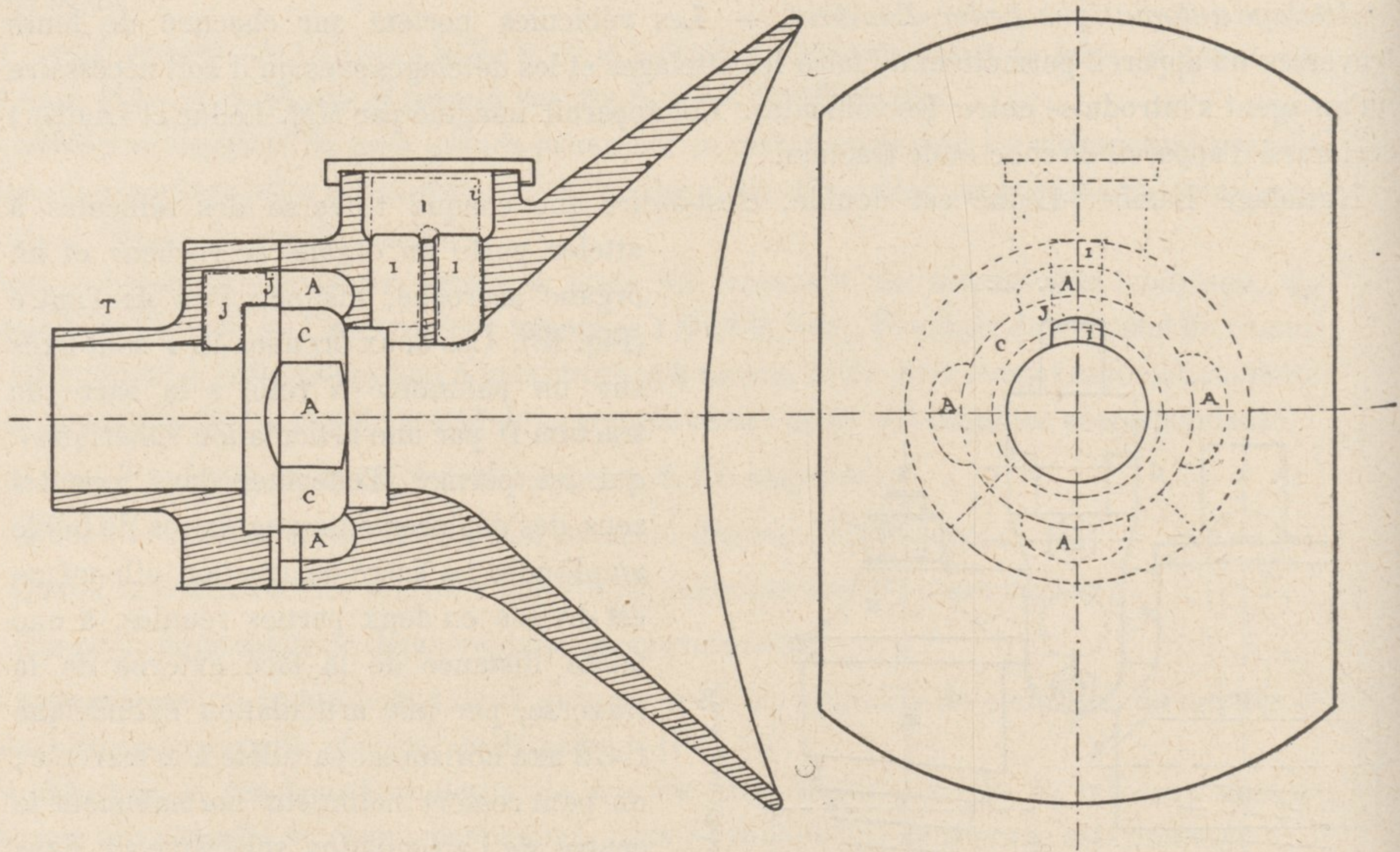
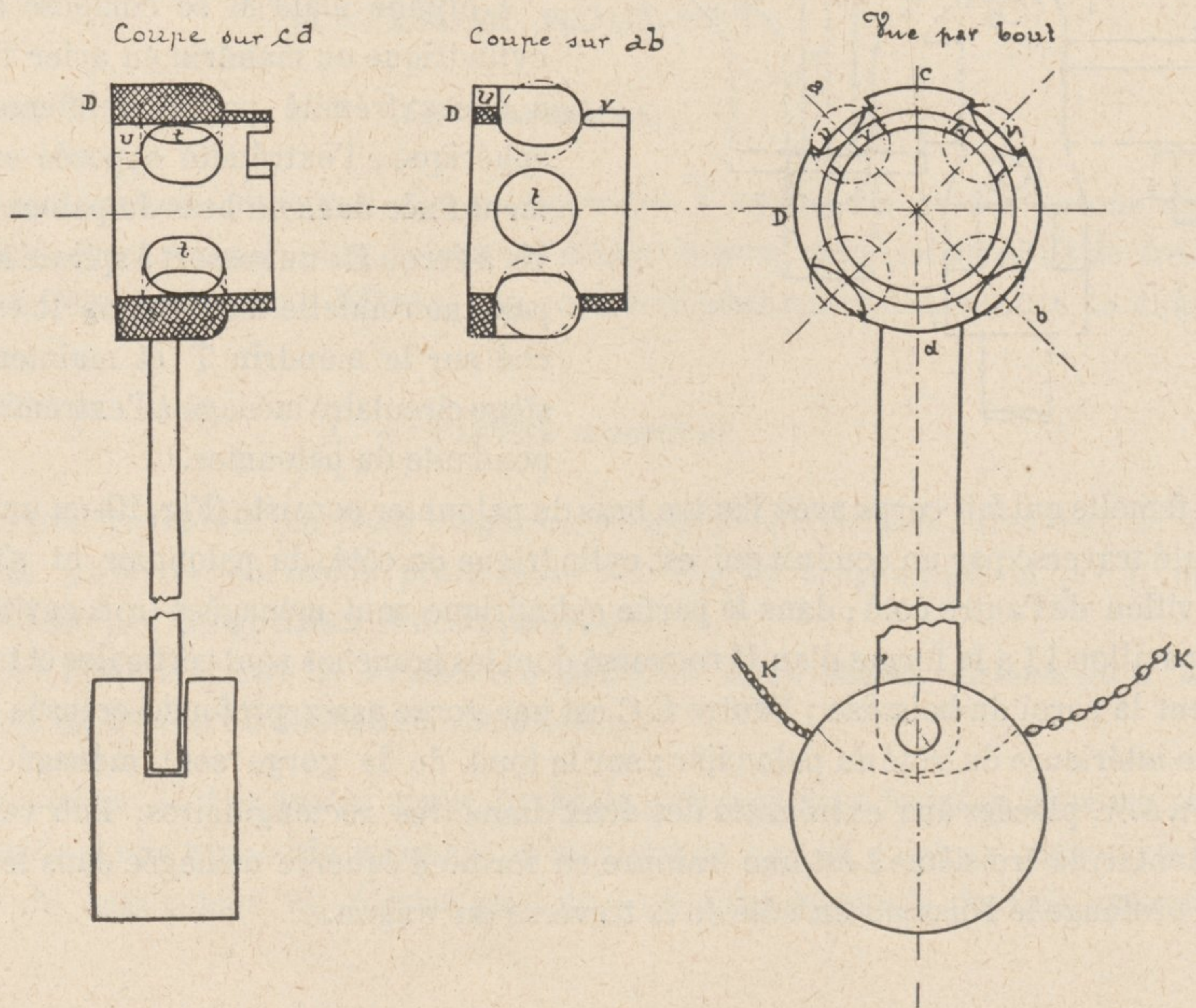


Fig. 20.



Enfin, dans la gorge C C se trouve une bague D (Fig. 20) qui peut y tourner avec la plus grande aisance et est munie d'un fort contrepoids. Cette bague est percée de quatre trous cylindriques présentant un léger rétrécissement du côté de la face interne; ces trous sont aux extrémités de deux diamètres rectangulaires et reçoivent des billes en acier de 30^{mm} de diamètre. Lorsque rien ne gêne son mouvement, cette bague obéit à son contrepoids qui se place verticalement, et alors les trous sont orientés de telle façon que leurs axes sont inclinés à 45° sur l'horizontale, et qu'ils ne sont pas en face des alvéoles du boisseau; les billes sont alors obligées de se mettre en saillie sur la surface intérieure de la bague. Si au contraire le contrepoids est maintenu dans une position faisant 45° avec l'horizontale, les trous sont en face des alvéoles, les billes peuvent jouer librement dans leur trou et le moindre effort les fait disparaître de la surface interne de la bague. Dans le premier cas, la saillie des billes est à peu près égale à leur diamètre (Fig. 20 bis).

Fig. 20bis.

