

NOTE

SUR LES

INSTALLATIONS FIXES DE TRACTION ELECTRIQUE
DE LA LIGNE DE CULOZ A MODANEPar **M. LE TOUZÉ,**

INGÉNIEUR AU SERVICE CENTRAL DE LA VOIE DE LA COMPAGNIE P.-L.-M.

et **M. TOURNEUR,**

INGÉNIEUR ADJOINT AU SERVICE CENTRAL DU MATÉRIEL DE LA COMPAGNIE P.-L.-M.

(Pl. VIII et IX).

La Compagnie des Chemins de fer P.-L.-M. a entrepris en 1923 les travaux d'électrification par courant continu à 1 500 V de la ligne de Culoz à Modane.

La section Chambéry-St-Pierre d'Albigny, longue de 25 km environ, fut équipée en 1925 et utilisée à partir de cette époque pour les essais et la mise au point des divers types de locomotives électriques.

Différés par suite des difficultés économiques et financières de l'année 1926, les travaux d'électrification ne furent repris qu'à la fin de 1927.

Au cours de l'été dernier, les locomotives électriques ont été complètement substituées aux locomotives à vapeur entre Chambéry et St-Jean-de-Maurienne. Depuis le début du mois dernier la traction électrique est exclusivement utilisée sur la section St-Jean-de-Maurienne-Modane.

La présente note a pour objet de décrire les installations fixes de traction électrique de la ligne de Culoz à Modane : lignes d'alimentation à haute tension, sous-stations et équipement électrique de la Voie.

I. — LIGNES A HAUTE TENSION.

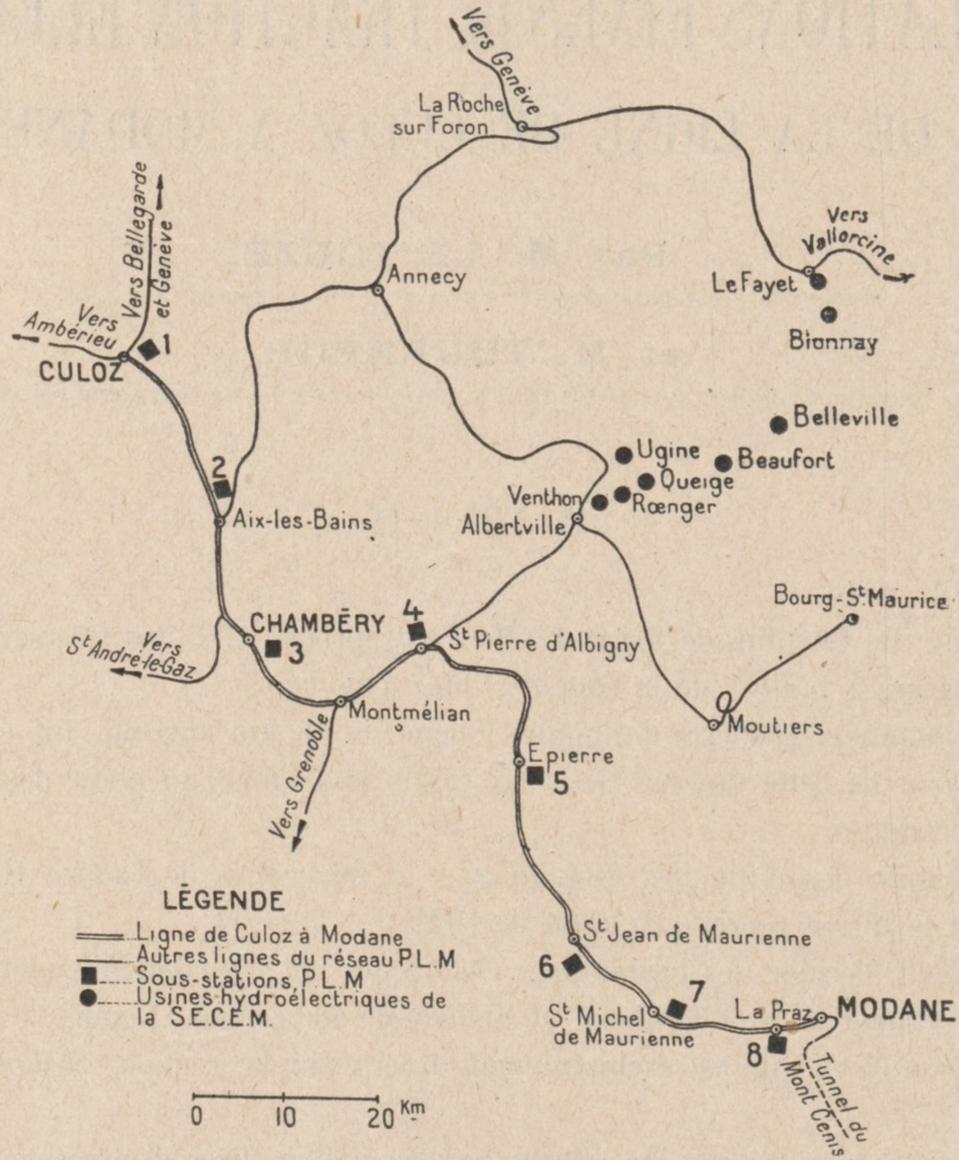
L'énergie électrique nécessaire à la traction des trains est fournie par la Société d'Electrochimie, d'Electrometallurgie et des Aciéries électriques d'Ugine (S.E.C.E.M.), qui possède un groupe important d'usines hydroélectriques dans les bassins de l'Arly et de l'Arve.

Le réseau à haute tension de cette Société fonctionne à la fréquence de 50 périodes et sous une tension moyenne de 42 000 V. Cette tension ayant été reconnue largement suffisante pour assurer l'alimentation des sous-stations dans de bonnes conditions, la Compagnie P.-L.-M. put éviter l'installation de transformateurs élévateurs.

Du poste central du réseau de la S.E.C.E.M., situé à Venthon, près d'Albertville, partent deux lignes triphasées à 42 000 V, établies sur des supports communs ; ces lignes suivent la vallée de l'Isère, pour aboutir à la sous-station de St-Pierre-d'Albigny (fig. 1 et 2), distante de Venthon de 25 km environ.

Au départ de Venthon, un raccordement de secours permet, en cas d'accident dans le poste,

Fig. 1.



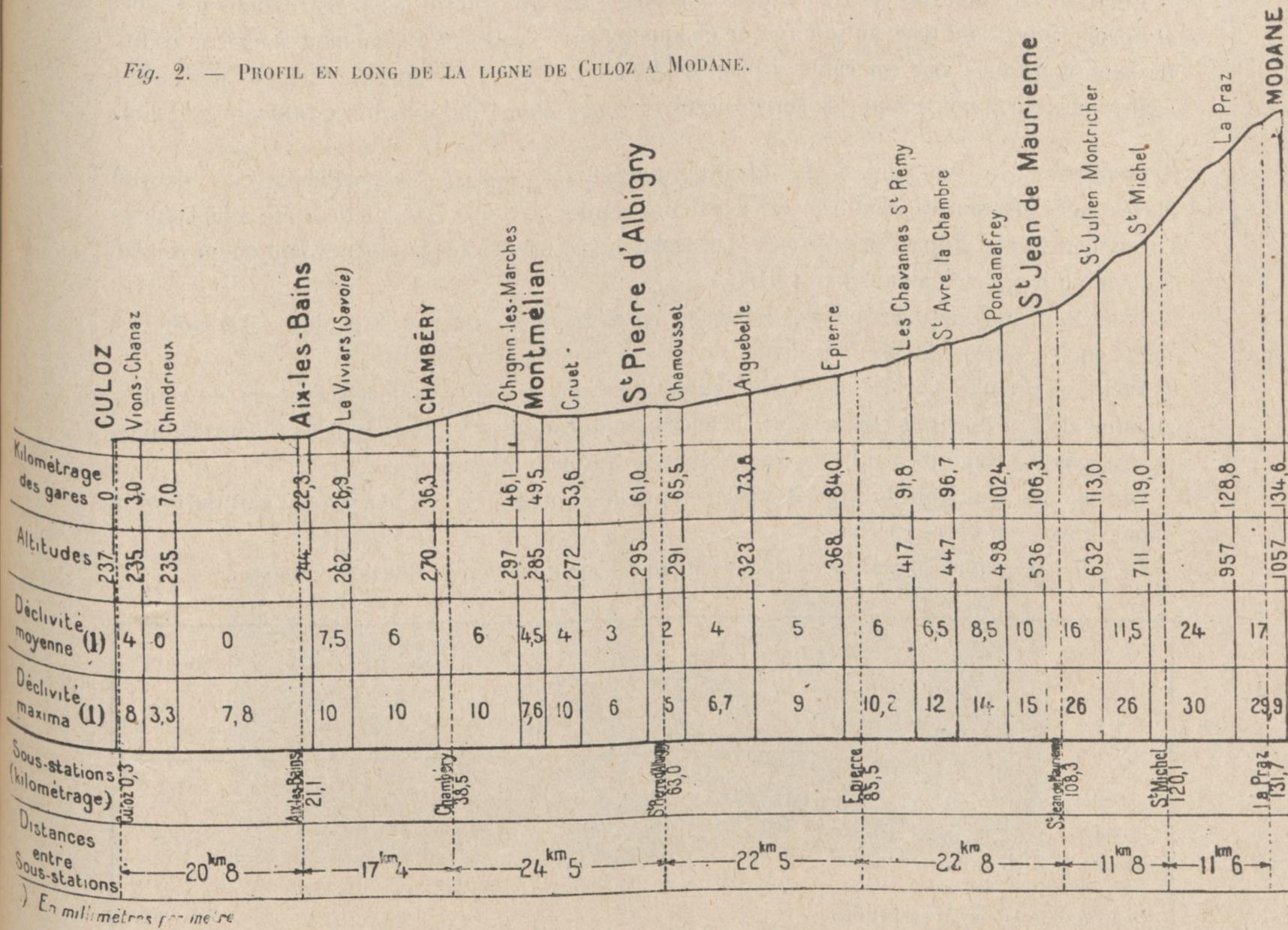
de continuer l'alimentation des sous-stations P.-L.-M. par un des groupes d'usines du fournisseur d'énergie.