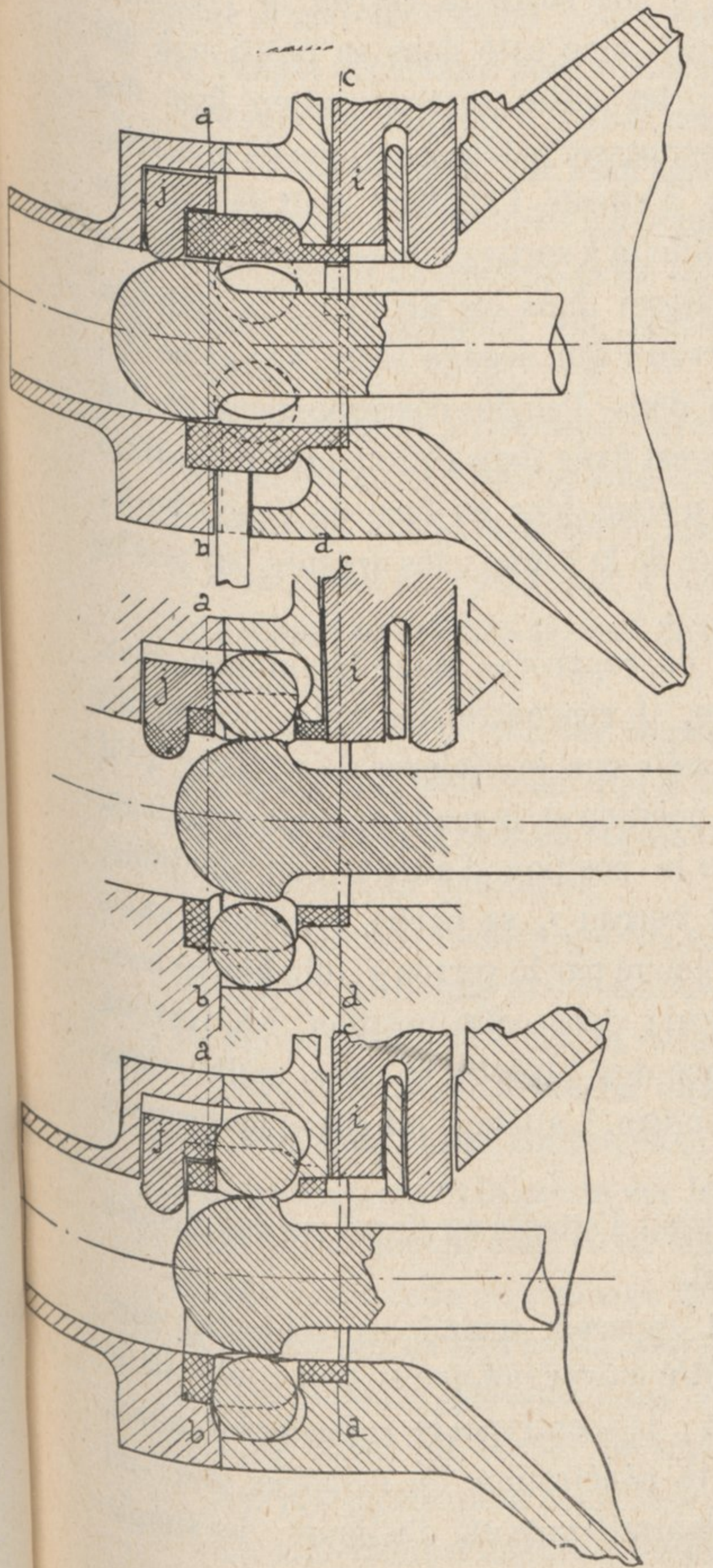
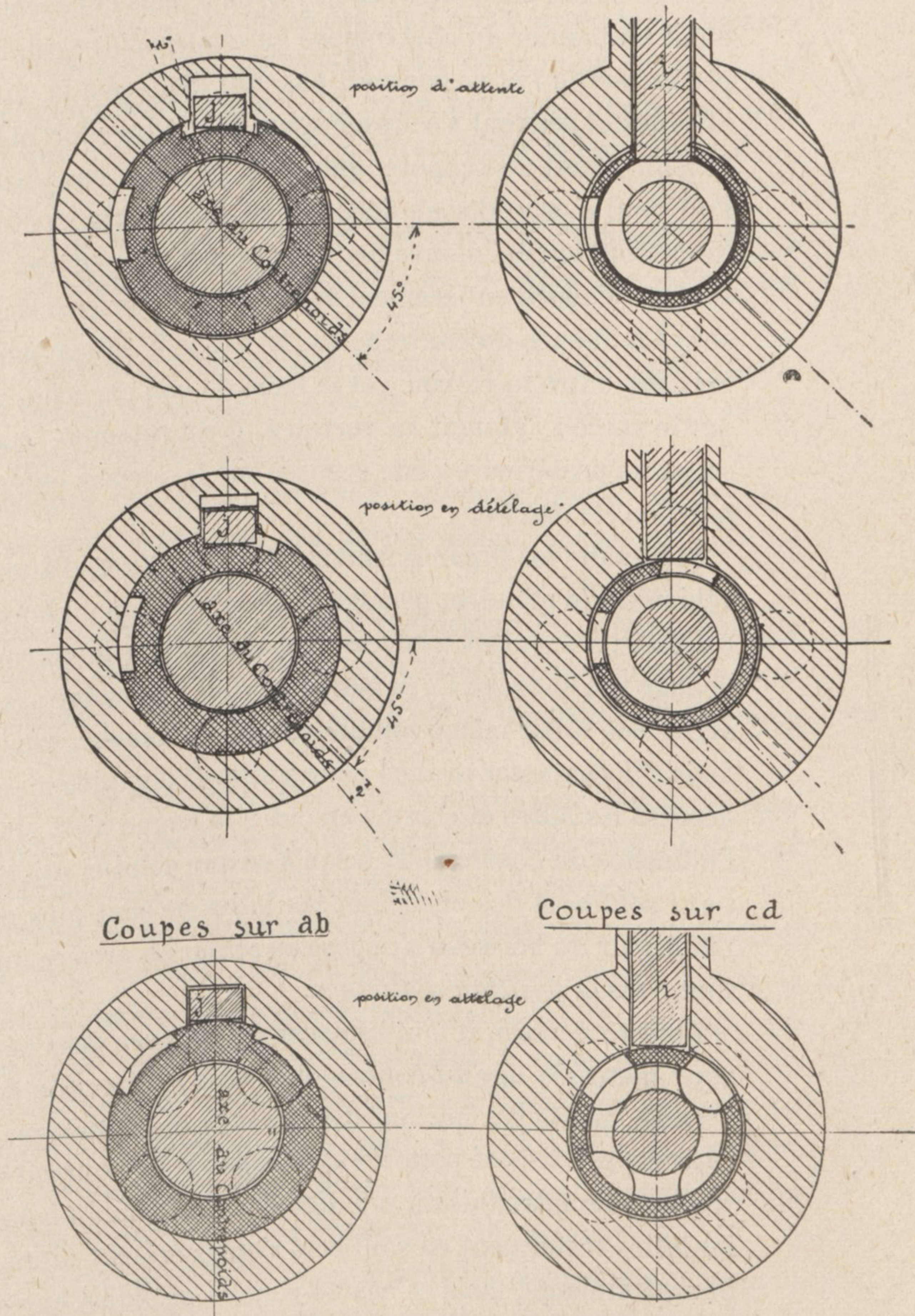


Fig. 21.



Sur sa surface extérieure la bague à billes présente quatre encoches : deux antérieures V V traversant la bague et pouvant laisser passer sans jeu la branche arrière du verrou *i* ; deux postérieures U U ne pénétrant que sur un tiers environ de l'épaisseur de la bague et dont la longueur dépasse de 6 à 7^{mm} la largeur du verrou J ; le milieu des encoches V V est dans le même plan médian que les axes des deux trous à billes supérieurs ; le milieu des encoches U U est à 3^{mm} 1/2 environ de ce plan médian et vers la partie supérieure ; les bords les plus rapprochés de l'horizontale des encoches V et U sont dans le même plan médian (Fig. 20).

Le boisseau est traversé par une fente donnant passage au levier du contrepoids et permettant à ce levier de décrire de part et d'autre de la verticale un angle de 45° ; ce déplacement du levier peut d'ailleurs être obtenu au moyen de chaînes K fixées d'une part au contrepoids et, d'autre part, aux extrémités de la traverse de tête du véhicule.

La bague et le contrepoids qui lui est solidaire peuvent occuper trois positions : la position d'attente, la position de dételage, la position d'attelage (Fig. 21). Dans la *position d'attente* le contrepoids a été placé à sa position extrême à 45° à droite ou à gauche ; le verrou *i* est engagé dans l'encoche V et le verrou J dans l'encoche U, le jeu entre le verrou et l'encoche étant tout entier du côté opposé au contrepoids ; celui-ci est donc calé dans sa position à 45° par le verrou *i* et ne pourrait pas être déplacé à la main ; les billes se trouvent en face des alvéoles et peuvent s'éclipser sous le moindre effort et laisser passer la tête sphérique du mandrin. Si maintenant on suppose qu'avant la mise en position d'attente l'attelage était fait et que l'on veuille procéder au découplage, le mandrin va être sollicité à sortir du boisseau et les billes lui permettent ce mouvement, puisqu'elles peuvent s'éclipser dans les alvéoles ; le mandrin soulève d'abord entièrement la branche antérieure du verrou *i* qui dégage alors l'encoche V ; sous l'influence du contrepoids, la bague à billes tourne dans l'angle correspondant au jeu existant entre le verrou *j* et le flanc de son encoche, mais est fixée dans cette nouvelle position par le verrou *j* ; quant au verrou *i*, il est retombé, mais, n'étant plus en face de l'encoche V, sa partie postérieure reste reposée sur la surface extérieure de la bague : les organes ont pris la *position de dételage*.

Si lorsque les organes sont dans la position d'attente on rapproche pour les atteler deux véhicules, le mandrin pénètre dans le pavillon du boisseau, il rencontre les billes et les fait éclipser ; s'il s'avance encore jusqu'à toucher le verrou J mais sans le soulever assez pour qu'il dégage son encoche U, la bague à billes ne change pas de position et le mandrin peut revenir en arrière et sortir même complètement du boisseau sans que la position d'attente soit modifiée, mais s'il s'est assez avancé pour soulever complètement le verrou *j*, sa partie renflée a alors dépassé les billes et comme en outre la bague n'est plus retenue par le verrou *j*, elle tourne sous l'influence du contrepoids jusqu'à ce que celui-ci soit vertical ; dans cette position, les verrous *i* et *j* sont hors des encoches, les billes ne sont plus en face des alvéoles et leur saillie dans l'intérieur du boisseau s'oppose au retour en arrière du mandrin. L'attelage est fait et les organes sont dans la *position d'attelage*.

Pour le défaire, il faut replacer les organes dans la position d'attente en tirant sur les chaînes pour mettre la tige du contrepoids dans la direction de 45°.

Donc, par le jeu normal des organes de l'attelage, cet appareil, quand les véhicules sont séparés, est disposé pour l'accrochage ; il ne pourrait en être autrement que si l'on soulevait le verrou *j* en introduisant une tige dans le trou du boisseau ; le contrepoids retomberait alors, les billes resteraient en saillie et s'opposeraient alors à la pénétration du mandrin pour un nouvel attelage, mais ce cas ne peut se produire que par malveillance et, d'ailleurs, le simple

examen de la position du contrepoids permet de se rendre compte du défaut, qu'il est facile de faire disparaître.

Equipement électrique. — Chaque motrice est équipée avec quatre moteurs série, travaillant sous 400/425 volts, d'une puissance nominale de 50 chevaux. Sur chaque bogie, deux moteurs commandent chacun un essieu au moyen d'un pignon en acier forgé engrenant une roue dentée en acier coulé calée sur l'essieu. Le rapport de réduction est 1/4,3. Les deux moteurs d'un même bogie étant groupés en série, les deux groupes de deux bogies sont constamment en parallèle. La régulation des moteurs de toutes les automotrices du train se fait de l'un quelconque des véhicules moteurs par le système de commande à unités multiples Sprague.

Dans ce système, l'inverseur et le contrôleur sont complètement séparés et ne sont pas manœuvrés directement par le conducteur. Celui-ci n'agit que sur la manette du manipulateur et cet appareil fait exécuter à distance et électriquement des mouvements identiques aux organes de commande de toutes les automotrices. Le manipulateur met en place l'inverseur pour la marche "avant" ou la marche "arrière", suivant le cas, et il fait tourner le contrôleur de l'angle nécessaire pour réaliser les connexions qui correspondent à la marche désirée ; les courants par lesquels il réalise ces opérations sont dérivés de la ligne principale, mais ont une très faible intensité, car ils n'agissent que sur des relais ; ils n'offrent ainsi aucun danger dans les cabines où se tiennent les conducteurs.

Le courant de traction passe seulement dans le contrôleur et l'inverseur et nullement dans le circuit de commande qui parcourt la ligne de train reliant entre elles les différentes automotrices.

Pour éviter la production d'arcs au contrôleur à la rupture du courant de traction, l'équipement est muni d'un appareil spécial appelé "Rupteur" dont la fonction est de couper le courant dès que la manette du manipulateur est ramenée à 0.

Il est établi en outre par l'intermédiaire des relais certaines interconnexions de sécurité empêchant le fonctionnement de tout appareil avant que les autres soient venus en position convenable.

Par exemple, l'inverseur ne peut changer de position que si le régulateur est revenu à 0 ; le régulateur ne peut obéir que si l'inverseur est en place ; il ne peut passer d'une position à la suivante que si, grâce au régulateur placé sur le circuit des moteurs, l'intensité est devenue acceptable pour le moteur.

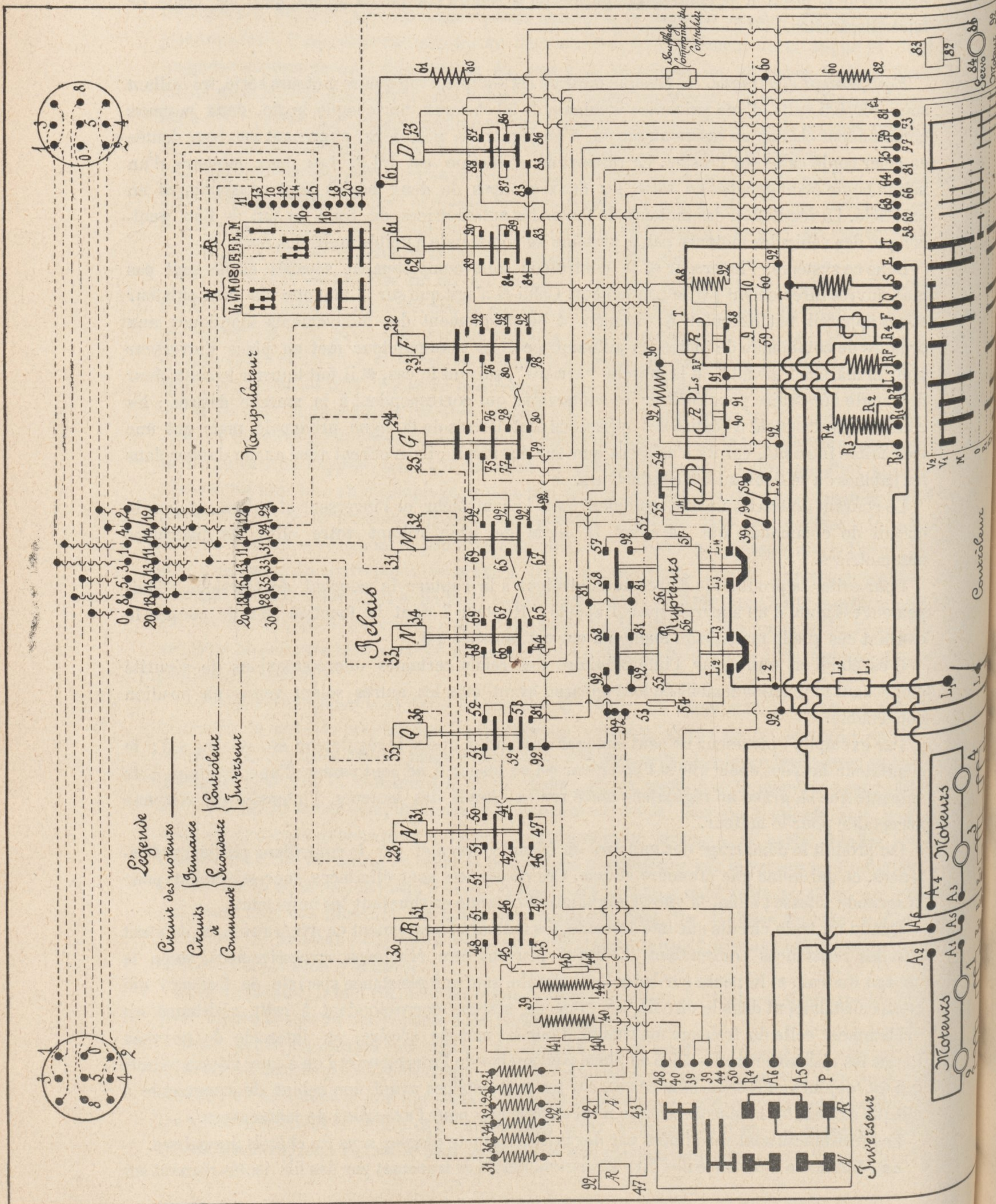
On produit le démarrage des moteurs en faisant intercaler par le contrôleur plusieurs résistances, ce qui donne une première vitesse. Ces résistances sont éliminées successivement pour la seconde vitesse ; enfin, la vitesse maxima est obtenue en shuntant les inducteurs.

Quand un train circule sur une descente, les moteurs fonctionnent en génératrice en débitant sur des résistances convenables. Celles-ci peuvent être éliminées successivement, selon la charge du train et la pente sur laquelle il circule, sauf une résistance spéciale de freinage qui reste constamment dans le circuit. Le cran de marche correspondant à cette résistance est évidemment celle du freinage maximum. Pour la marche arrière, on intercale de nouveau toutes les résistances après mise en place convenable de l'inverseur et l'on a une vitesse réduite qui est toujours suffisante dans ce cas, car les automotrices ayant une cabine de commande à chaque extrémité, la marche arrière n'est utilisée que pour l'exécution de manœuvres.

Les résistances sont constituées par des grilles en fonte placées sous les châssis des caisses.

La commande à distance des diverses automotrices se transmet par des fils isolés régnant sur

Fig. 22.



Legende

Circuit des moteurs ————

Circuits de Commande - - - - -

Circuits de Contrôle ········

toute la longueur du train. Ces fils sont réunis en un câble dont chaque véhicule porte un tronçon avec un dispositif spécial d'accouplement entre véhicules. Ils aboutissent aux manipulateurs et aux relais des diverses automotrices d'un même train. (Voir schéma des connexions, Fig. 22).

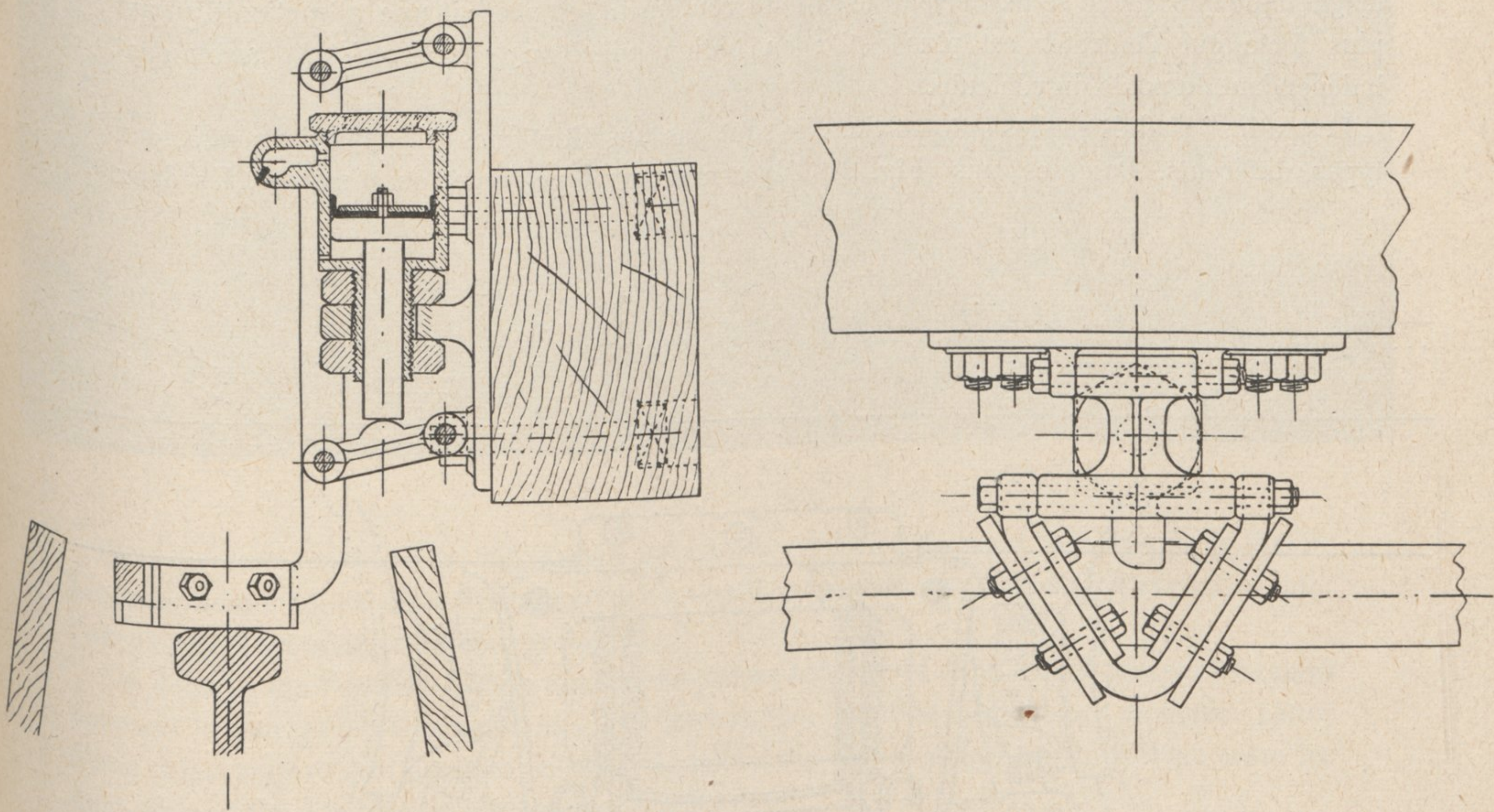
Frotteurs. — La prise de courant s'opère à l'aide de frotteurs fixés sur un bloc de bois paraffiné reposant sur une équerre boulonnée sous les boîtes à huile des essieux extrêmes des automotrices.