Deux autres artères à 42 000 V, tout à fait analogues aux précédentes, partent de la sous-station de St-Pierre-d'Albigny et assurent l'alimentation des sous-stations de Chambéry, Aix-les-Bains et Culoz, d'une part, Epierre, St-Jean-de-Maurienne, St-Michel-de-Maurienne et La Praz, d'autre part.

Les sous-stations se trouvant ainsi reliées à un seul point d'alimentation, il importait, tant pour la sécurité de l'exploitation que pour le maintien d'une tension acceptable en toutes circonstances, de pouvoir réduire au minimum, en cas d'avarie, la longueur de la section de ligne à 42 000 V à mettre hors tension. A cet effet, toutes les sous-stations forment poste de sectionnement automatique des lignes à haute tension.

Dans les paragraphes qui suivent, nous ne donnerons qu'une description sommaire des lignes d'alimentation, dont la caractéristique principale réside surtout dans la robustesse de leurs éléments constitutifs.

Fig. 2. — PROFIL EN LONG DE LA LIGNE DE CULOZ A MODANE.



Conducteurs. — Chaque ligne se compose de 3 câbles, dont la conductibilité correspond à 193 mm² de section d'aluminium pour l'artère Venthon-St-Pierre-d'Albigny et à 162 mm² pour l'artère Chambéry-La Praz.

De Venthon à St-Pierre-d'Albigny et Chambéry, la ligne est établie en terrain peu accidenté, et la portée moyenne est de 100 mètres; aussi a-t-on pu constituer les conducteurs avec de l'aluminium à 99-99,5%, sans âme d'acier. Chaque conducteur est composé de 19 fils de 33/10 mm de Chambéry à St-Pierre-d'Albigny et de 19 fils de 36/10 mm de St-Pierre-d'Albigny à Venthon, ce qui correspond aux sections indiquées plus haut.

Ces conducteurs offrent une résistance de 17 kg par mm² et sont tendus à 5,66 kg au maximum, ce qui donne, pour 100 mètres de portée, sans vent, et à la température de 40°C, une flèche de 2 m 60 environ pour le câble de 193 mm² et de 2 m 85 pour celui de 162 mm².

Sur le reste du parcours des lignes, de St-Pierre-d'Albigny à La Praz, il a été nécessaire, en raison des grandes portées et du profil accidenté, d'utiliser en certains points des câbles

d'aluminium à âme d'acier, composés de 30 fils d'aluminium et 7 fils d'acier de 2,58 mm de diamètre. Leur résistance à la rupture est de 29 kg par mm² de section totale du câble, et ils sont tendus à 5,66 kg au maximum.

Enfin, deux câbles de terre, destinés à protéger la ligne contre les perturbations d'origine atmosphérique, sont fixés au sommet de chaque pylône et reliés électriquement à chacun d'eux. Ils sont constitués par un câble d'acier de 60 mm² (19 fils de 20/10). Chaque pylône est également relié à une plaque de terre en cuivre rouge étamé de 500 mm × 500 mm × 2 mm.

Isolateurs. — La tension de 42 000 V permettant, malgré les coefficients de sécurité élevés jugés nécessaires, d'utiliser des isolateurs rigides, ce type d'isolateur a été adopté pour l'armement de la plupart des pylônes. Les isolateurs rigides, à triple cloche, sont en porcelaine pour la plupart, et également en verre.

Ils sont utilisés dans les portées normales en alignement, jusqu'à 120 mètres, et pour les petits angles, en terrain non accidenté.

Pour les grandes portées, les angles importants, les arrêts, certaines traversées de routes, chemins de fer, lignes électriques ou de télécommunication, et en cas de fortes dénivellations, nous avons été conduits à utiliser des chaînes de 3 isolateurs suspendus.

Ces chaînes sont, soit du type Hewlett (à conduits intérieurs), en porcelaine, soit du type à capot et tige, en verre spécial.

Le tableau ci-après définit les caractéristiques électriques de ces divers isolateurs :

	ESSAI DE RIGIDITÉ dielectrique		TENSION D'ÉCLATEMENT supérieure à		TENSION de perforation supérieure à
	à sec pendant 15 minutes	sous pluie pendant 10 minutes	à sec	sous pluie	
	V	V	V	V	
Isolateurs { porcelaine	135 000	90 000	160 000	105 000	210 000
rigides { verre	135 000	90 000	160 000	105 000	189 000
Chaînes de 3 éléments (porcelaine ou verre spécial)	135 000	90 000	160 000	105 000	—
Élément d'isolateur à suspension (porcelaine ou verre spécial) ..	65 000	—	80 000	—	95 000

Les essais de réception des isolateurs en verre comportaient un examen en lumière polarisée.

Supports. — Les supports sont des pylônes métalliques dont le type varie suivant la hauteur à laquelle doivent passer les câbles et l'angle que font les conducteurs dans les portées adjacentes.

En outre, des pylônes spéciaux sont utilisés pour servir d'arrêt ou pour permettre d'effectuer les rotations ou permutations de conducteurs dont il sera parlé plus loin.