Chaque automotrice est ainsi munie de quatre frotteurs, deux de chaque côté, glissant sur le 3^e rail qui est placé tantôt à droite, tantôt à gauche de la voie de roulement.

Le frotteur proprement dit est constitué par un sabot en acier suspendu par deux biellettes; il s'applique par son seul poids sur le rail de contact.

Cette prise de courant est insuffisante lorsque le verglas et la neige recouvrent le 3^e rail. Dans ce cas, les automotrices sont munies de frotteurs spéciaux dits « *brise-verglas* ». Comme le montre la Fig. 23, ils sont essentiellement composés de quatre plaquettes en acier dur

Fig. 23.



reposant par leur tranche sur le rail de contact et boulonnées à l'extrémité d'un support dont le déplacement vertical dépend de la course d'un piston se mouvant dans un cylindre sous l'action de l'air comprimé à une pression plus ou moins grande. La force d'application des plaquettes peut donc être réglée par l'électricien conduisant le train.

Frein électro-magnétique. — Toutes les automotrices portent 4 patins électro-magnétiques. Ce sont des électro-aimants d'une forme particulière suspendus au châssis du bogie au moyen

de ressorts à boudin dont les noyaux sont terminés par des épanouissements maintenus entre les roues à une faible distance du rail de roulement qui constitue l'armature. Les enroulements des bobines excitatrices sont alimentés par un courant qui peut provenir soit de la ligne, soit des moteurs fonctionnant en génératrices, soit d'une source indépendante telle qu'une batterie d'accumulateurs. Dans les automotrices de la ligne de Bourg-Madame, ce dernier mode d'alimentation a été prescrit par une décision ministérielle.

Chaque automotrice est pourvue de deux batteries d'accumulateurs de 12 éléments Tudor dont une seule est utilisée en service courant et l'autre sert de batterie de réserve. Les deux batteries sont disposées à l'intérieur de coffres séparés des compartiments des voyageurs et dont la ventilation a été spécialement étudiée pour éviter tout ennui dû au dégagement des gaz.

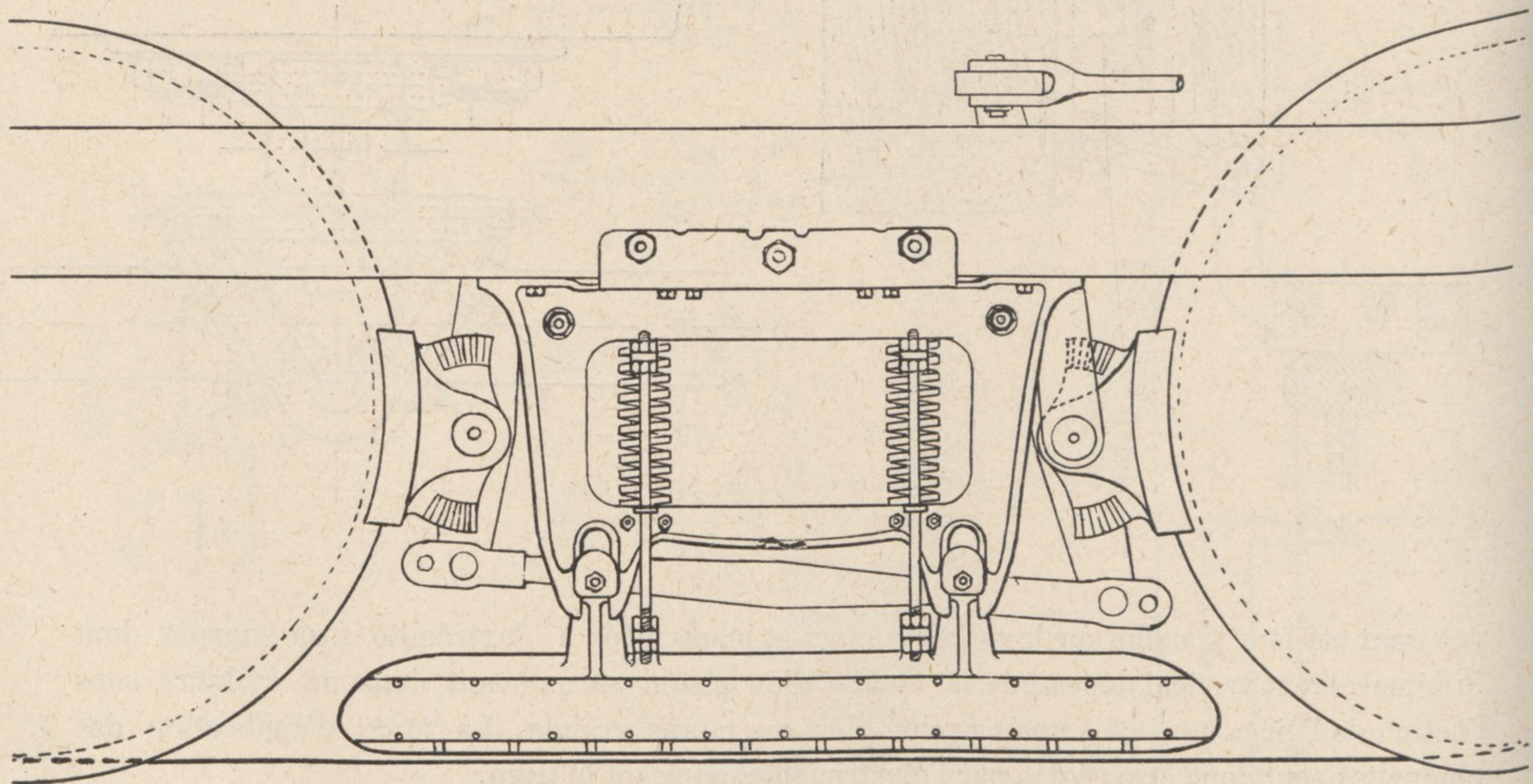
Chacune des batteries a une capacité de 185 ampères-heure en décharge de 10 heures ou de 92,5 ampères-heure en décharge d'une heure. Le fonctionnement des patins magnétiques demande un courant de 80 ampères environ sous 20 volts.

L'application des patins sur les rails de roulement peut être commandée de l'une quelconque des deux cabines des automotrices au moyen de commutateurs à rupture brusque.

Dès que le circuit des accumulateurs est fermé sur les patins, le courant détermine un champ magnétique qui tend à se fermer par le rail de roulement et produit une attraction d'autant plus forte que l'entrefer est plus petit : on obtient ainsi un effort résistant absolument indépendant du poids du véhicule.

Les patins installés sur les automotrices ne sont pas tous identiques ; ils appartiennent à deux types différents. Dans les uns (Fig. 24) l'épanouissement présente onze saillies, les deux

Fig. 24.



extrêmes formant plan incliné sur la face inférieure. Les neuf autres constituent des pôles dont cinq seulement sont bobinés ; l'intervalle de 10^{mm} qui sépare deux saillies voisines est rempli

par une barrette de laiton, afin que le flux ne se ferme pas dans le patin lui-même et qu'il suive le circuit magnétique que lui offre le rail de roulement.

La résistance électrique d'un patin comprenant cinq bobines montées en série et les câbles de connexion est d'environ 0 omh 75 à 15°.

Fig. 25.



Dans les autres patins (Fig. 25), l'épanouissement est formé de deux semelles de 0^m,800 de longueur boulonnées à deux flasques en acier coulé, séparées par la bobine d'excitation dont l'enroulement est minutieusement protégé.

Les deux patins d'un même bogie sont reliés par un tube creux dans lequel passent les câbles amenant le courant des accumulateurs aux bornes des bobines. Les bobines de quatre patins d'une même voiture sont montées en série, de telle sorte que la différence de voltage entre les deux bornes d'une bobine ne dépasse pas 6 volts.