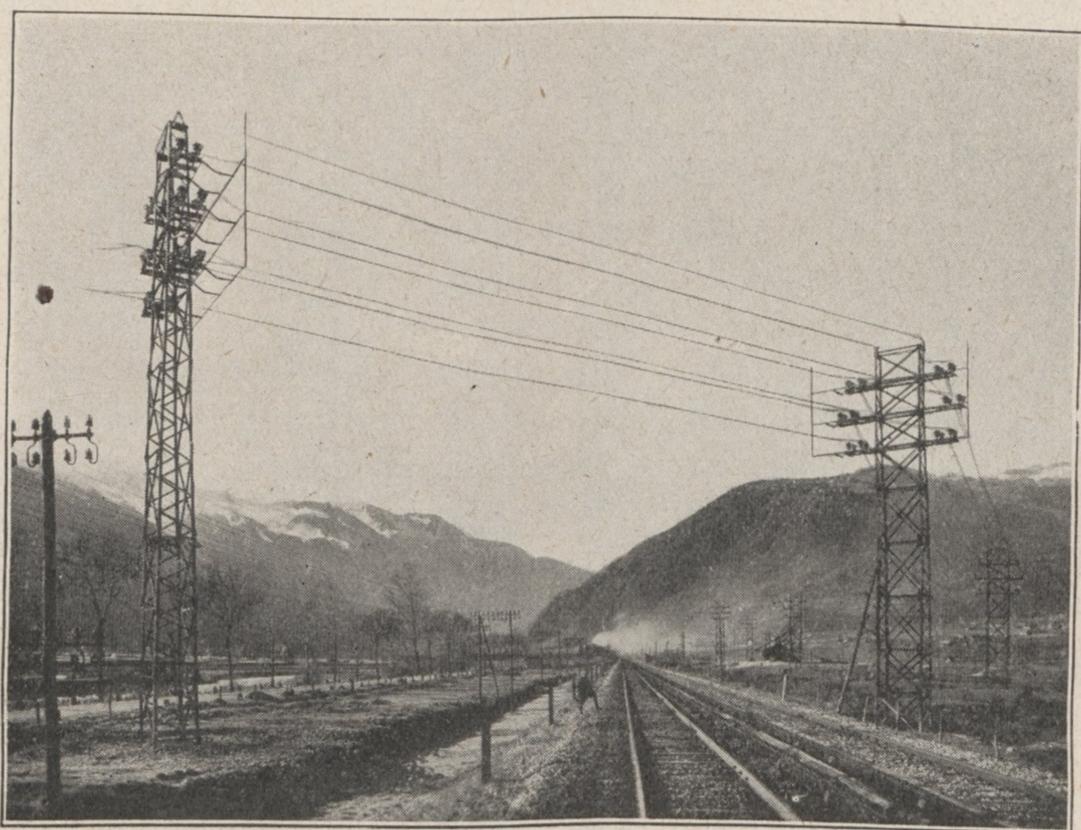
La hauteur hors-sol des pylônes varie de 14 m à 25 m, leur poids de 1 500 kg à 10 000 kg ; leurs dimensions à l'encastrement dans le massif de fondation sont comprises entre 2 m × 1,10 m et 2 m × 4,10 m (exceptionnellement, une dizaine de pylônes spéciaux ont été construits avec des dimensions plus importantes à leur encastrement, qui atteignent 4,90 m × 5,75 m).

Par mesure d'économie, les 2 lignes sont établies sur supports communs, mais la distance qui les sépare est suffisante pour permettre, moyennant certaines précautions, de travailler sans danger sur l'une, l'autre restant sous tension; cette condition a nécessité des pylônes assez larges dans le sens perpendiculaire à la ligne. La distance horizontale entre les deux conducteurs les plus voisins est de 3,600 m.

Les figures 3, 4 et 5 montrent les dispositions générales de quelques types de pylônes.

Fig. 3. — LIGNES A 42.000 VOLTS ET VOIES PRINCIPALES ÉQUIPÉES AVEC TROISIÈME RAIL.

(Traversée du chemin de fer avec pylônes à isolateurs rigides).



Chaque pylône est encastéré, soit dans un massif d'un seul bloc, soit dans une sorte de double massif dont les parties sont liées par deux traverses enrobées dans du béton.

En ce qui concerne le matériel de ligne, nous nous bornerons à signaler l'emploi des joints étirés pour la jonction des câbles en certains points.

Précautions prises contre l'influence sur les lignes de télécommunication. — Bien que les lignes à 42 000 V n'avoisinent jamais de très près, ni sur de grandes distances, les lignes de télécommunication de la région, la Compagnie P.-L.-M. a pris de sérieuses mesures pour éviter de causer des troubles sur ces lignes.

On s'est inspiré des dispositions indiquées par le « Joint Comittee of interference » de l'Etat de Californie; des permutations des conducteurs des 2 lignes ont été effectuées en des points convenablement choisis, la longueur d'une période étant comprise entre 5,3 km et 12,4 km.

Les transpositions sont effectuées sur des pylônes spéciaux (Fig. 4) situés tous les tiers de période.

Ces dispositions semblent efficaces, et nous n'avons jamais eu de réclamation de la part de l'Administration des P.T.T. à la suite de perturbations sur le réseau à 42 000 V.

Nous ajouterons que le point neutre du réseau n'est pas mis à la terre.

Fig. 4. — LIGNES A 42.000 VOLTS. PYLÔNE DE ROTATION.

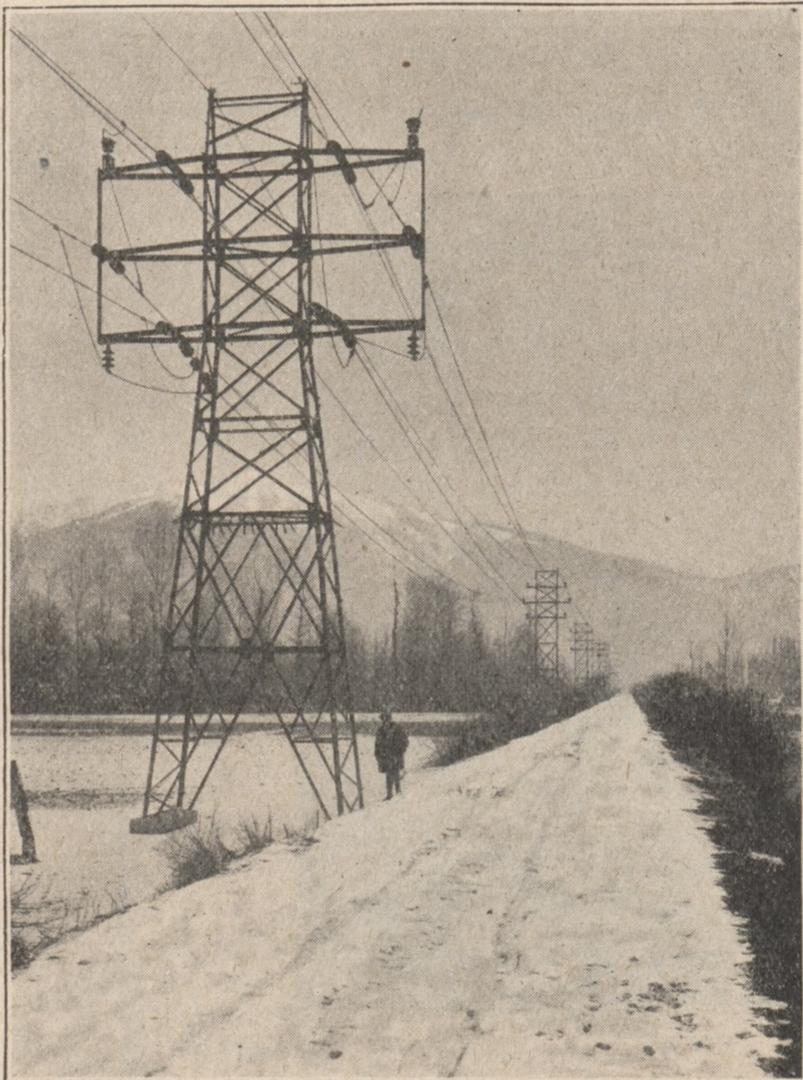
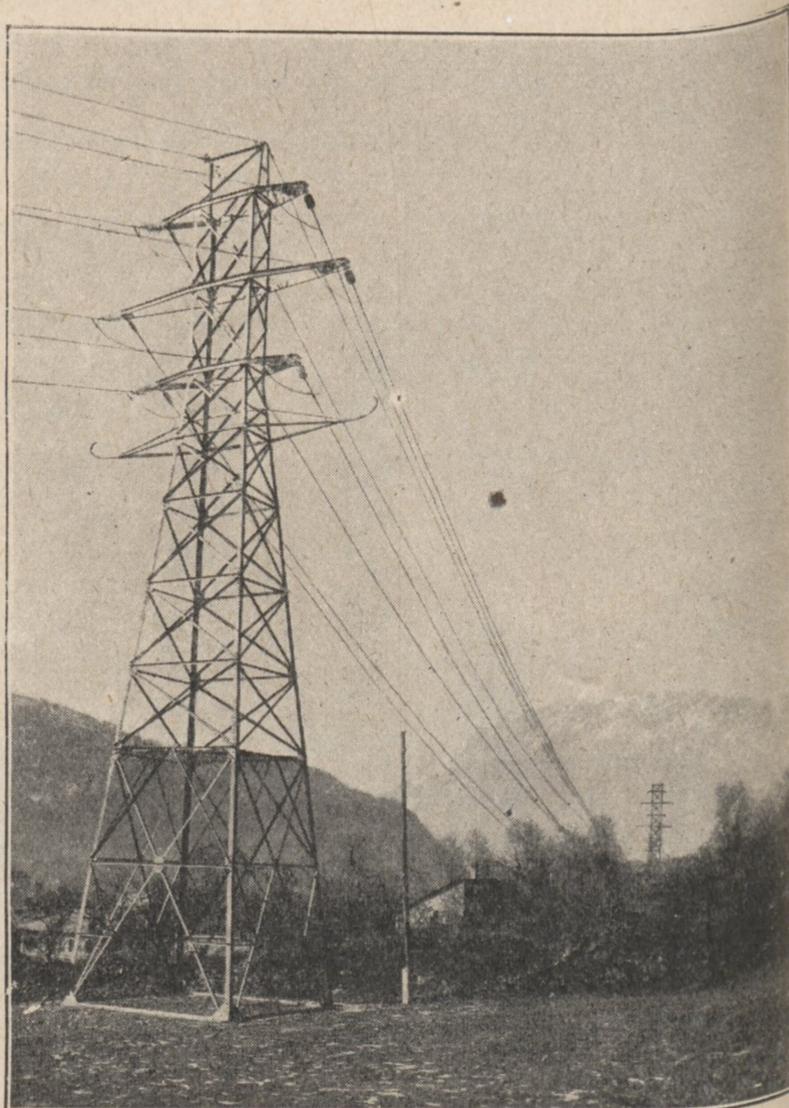


Fig. 5. LIGNES A 42.000 VOLTS. PYLÔNE SPÉCIAL (Poids 10 tonnes).



II. — SOUS-STATIONS.

Les sous-stations de traction, au nombre de huit, occupent les emplacements indiqués sur les figures 1 et 2.

La distance moyenne entre sous-stations est d'environ 21,5 km sur la Section Culoz-St-Jean-de-Maurienne, où les déclivités n'excèdent pas 15 mm par mètre; elle est réduite à un peu moins de 12 km dans la partie haute de la ligne, qui comporte de longues rampes de 25 et 30 mm par mètre, presque toujours franchies en double traction.

Dans toutes les sous-stations, sauf celle de St-Pierre-d'Albigny, le courant continu à 1 500 V est produit par des groupes de deux commutatrices de 1 000 kW, 750 V, montées en série. Ces sous-stations sont prévues pour recevoir trois groupes, mais elles n'en possèdent actuellement que deux, sauf la sous-station de La Praz, qui dispose dès maintenant d'une puissance installée de 6 000 kW.

La sous-station de St-Pierre-d'Albigny est équipée avec trois groupes moteur-générateurs

constitués chacun par un moteur synchrone entraînant deux génératrices de 1 000 kW, 750 V, montées en série.

Ces deux types de convertisseurs ont été préférés aux redresseurs à vapeur de mercure et aux commutatrices à 1 500 V pour les raisons suivantes :

A l'époque où fut entreprise la construction des sous-stations de la ligne de Culoz à Modane les redresseurs n'étaient pas encore munis des perfectionnements qui leur permettent, à l'heure actuelle, de prendre très souvent l'avantage sur les convertisseurs rotatifs. D'ailleurs, les redresseurs n'auraient pu être utilisés dans la partie haute de la ligne puisqu'ils ne se prêtent pas au freinage des trains par récupération.

D'autre part, des commutatrices à 50 périodes produisant directement du courant continu à 1 500 V ne pouvaient guère être construites pour des puissances unitaires dépassant 1 000 kW, alors que l'importance du trafic de la ligne de Culoz à Modane donnait la possibilité d'adopter, pour chaque groupe convertisseur, une puissance de 2 000 kW. Dans ces conditions, une sous-station équipée avec des commutatrices à 1 500 V n'eût pas été plus économique qu'une sous-station équipée avec des groupes de deux commutatrices à 750 V. Ces dernières machines offraient, par ailleurs, l'avantage d'être d'un type déjà éprouvé dans de nombreuses installations.

Malgré leur rendement moins élevé, des groupes moteurs-générateurs furent adoptés pour la sous-station de St-Pierre-d'Albigny, afin de pouvoir, grâce à leurs moteurs synchrones spécialement prévus à cet effet, maintenir constamment au-dessus de 0,9 le facteur de puissance de l'énergie absorbée par l'ensemble des sous-stations. Cette dernière condition est imposée par la Convention passée entre la Compagnie P.-L.-M. et son fournisseur d'énergie.

Le même résultat aurait pu être obtenu en utilisant des commutatrices et en leur adjoignant des condensateurs synchrones ; mais le coût beaucoup plus élevé d'une telle installation n'aurait pas été justifié par le gain réalisé sur le rendement.

Toutes les sous-stations sont à commande manuelle et leurs postes à haute tension du type intérieur. Ce dernier ayant été reconnu préférable au type extérieur pour les sous-stations de la partie haute de la ligne, à cause de la rigueur du climat, il fut décidé, par raison d'unification, de l'adopter également pour les autres sous-stations.

Chaque sous-station comporte donc (Fig. 6, 6 bis et 6 ter) :

- une salle à haute tension qui contient les jeux de barres et l'appareillage à 42 000 V, ainsi que les cellules des transformateurs des groupes ;
- une salle des machines, qui abrite, outre ces dernières, la majeure partie de l'appareillage des groupes, celui des départs à 1 500 V, et les divers tableaux de commande.

D'un sous-sol qui règne sous la salle des machines, partent, par deux galeries, les feeders positifs et négatifs aboutissant aux voies.

A. — BATIMENTS.

Les bâtiments présentent les dispositions générales suivantes : (Fig. 7).

Toute la charpente, à l'exception des fermes et pannes de la toiture, est en béton armé. Les murs du sous-sol sont en maçonnerie de moellons ordinaires, ainsi que les murs des façades, jusqu'au niveau inférieur des poutres en béton armé qui forment le chaînage horizontal du bâtiment.

Au-dessus de ces poutres, des parpaings de béton de cailloux et ciment, hourdés au mortier