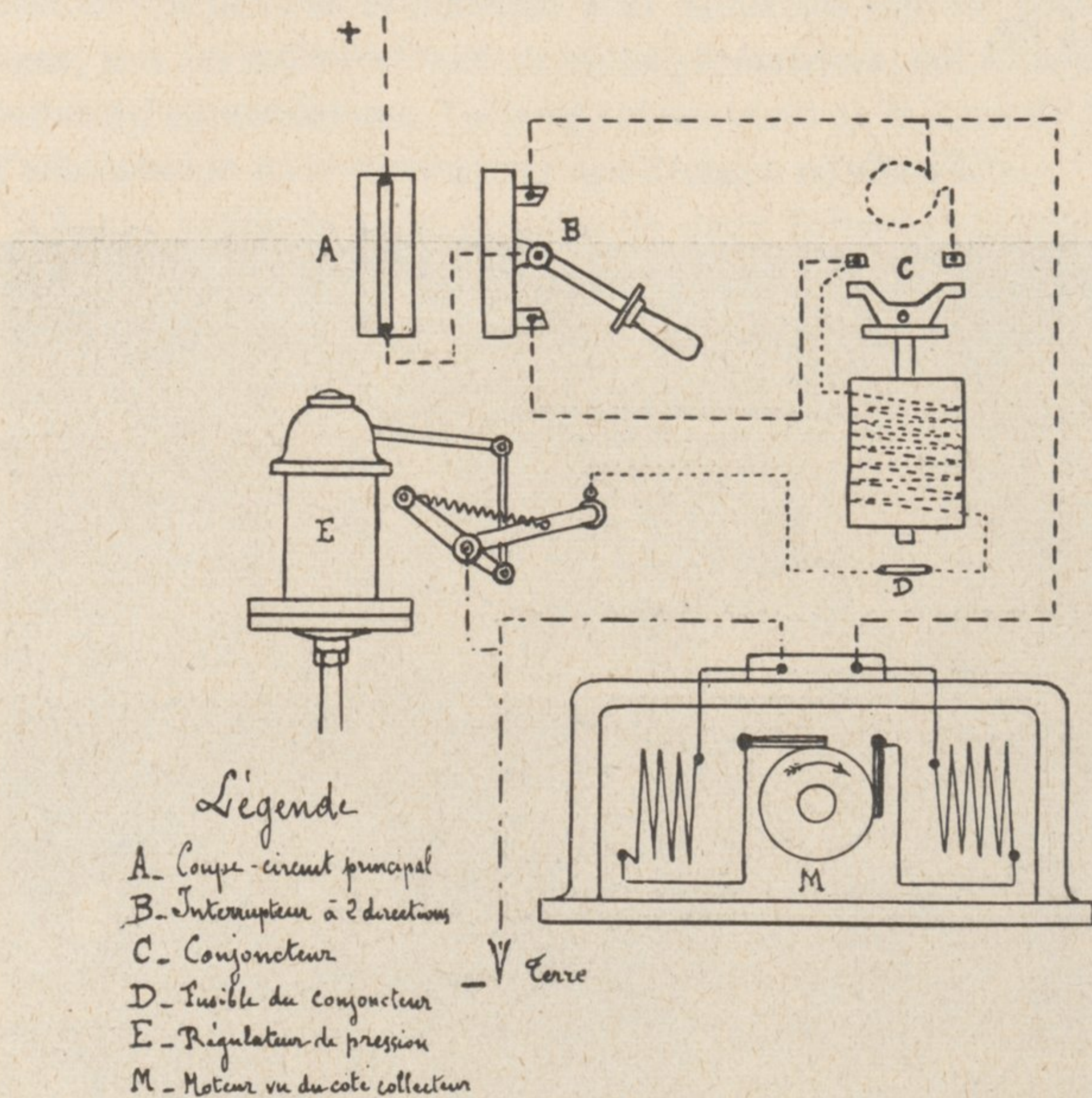
Une automotrice à voyageurs, du poids de 26 tonnes 500 environ, munie de ces patins, lancée à la vitesse de 13 kilomètres-heure sur pente de 60‰ est arrêtée en 15 secondes sur une distance de 53 mètres par le frein électromagnétique du type décrit en premier lieu.

Les résultats sont un peu moins satisfaisants avec l'autre type.

Compresseur électrique Olivier. — Il est composé d'une pompe à air à deux cylindres à axes parallèles, entraînée par engrenage simple par un moteur série à 850 volts pouvant être mis en route sans résistance de démarrage.

Les pistons de la pompe sont entraînés par des bielles actionnées elles-mêmes par un arbre

Fig. 26.



coudé à deux manivelles placées à 180°. L'ensemble, bielles, manivelles, engrenages, tourne à l'intérieur d'un carter étanche contenant l'huile de graissage.

La mise en marche du compresseur s'effectue au moyen d'un interrupteur à deux directions soit à la main, soit automatiquement. L'automatisme s'obtient à l'aide d'un régulateur ajusté pour une pression de 6 kilogrammes qui ferme le circuit d'un conjoncteur lorsque la pression du réservoir principal s'abaisse de 5 à 600 grammes. Le réglage du déclenchement est effectué à l'aide d'un écrou qui comprime plus ou moins le ressort du piston-diaphragme. Le conjoncteur relié au régulateur automatique de pression constitue un relai fermant le circuit du moteur

lorsque son solénoïde est parcouru par le courant (voir Fig. 26).

B. — PARTIES NON COMMUNES.

Automotrices à voyageurs. — Les automotrices à voyageurs ont une longueur entre tampons de 14^m,400 ; leur caisse a 13^m,500 de longueur, 2^m,300 de hauteur et 2^m,350 de largeur intérieure. L'entr'axe des bogies est de 8^m,500. A chaque extrémité de la caisse est ménagée une cabine pour le conducteur électrique (Fig. 27). Chacune d'elles possède donc un manipulateur, un robinet de mécanicien et une manivelle de frein à main pour que la conduite du train puisse être faite indistinctement de l'une ou de l'autre extrémité de l'automotrice. Les différents organes nécessaires à la commande et à la régulation : régulateur, inverseur, tableaux des relais et des interrupteurs, résistances additionnelles des circuits de commande, etc., etc., sont groupés dans la plus grande cabine, dite cabine avant. Le compresseur à air est placé dans la petite cabine, dite d'arrière.

Il n'existe qu'une seule manette de commande de manipulateur dans un train formé de une ou plusieurs automotrices, afin d'éviter toute fausse manœuvre qui se produirait inévitablement si l'on actionnait le manipulateur de toute autre cabine que celle où se trouve l'électricien conducteur.

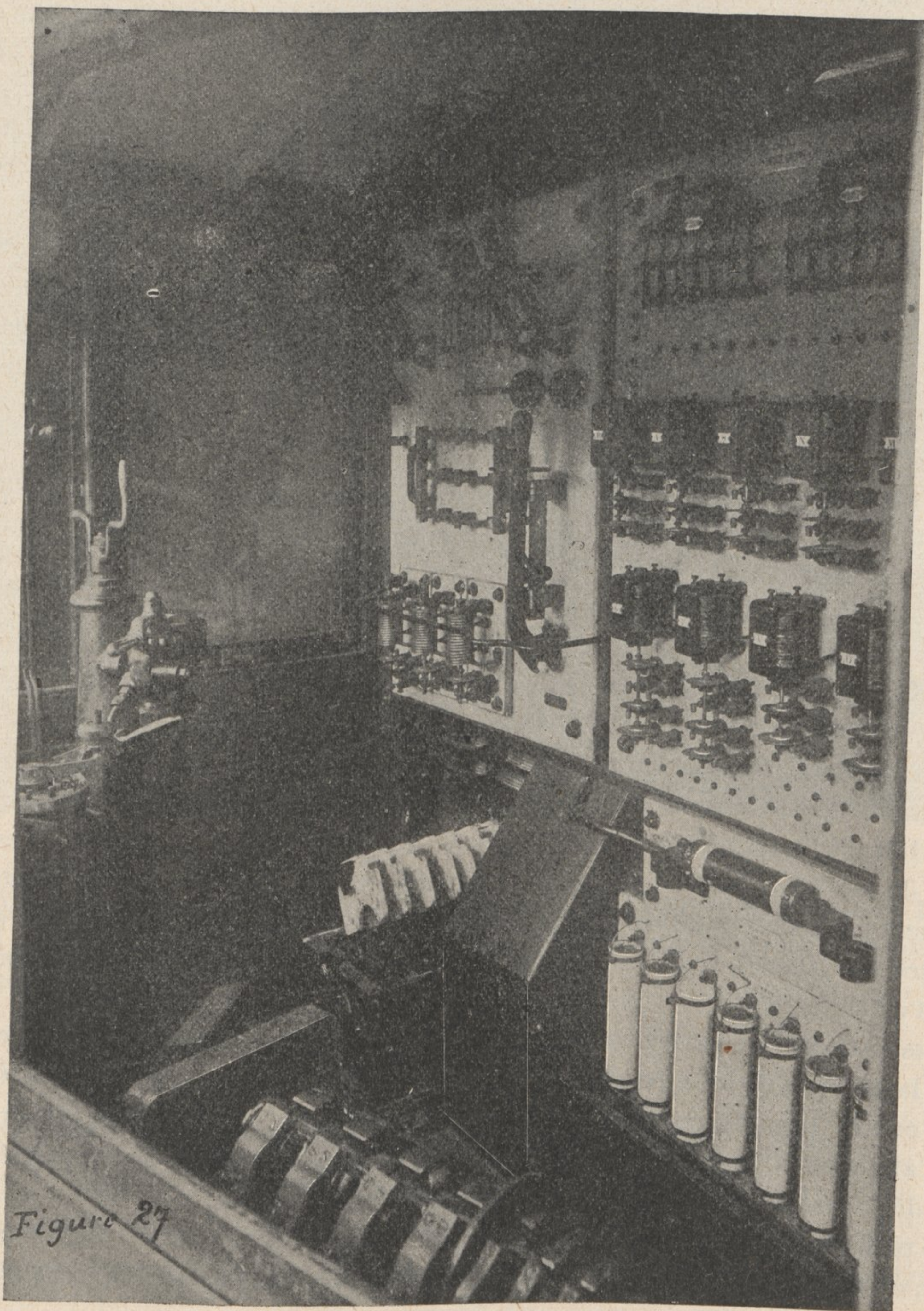
La caisse comprend en outre un compartiment de 1^{re} classe à 8 places, contigu à la cabine arrière, et s'ouvrant sur un passage transversal terminé à chaque extrémité par une porte de sortie.

De l'autre côté du passage se trouve le compartiment de 2^e classe comprenant 36 places assises avec passage au milieu.

Enfin, le compartiment du fourgon occupant une surface de cinq mètres carrés est compris entre le compartiment de 2^e classe et la cabine avant.

Toutes les parties de la voiture communiquent par des portes; les cabines elles-mêmes

Fig. 27.



possèdent dans l'axe de la voiture des panneaux mobiles qui peuvent permettre aux agents du train l'intercirculation entre automotrices et même entre automotrices et remorques à voyageurs.