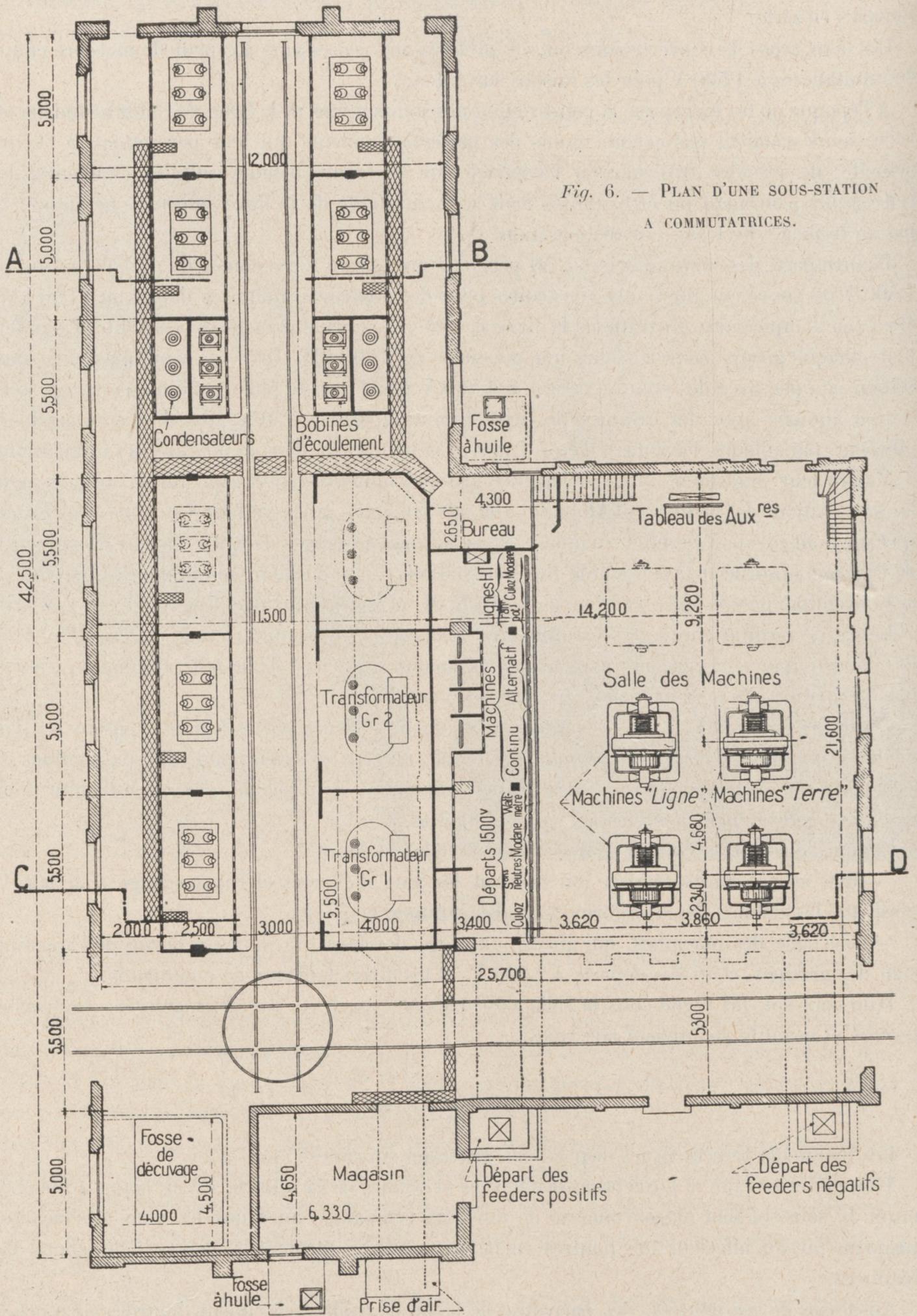


Fig. 6. — PLAN D'UNE SOUS-STATION
A COMMUTATRICES.

Fig. 6 bis. — COUPE SUIVANT A B D'UNE SOUS-STATION A COMMUTATRICES.

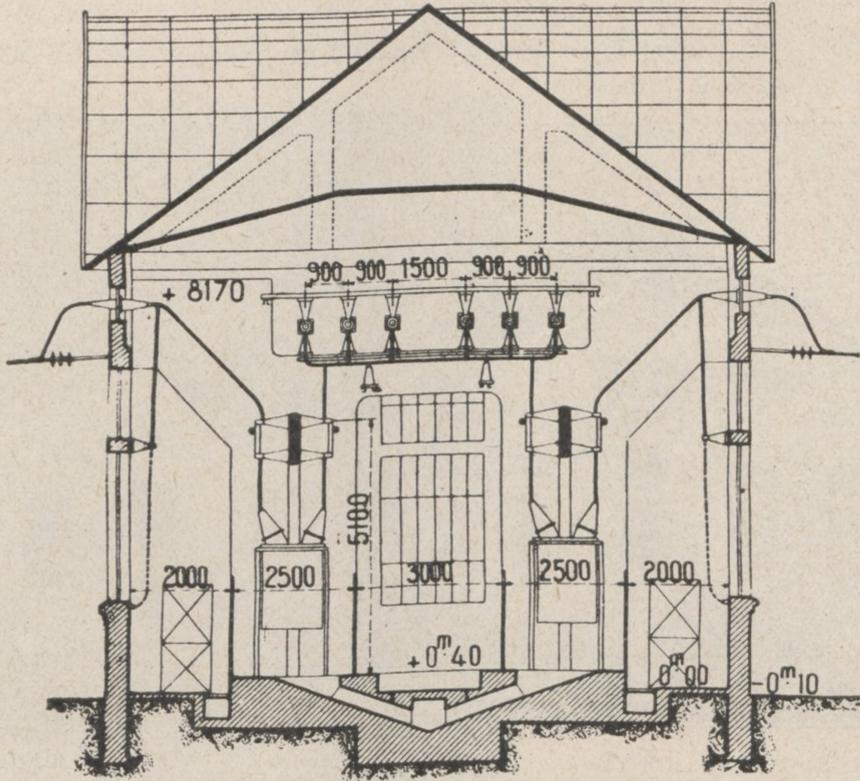
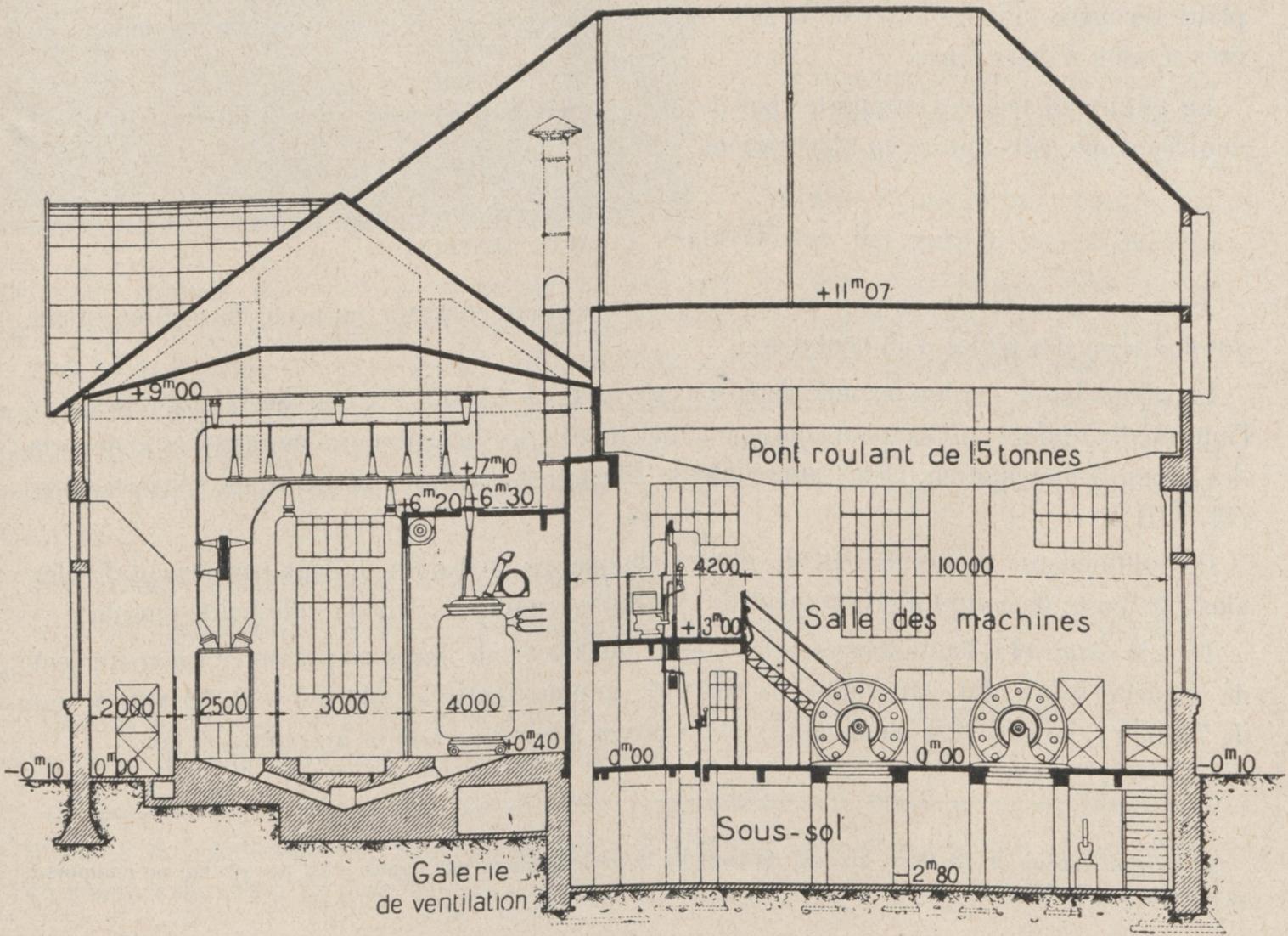
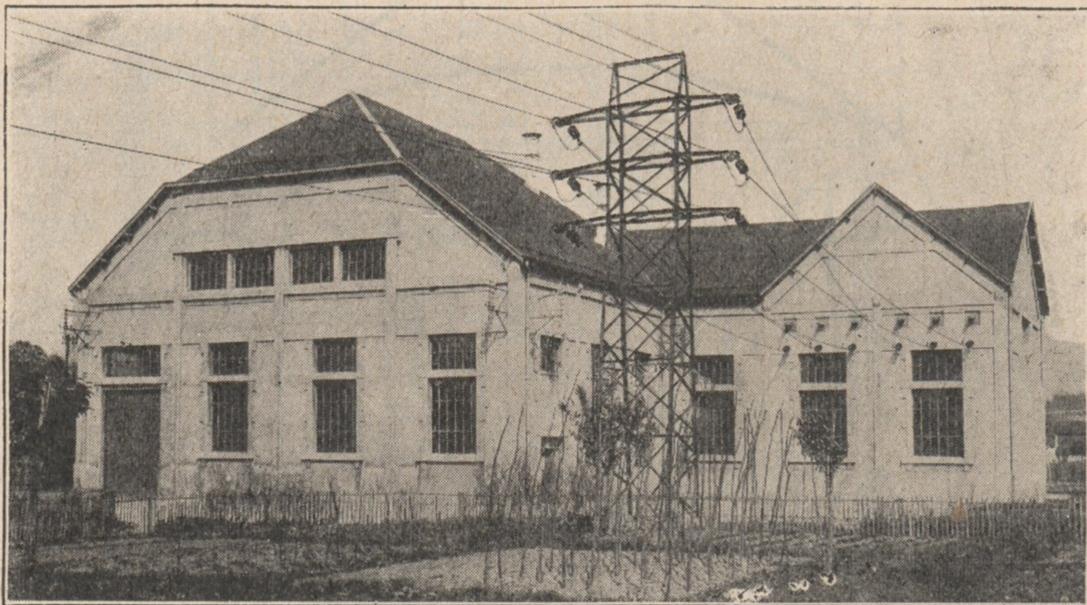


Fig. 6 ter. — COUPE SUIVANT C P D'UNE SOUS-STATION A COMMUTATRICES.



de chaux lourde, constituent les remplissages. Les façades ont reçu un enduit lisse en ciment de Portland sur les poutres et le soubassement, et un enduit de chaux frotté sur les maçonneries.

Fig. 7. — SOUS-STATION DE CHAMBÉRY.]



À l'intérieur, les cellules de la salle à haute tension, la passerelle établie dans la salle des machines et le plancher de cette dernière salle sont également en béton armé. Un enduit de plâtre recouvre tous les murs de la salle des machines ; le sol est constitué par un dallage de grès cérame à deux tons.

La toiture en ardoises, supportée par des fermes métalliques espacées de 5,50 m environ, est doublée d'une sous-toiture en fibro-ciment.

B. — MATÉRIEL A HAUTE TENSION.

Ainsi que nous l'avons vu plus haut, chaque sous-station constitue un poste de sectionnement automatique des lignes d'alimentation.

La salle à haute tension possède deux jeux de barres à 42 000 V (1) auxquels sont reliés, par l'intermédiaire de sectionneurs à commande par perche, les interrupteurs des arrivées et départs des lignes d'alimentation, et les interrupteurs des transformateurs des groupes convertisseurs (Pl. VIII).

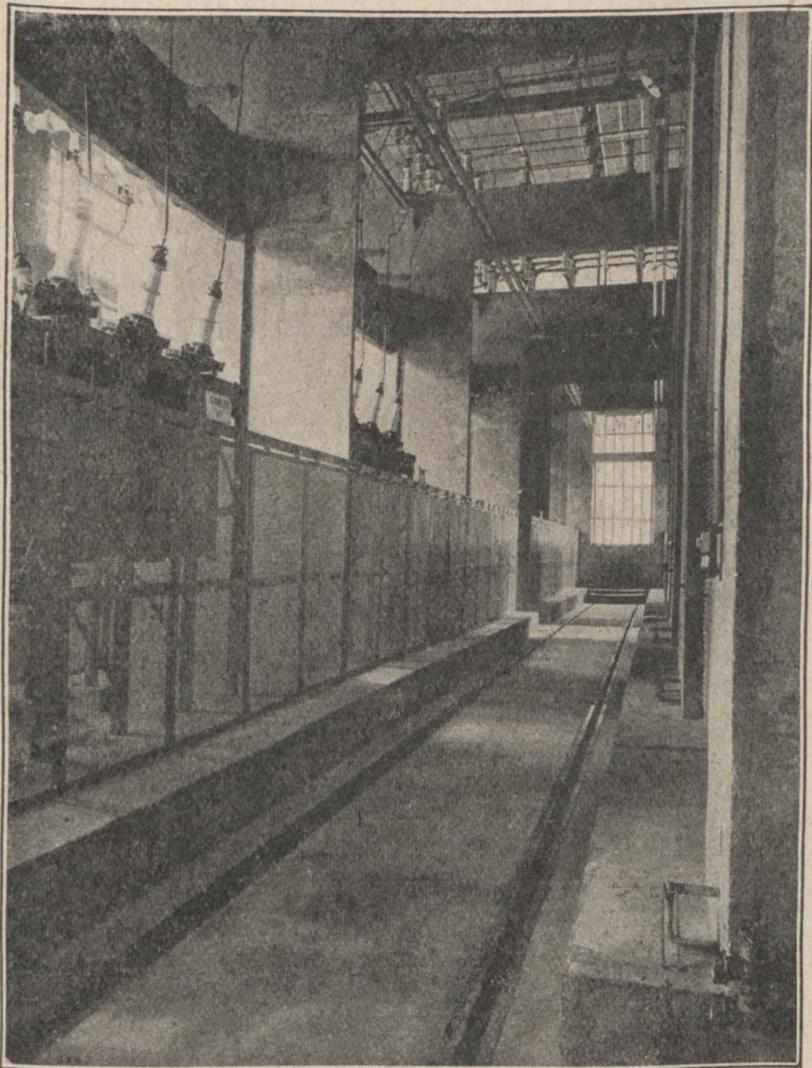
Des sectionneurs S_b permettent de diviser chaque jeu de barres en deux tronçons et d'isoler ainsi, du poste de coupure proprement dit, les autres conducteurs de la salle haute tension.

Tout le matériel à haute tension est du type 60 000 V, de façon à présenter un coefficient de sécurité élevé. En particulier, la distance minima entre conducteurs à 42 000 V est de 70 cm ; celle entre ces conducteurs et les pièces à la masse atteint au moins 50 cm.

(1) La sous-station de La Praz, au delà de laquelle le prolongement des lignes n'est pas prévu, ne comporte qu'un seul jeu de barres.

Les divers appareils situés dans la salle à haute tension sont disposés dans des cellules, de part et d'autre d'une allée centrale desservie par un lorry de 20 tonnes (Fig. 8). Des trémies, établies sous les transformateurs et interrupteurs, sont reliées à des fosses à huile placées à l'extérieur du bâtiment.

Fig. 8. — SALLE HAUTE TENSION D'UNE SOUS-STATION.



Interrupteurs à haute tension.— Les interrupteurs des lignes et des transformateurs sont du même type, et présentent les caractéristiques générales suivantes : montage sur châssis métallique, contacts à pot d'explosion, bacs distincts pour chaque phase, commande électrique à distance par solénoïde.

Leur puissance de coupure atteint 300 000 kVA. Les bornes de traversée sont munies de transformateurs d'intensité qui alimentent les relais de protection et des ampèremètres.

Protection contre les surtensions.— Dans toutes les sous-stations, la protection des installations à 42 000 V contre les charges statiques est assurée par deux jeux

de trois bobines d'écoulement à noyau de fer. Ces bobines sont munies d'un circuit secondaire, ce qui leur permet de jouer également le rôle de transformateur de potentiel.

Chaque bobine est branchée sur la barre omnibus correspondante par l'intermédiaire d'un sectionneur-fusible. La partie magnétique est analogue à celle d'un transformateur triphasé, l'ensemble du bobinage étant disposé sur la branche médiane. Les galettes extrêmes du bobinage sont à isolement renforcé. La résistance ohmique d'une bobine est de 1 000 ohms environ.

Aux bobines d'écoulement précitées sont adjoints :

dans les sous-stations de St-Pierre-d'Albigny et de La Praz, des parafoudres à oxyde de plomb ;

dans les autres sous-stations, deux jeux de trois condensateurs au mica ou au cellon d'une capacité de 0,0038 microfarad environ par appareil.

Les parafoudres à oxyde de plomb, d'un type maintenant classique, sont disposés à l'extérieur des sous-stations, sous les arrivées des lignes, auxquelles ils sont reliés par un sectionneur avec talon de mise à terre.

Une bobine de self non shuntée, est placée sur chaque conducteur de ligne, entre le point de jonction avec le parafoudre et la traversée du mur de la sous-station.