L'éclairage des voitures est fait par 14 lampes montées par 7 en série et groupées de telle façon que chaque compartiment possède un nombre égal de lampes de chaque série suivant la répartition ci-après :

Cabines de manœuvre.....	2 lampes chacune
Fourgon.....	2 lampes
Compartiment de 1 ^{re} classe.....	2 lampes
Compartiment de 2 ^e classe.....	6 lampes.

Le chauffage des compartiments est assuré par des chaufferettes électriques qui absorbent 90 watts par chaufferette et par heure.

Le poids des automotrices à voyageurs à vide est de 27 tonnes, y compris l'équipement électrique et les bogies.

Automotrices à marchandises — Elles ont une longueur totale de 10^m,750 entre tampons. Leur caisse a 9^m,960 de long, 2^m,135 de hauteur et 2^m,185 de largeur intérieure. L'entr'axe des bogies est de 5^m,880. A l'une des extrémités de la caisse, les divers appareils de régulation et de commande en unités multiples sont groupés dans une cabine suivant les dispositions décrites pour les automotrices à voyageurs.

Comme ces véhicules ne sont occupés que par les agents des trains, on n'a pas jugé nécessaire de construire une deuxième cabine pour renfermer le compresseur d'air, le manipulateur et le robinet de commande du frein différentiel, etc..., etc..., correspondant à la cabine arrière des automotrices à voyageurs.

Indicateur-enregistreur de vitesse système « Tel ». — Toutes les automotrices sont pourvues des organes de transmission nécessaires à la commande d'un indicateur-enregistreur de vitesse système Tel qui peut être placé dans l'une ou l'autre des deux cabines.

A cet effet, sur la cocarde du deuxième essieu des bogies a été vissé un goujon qui actionne par le moyen d'une fourche un engrenage placé dans une boîte rapportée sur la boîte à huile de l'essieu. Une transmission réalisée par joints à la cardan et arbres télescopiques relie les engrenages de la boîte à huile à une boîte d'engrenages placée sous la caisse de l'automotrice. Le mouvement est ensuite transmis à un arbre vertical montant dans la cabine de l'électricien et sur l'extrémité duquel vient s'accoupler l'arbre de la boîte de l'indicateur-enregistreur proprement dit (Fig. 28).

Cette boîte comporte un mouvement d'horlogerie entraînant le déroulement d'une bande de papier sur laquelle un style à pointe sèche marque un point toutes les secondes. On obtient ainsi une courbe presque continue dont les ordonnées sont proportionnelles aux vitesses moyennes, atteintes par le véhicule dans l'espace d'une seconde et qui sont indiquées par une aiguille se déplaçant sur un cadran circulaire gradué de 0 à 60 kmh.

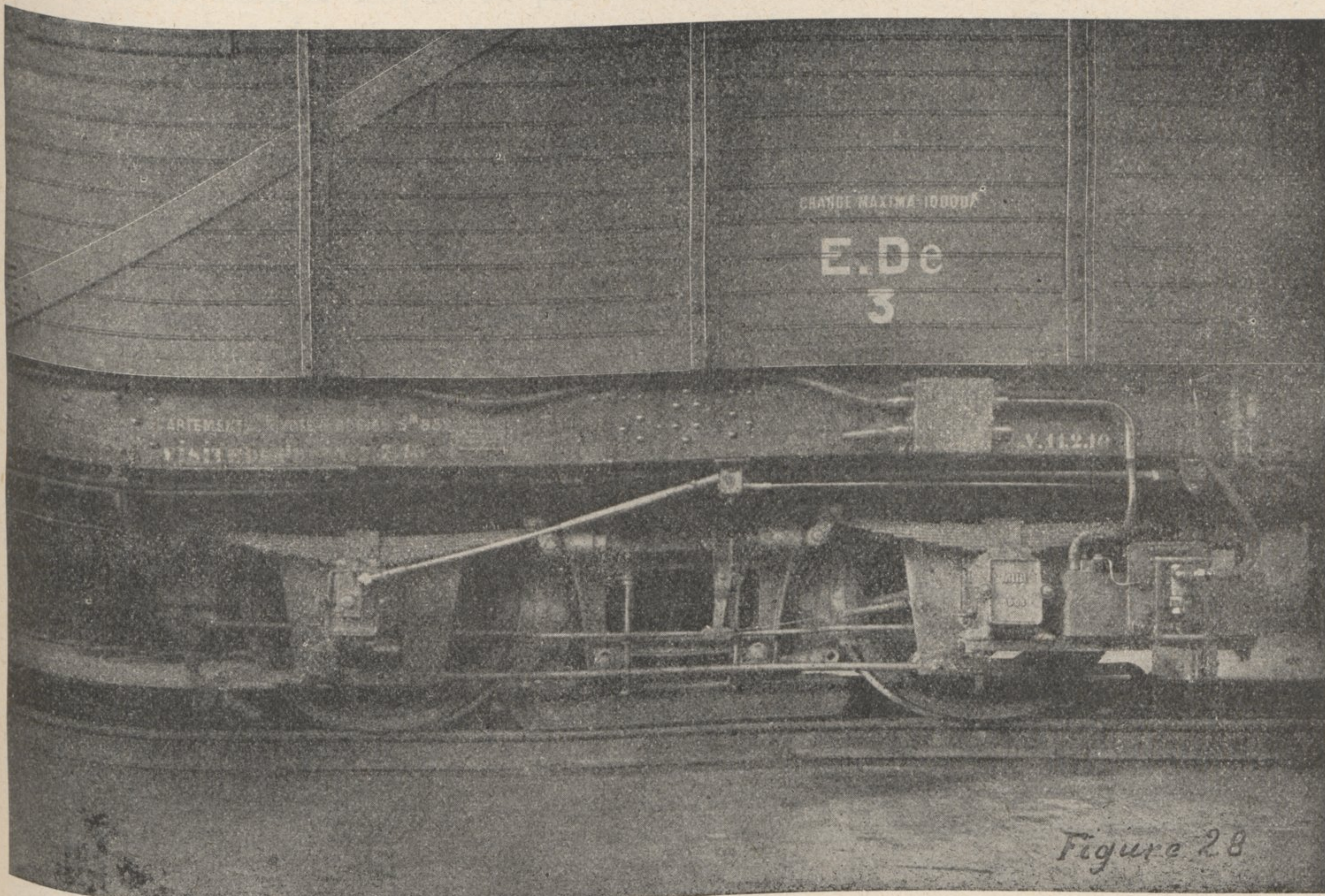
Un style perforant enregistreur des parcours pointe sur la même bande de papier les demi-kilomètres, au fur et à mesure qu'ils sont parcourus, sur une ligne horizontale située au-dessous de la ligne des vitesses nulles.

Un des rouleaux entraîneurs assure l'enregistrement des temps au moyen de pointes qui impriment, sur les bords supérieur et inférieur de la bande, des marques équidistantes de 3 millimètres correspondant à un intervalle de temps d'une minute.

Le remontage du mouvement d'horlogerie se fait automatiquement sous l'action de l'arbre vertical.

L'appareil indicateur-enregistreur, d'un poids de 4 kilogrammes environ, est aisément transportable. L'électricien conduisant un train ne possède qu'un seul appareil, quel que soit le

Fig. 28.



nombre d'automotrices comprises dans son train ; il peut en effet l'implanter, selon les besoins, sur le raccord extrême de l'arbre vertical de l'une ou l'autre transmission de l'une quelconque des automotrices qu'il conduit.

REMARQUES

Le matériel roulant de remorque comprend :

- 1° 14 voitures à voyageurs à 60 places chacune ;
- 2° 65 wagons spéciaux pour le transport des minerais ;
- 3° 29 wagons couverts pour le transport des bestiaux et des marchandises craignant la mouille ;
- 4° 52 wagons plats, dont 10 sont munis de traverses mobiles avec ranchers pour le transport des longues pièces de bois ;
- 5° 1 wagon couvert équipé du matériel de secours.

Remorques à voyageurs. — Ces voitures sont portées sur deux bogies analogues à ceux des voitures automotrices. L'entr'axe de ces bogies est de 8^m,500; leurs roues ont 0^m,850 de diamètre avec l'écartement de 2^m. Elles possèdent un frein à main et un frein continu automatique actionnant les 8 sabots (un par roue) de la timonerie.

L'appareil de choc et de traction est l'attelage automatique central Lambert-Leduc. La caisse, construite comme celle des automotrices à voyageurs, comprend un compartiment à 8 places pour la première classe, un compartiment à cinq travées pour 40 places de seconde classe et une plateforme couverte du côté du compartiment de première classe. La garniture des compartiments et le mode de construction sont exactement semblables à ceux des automotrices à voyageurs. Un fourgon occupe l'une des extrémités de la caisse. L'éclairage se fait au moyen de lampes à incandescence et le chauffage au moyen de chaufferettes électriques, comme aux automotrices à voyageurs.

Remorques à marchandises.

Wagons pour le transport des minerais. — Ce sont des plateformes ordinaires d'une capacité de 10 tonnes avec hausses mobiles de 320^{mm} de hauteur.

Le transbordement de leur contenu dans les wagons de la voie normale ne nécessite aucune disposition particulière des plateformes. Celles-ci sont en effet reçues sur une voie longeant la voie normale et surélevée de façon à présenter une différence de niveau de 1^m,50 entre les planchers. Des trémies avec couloir de déchargement établies entre les deux voies permettent un déchargement rapide et économique.

Autres véhicules. — Ce sont des wagons pouvant transporter 10 tonnes dans des caisses de capacité sensiblement égale à celles des wagons similaires du réseau à voie normale.

Bien qu'ils circulent sur des lignes présentant un grand nombre de courbes de 80 mètres de rayon, on n'a pas cru devoir les monter sur bogies. L'expérience a montré que la stabilité et le roulement sont excellents sur ces véhicules à essieux rigides écartés de 3^m,150, mais pour lesquels on a eu soin de laisser aux boîtes un jeu de quelques millimètres.

Tous les véhicules P. V. sont à châssis métallique.

L'appareil de choc et de traction est central et automatique comme pour les automotrices; enfin, chaque roue est munie de deux sabots actionnés par les organes d'un frein à main et du frein automatique continu différentiel Westinghouse.

Nous donnons ci-après le nombre et les caractéristiques des véhicules et remorques.

A. — REMORQUES A VOYAGEURS: 14 VOITURES ABDe 1 A 14

Nombre de places assises	48
Id. total.....	60
Nombre d'essieux.....	4 sous 2 bogies
Entr'axe des bogies.....	8 ^m .500
Ecartement des essieux d'un bogie.....	2 ^m ,000
Diamètre des roues	0 ^m ,850
Longueur avec tampons.....	13 ^m ,850

Dimensions intérieures des caisses.	Longueur .	1 ^{re}	1 ^m ,600	
		2 ^{me}	1 ^m ,370	
	Largeur.....		2 ^m ,350	
		Hauteur {	1 ^{re}	2 ^m .065
			2 ^{me}	2 ^m ,075
Poids uniformément réparti sur les quatre essieux à vide.....			14.500 ^k	

B. — WAGONS A MINERAIS Je :

Charge maxima utile.....	10 tonnes	
Nombre d'essieux	2	
Ecartement des essieux.....	3 ^m ,150	
Diamètre des roues.....	0 ^m ,850	
Longueur avec tampons.....	6 ^m ,390	
Dimensions {	Longueur.....	5 ^m ,580
intérieures des caisses {	Largeur.....	2 ^m ,300
Poids uniformément réparti sur les essieux (à vide).....		4.800 ^k

C. — WAGONS COUVERTS { 29 wagons Ke
1 wagon de secours We

Limite de charge.....	10 tonnes	
Nombre d'essieux.....	2	
Diamètre des roues.....	0 ^m ,850	
Ecartement des essieux.....	3 ^m ,150	
Longueur avec tampons.....	6 ^m ,390	
Dimensions {	Longueur.....	5 ^m ,580
intérieures des caisses {	Largeur.....	2 ^m ,300
	Hauteur des traverses.....	1 ^m ,980
Poids à vide (châssis en fer, caisse mixte, fer et bois).....		6.730 ^k

D. — WAGONS PLATS..... { Qe 901 à 910 munis de traverses mobiles
He 601 à 642

Limite de charge.....	10 tonnes	
Nombre d'essieux.....	2	
Diamètre des roues.....	0 ^m ,850	
Ecartement des essieux.....	3 ^m ,150	
Longueur avec tampons.....	6 ^m ,390	
Dimensions du plancher {	Longueur.....	5 ^m ,580
	Largeur.....	2 ^m ,300
Poids à vide.....		5.400 ^k

Châssis et caisse entièrement métalliques.

EXPLOITATION DE LA LIGNE.

Du 9 septembre 1909, date de la mise en route de l'Usine centrale, au 18 juillet 1910, date de l'ouverture au service public de la première section de la ligne de Villefranche-Vernet-les-Bains à Mont-Louis-la-Cabanasse, il a été procédé à la mise au point du matériel, à l'éducation du personnel et au transport de tout le matériel destiné à la construction complète de la deuxième section de la ligne Mont-Louis-la-Cabanasse à Bourg-Madame. Cette deuxième section a été ouverte au service public le 28 juin 1911.

Dès le début de la mise en exploitation, il a été visible que le trafic allait rapidement dépasser les prévisions.

Les trains mixtes ont été remplacés presque complètement par des trains de voyageurs et l'on a dû créer de nombreux trains de marchandises (Fig. 29).

Fig. 29.

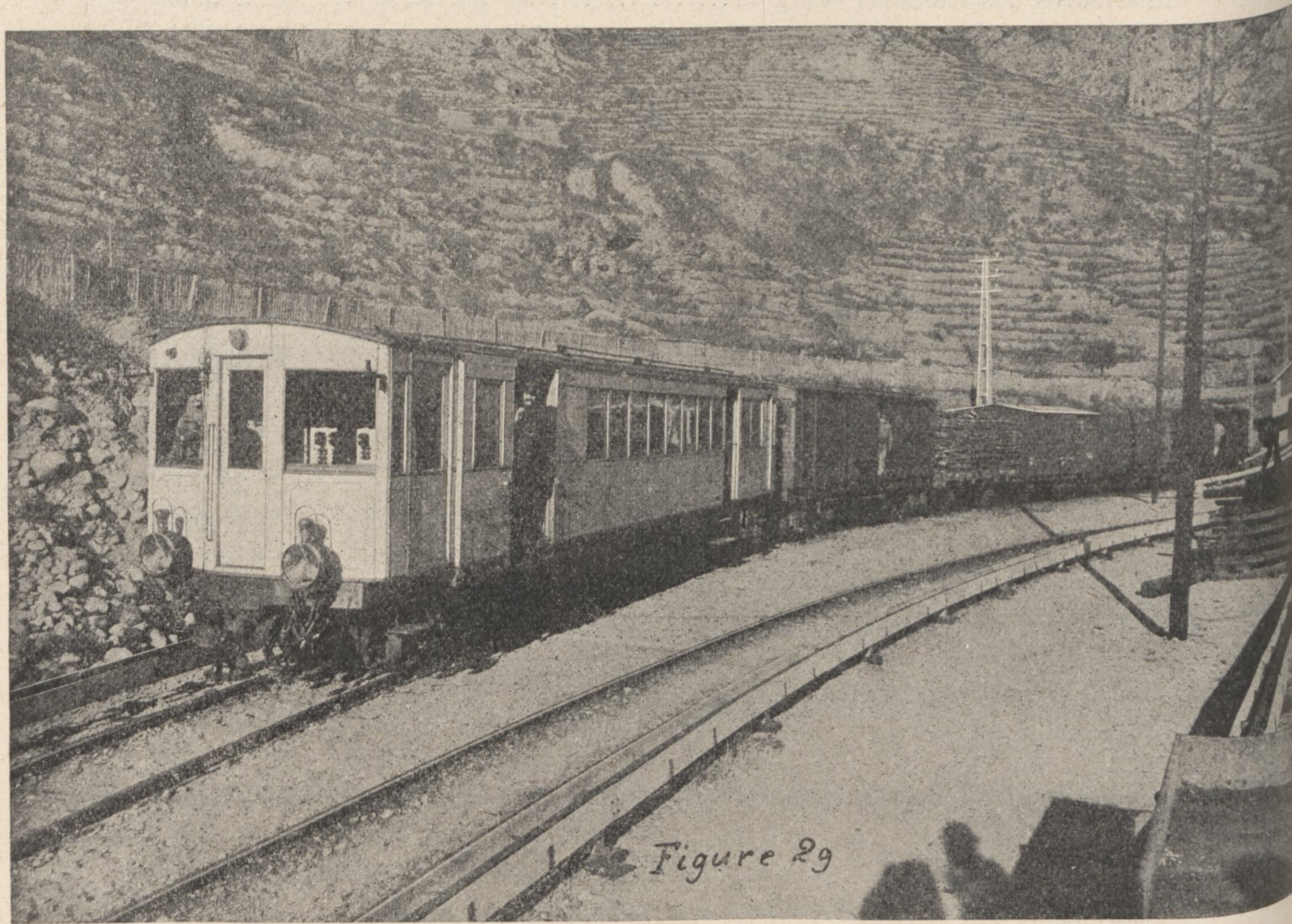


Figure 29

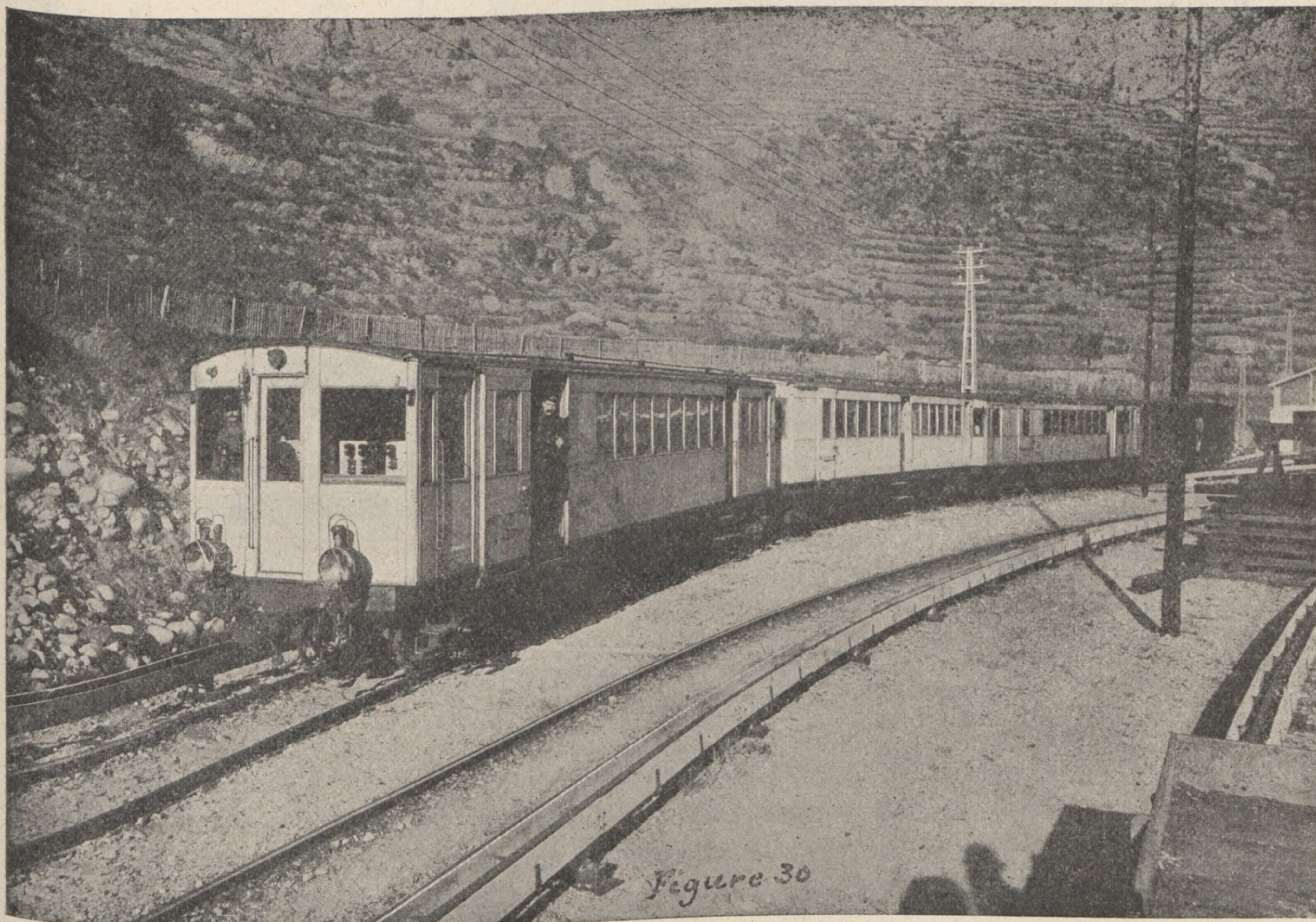
Actuellement, le transport des minerais est assuré entre Villefranche et Joncet par trois ou quatre trains journaliers. Deux ou trois trains de marchandises circulent journellement dans chaque sens entre Villefranche-Vernet-les-Bains et Mont-Louis-la-Cabanasse.