Dans les sous-stations qui ne possèdent pas de parafoudre à oxyde de plomb, des condensateurs sont disposés dans des cellules de la salle à haute tension adossées aux cellules des bobines d'écoulement. Ces condensateurs sont reliés aux barres par l'intermédiaire de sectionneurs à résistance.

Au droit des condensateurs et des bobines d'écoulement, deux bobines de self, en fer, sont insérées sur chaque barre omnibus, et la jonction des appareils de protection ci-dessus avec les barres s'effectue entre ces bobines. En outre, les bobines de self situées du côté des lignes d'alimentation sont shuntées par une résistance de 500 ohms environ.

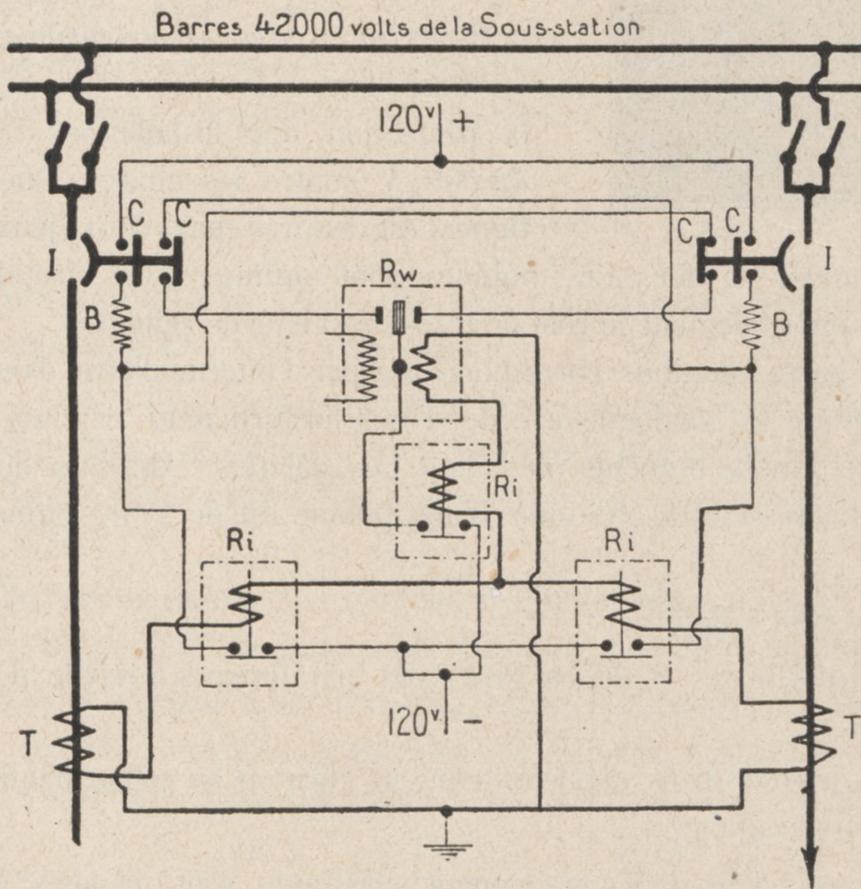
Les condensateurs au mica sont constitués par des empilages de feuilles d'étain et de feuilles de mica, imprégnés et comprimés, puis enrobés dans une matière isolante. L'ensemble est placé dans une cuve pleine d'huile.

Les condensateurs au cellon comprennent un certain nombre de cartouches montées en série, chaque cartouche étant formée de films en cellon recouverts sur chaque face d'une mince couche d'argent et enroulés en spirale à l'intérieur d'un tube isolant.

Protection des lignes contre les surintensités. — Les lignes à 42 000 V sont protégées

Fig. 9. — SCHEMA UNIFILAIRE DU SYSTEME DE PROTECTION DIFFERENTIELLE D'UNE LIGNE TRIPHASÉE DOUBLE, A 42.000 VOLTS.

I. Interrupteur haute tension. — C. Contact auxiliaire. — B. Bobine de déclenchement. — T. Transformateur d'intensité. — Ri. Relais tripolaire à maximum d'intensité, temporisé. — Rw. Relais tripolaire wattmétrique directionnel instantané.



contre les surintensités par des groupes de relais temporisés à maximum d'intensité et de relais wattmétriques instantanés disposés sur chaque arrivée et sur chaque départ de ligne double, conformément au schéma de la figure 9.

Si un défaut se produit sur un tronçon de ligne, ce tronçon est mis automatiquement hors circuit :

par l'ouverture des deux interrupteurs qui l'encadrent si les deux lignes sont en service ;

par l'ouverture de l'interrupteur qui limite le tronçon défectueux côté Venthon, si la ligne à laquelle il appartient est seule en service.

Nous n'insisterons pas davantage sur ce système de protection, dont le fonctionnement est bien connu.

Comptage de l'énergie haute tension. — Le comptage de l'énergie haute tension ne s'effectue pas dans les sous-stations, mais seulement au départ du poste de livraison de

Venthon. Toutefois, la sous-station de St-Pierre-d'Albigny est pourvue d'appareils enregistreurs : wattmètre, voltmètre et fréquencemètre, le premier de ces appareils étant alimenté par des transformateurs d'intensité montés sur les arrivées des lignes venant de Venthon.

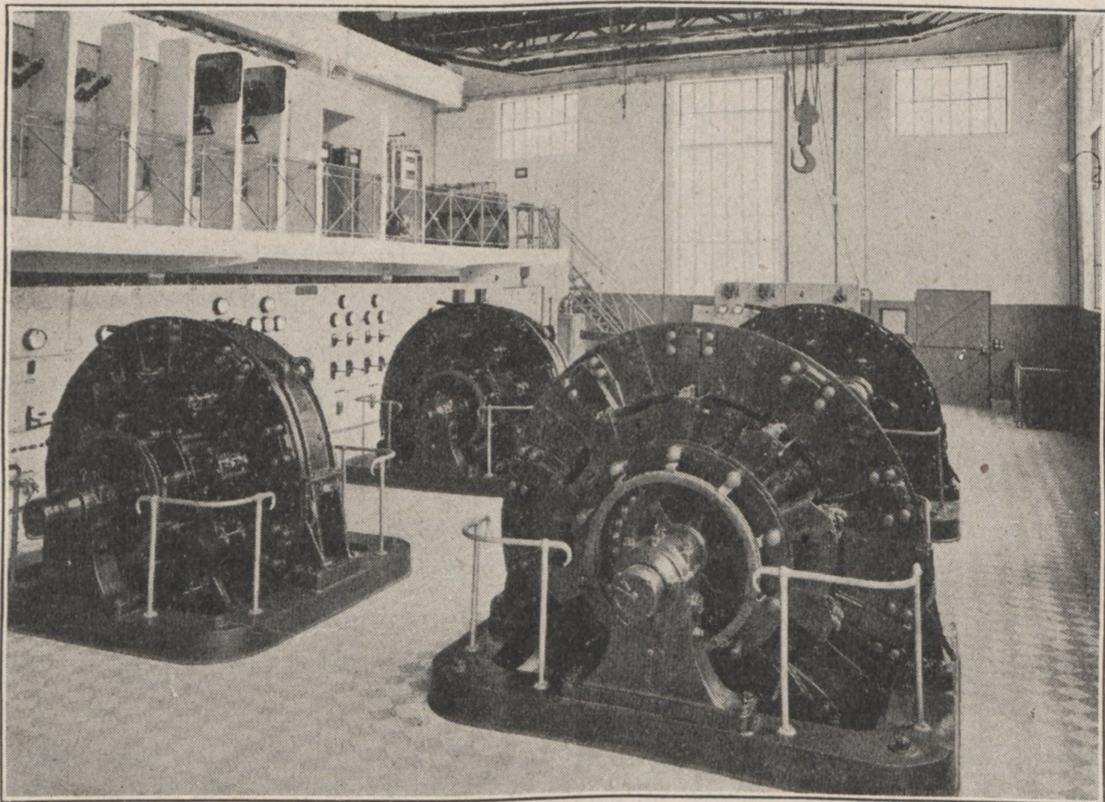
C. — MACHINES.

Groupes transformateur-commutatrices.

Chaque groupe de commutatrices est alimenté par un transformateur triphasé à refroidissement naturel (cuve à tubes, avec conservateur d'huile et tubulure d'explosion) d'une puissance continue de 2 240 kVA.