Les automotrices à marchandises sont généralement réservées à la traction des trains de

marchandises. Quelques-unes toutefois sont attelées aux trains de voyageurs pour le transport des marchandises de détail. (Fig. 30).

Chaque train est accompagné d'un électricien des trains, chargé de la conduite du train, d'un chef de train et d'un aide-électricien, ce dernier placé dans l'automotrice de queue.

Fig. 30.



Un train autre qu'un train de service ou de secours ne peut contenir plus de trois automotrices en service. Le tonnage maximum des trains est de 120 tonnes, à raison de 40 tonnes au plus par automotrice. Toutefois, entre Villefranche-Vernet-les-Bains et Joncet, la charge maximum des trains de marchandises peut être portée à 105 tonnes si le train est remorqué par deux automotrices et à 190 tonnes si le train est remorqué par trois automotrices.

Il doit y avoir une automotrice en tête et une automotrice en queue de tous les trains. En outre, dans tout train à trois automotrices se dirigeant vers Mont-Louis-la-Cabanasse, les deux derniers véhicules doivent être deux automotrices.

La vitesse maxima autorisée sur les diverses déclivités de la ligne est indiquée dans le tableau ci-après.

DÉCLIVITÉS EN MILLIMÈTRES PAR MÈTRES	VITESSE EFFECTIVE MAXIMA AUTORISÉE POUR LES TRAINS			
	MIXTES		DE MARCHANDISES OU DE TRAVAUX	
	Descente	Montée	Descente	Montée
de 0 à 33 ^{mm} inclus.....	50	50	30	35
de 33 à 41 ^{mm} —	35	35	30	35
de 41 à 55 ^{mm} —	30	30	30	30
de 55 à 61 ^{mm} —	25	25	25	25

Il est interdit de placer dans la composition d'un train contenant des voyageurs un véhicule dont le frein à vis et le frein à air comprimé seraient tous deux hors d'état de fonctionner.

A la descente des pentes, il est recommandé aux électriciens de faire usage alternativement du freinage à air et du freinage électrique par les moteurs fonctionnant comme générateurs.

Un train de 80 tonnes, à deux automotrices, montant de Villefranche-Vernet-les-Bains à Mont-Louis absorbe 320 kilowatt-heures.

Le même train descendant de Mont-Louis à Villefranche-Vernet-les-Bains n'absorbe que 40 kilowatts-heure, compresseur compris.

Le diagramme permet de constater que l'énergie prise aux points d'alimentation du 3^e rail (Usine centrale et sous-stations) est égale à 80 watts-heure par tonne kilométrique tractionnée.

La consommation par place-kilomètre est de 39 watts-heure.

REMARQUE PARTICULIÈRE.

Entre les P.K. 28 et 40, la ligne reste sur un large plateau à faibles dénivellations, limité latéralement par de hautes montagnes. Cette région est particulièrement sujette à de fréquents orages du mois d'avril au mois de septembre de chaque année. Les hauts sommets étant très éloignés de la voie, les décharges atmosphériques se produisent soit sur les lignes à haute tension, soit sur les lignes télégraphiques ou téléphoniques, soit sur le troisième rail lui-même.

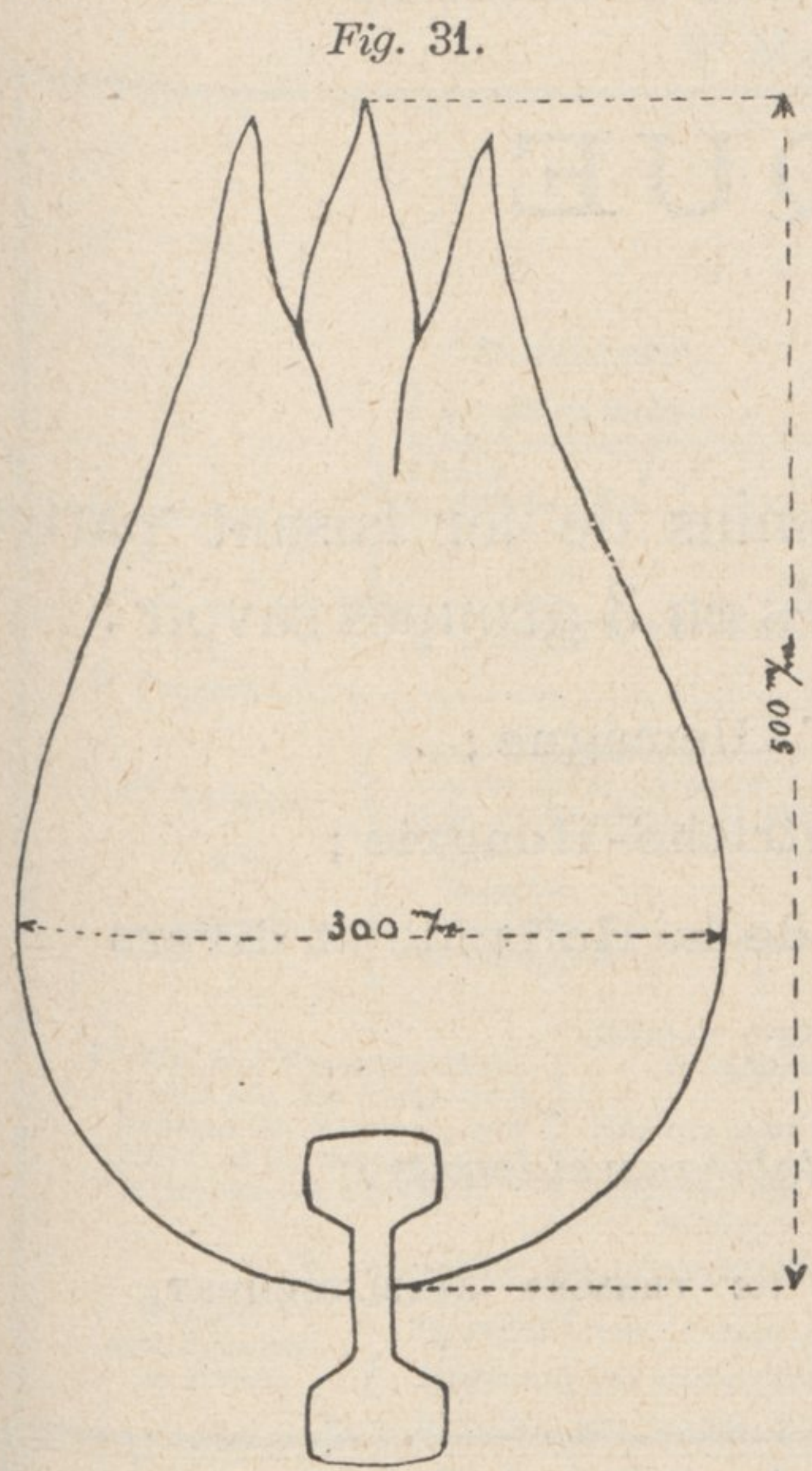
La ligne à haute tension, protégée par les parafoudres et les déchargeurs hydrauliques de l'Usine centrale et des sous-stations, n'a subi que de légères avaries d'isolateurs et de poteaux. Sur les lignes télégraphiques et téléphoniques des décharges ont brûlé à plusieurs reprises des parafoudres et des bobines des postes.

Mais c'est plus particulièrement sur la ligne de contact que les décharges ont amené de nombreuses avaries et qu'elles ont donné lieu à des phénomènes assez curieux.

Bien qu'à l'Usine centrale et à chacune des sous-stations un parafoudre spécial ait été installé entre la barre positive à 850 volts et la terre, durant le seul mois de juillet 1911, neuf avaries importantes ont été constatées à la suite de décharges sur le troisième rail. L'avarie la plus fréquente est le percement de l'isolant des câbles armés des passages à niveau et aiguillages.

En juin 1911, des cantonniers travaillant sur la voie, entre Bolquère et Odeillo, déclarent avoir vu à deux reprises différentes, le soir pendant un orage, une traînée de feu courant rapidement sur le troisième rail dans la direction de Mont-Louis.

Le 3 juillet 1911, deux autres cantonniers, à l'abri sous le tunnel du col Rigat (P.K. 40) durant un orage, aperçurent une boule de feu suivre le troisième rail vers Odeillo.



Le 16 août, le Chef de Dépôt de Villefranche-Vernet-les-Bains, se trouvant à l'arrière d'un train, aperçut par temps d'orage une boule lumineuse venant sur le troisième rail à la rencontre du train vers le P.K. 26. Cette boule lumineuse rencontrant le premier frotteur de l'automotrice de tête suivit le câblage de traction et provoqua l'éclatement du parafoudre installé sur l'automotrice de tête et l'amorçage d'un arc à la manivelle du frein. L'électricien du train fut brûlé à la main.

La Fig. 31 indique les dimensions approximatives du contour apparent de la boule lumineuse telle qu'elle apparut au Chef de Dépôt.

En vue de prévenir autant que possible le retour de pareils accidents, la Compagnie du Midi a décidé d'installer de nouveaux parafoudres à distance d'éclatement plus réduite sur le troisième rail à l'entrée et à la sortie de chacune des gares de la section Planès-Bourg-Madame.