Ce transformateur possède un enroulement primaire couplé en étoile, et deux enroulements secondaires affectés à l'alimentation de chacune des commutatrices. Des prises de réglage non sorties permettent d'ajuster la tension secondaire.

Fig. 10. — SOUS-STATION DE ST-JEAN-DE-MAURIENNE. (Salle des Machines).

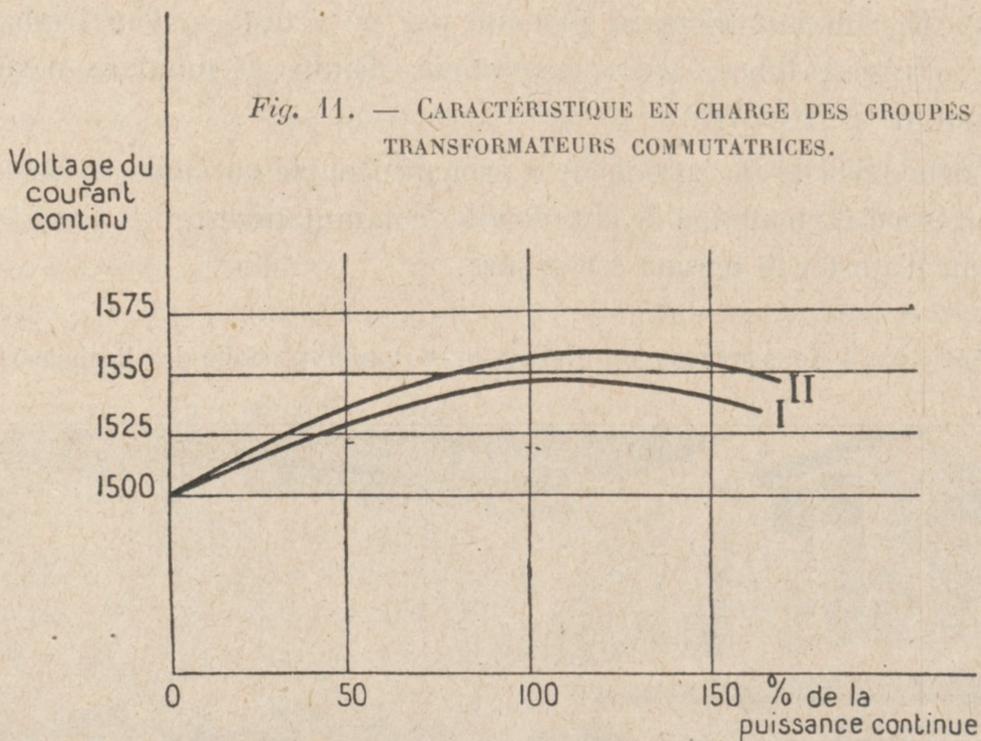


Les commutatrices sont du type hexaphasé, à 10 pôles, démarrant en moteur asynchrone. Leur puissance continue est de 1 000 kW, avec surcharges possibles, en marche directe, de 50 % pendant deux heures ou de 200 % pendant cinq minutes. Elles sont, comme la plupart des machines similaires assurant un service de traction, munies d'enroulements amortisseurs, de pôles de commutation à forte réluctance, d'écrans et de barrières antiflash (Fig. 10); leur poids atteint une quinzaine de tonnes (1).

(1) La fourniture des commutatrices a été confiée à deux constructeurs, qui ont réalisé deux modèles sensiblement identiques. Toutefois, les poids correspondants sont respectivement de 14,6 et 16 tonnes.

L'excitation est compound ; la figure 11 donne l'allure des caractéristiques de tension en marche directe et en marche inversée. Ces caractéristiques sont obtenues de la manière suivante :

Chaque pôle porte 4 spires de compoundage qui exercent une action magnétisante en marche directe, et une spire de compoundage montée en série avec les précédentes, mais dont le sens d'enroulement est inverse. Tout se passe donc, en marche directe, comme si l'excitation shunt était renforcée par l'action de 3 spires de compoundage seulement.



En marche inversée, c'est-à-dire lorsque des trains renvoient de l'énergie à la sous-station, un contacteur actionné par un relais à retour de courant (Pl. VIII) met en court circuit les groupes de 4 spires, de telle sorte que le compoundage se trouve assuré par les spires uniques, parcourues par le courant récupéré, et dont l'action vient, de ce fait, s'ajouter à celle des enroulements d'excitation shunt.

Afin de ne pas compromettre la stabilité de fonctionnement en marche inversée, la puissance fournie au réseau alternatif ne doit pas, en principe, dépasser 2000 kW par groupe.

Le démarrage des commutatrices s'effectue en deux temps : les machines sont d'abord branchées directement sur des prises spéciales du transformateur, donnant la moitié de la tension de fonctionnement, puis, lorsque l'accrochage est réalisé et correspond à la polarité convenable, les bagues sont alimentées sous 555 volts, par les prises normales du transformateur. Ces manœuvres sont réalisées par un inverseur tripolaire à couteau Id, monté sur marbre, et commandé mécaniquement depuis le tableau. Pendant toute la durée du démarrage, les balais du collecteur sont relevés.

Groupes Moteur Synchrone — Génératrices

La sous-station de St-Pierre-d'Albigny possède, comme nous l'avons vu, trois groupes de ce type (Fig. 12), alimentés chacun par un transformateur triphasé 42000/3000 volts, couplage étoile-triangle, à refroidissement par circulation d'eau, d'une puissance continue de 3450 kVA.

Fig. 12. — SOUS-STATION DE ST-PIERRE D'ALBIGNY (Salle des Machines).

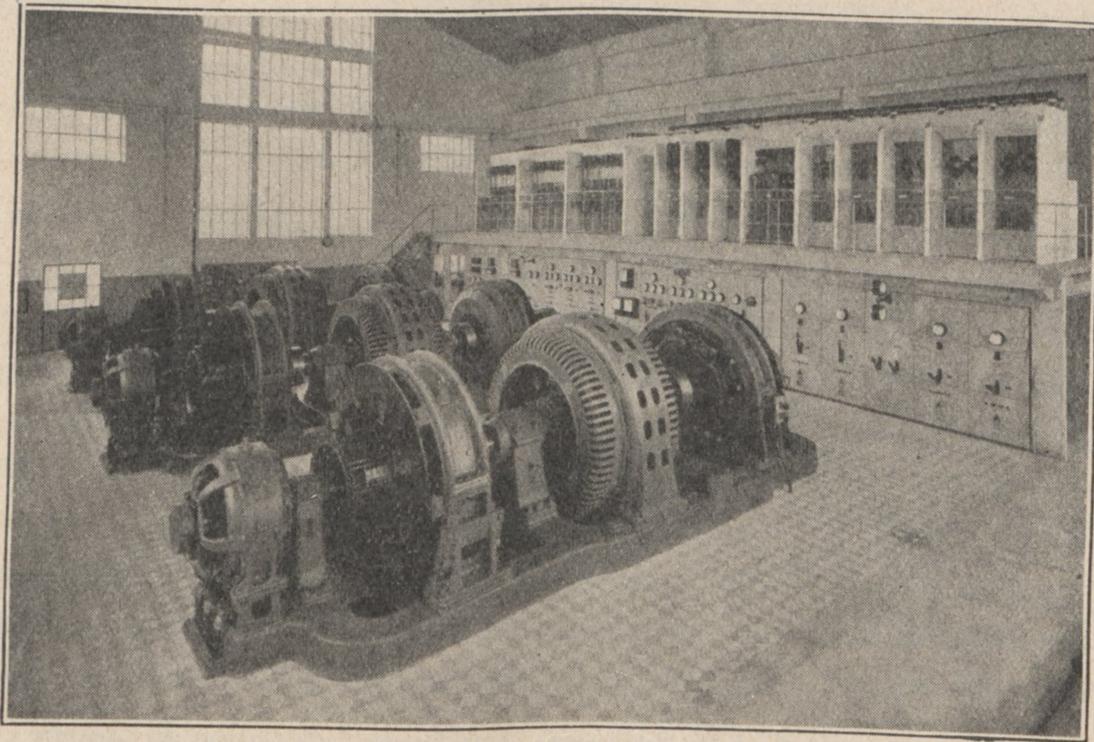
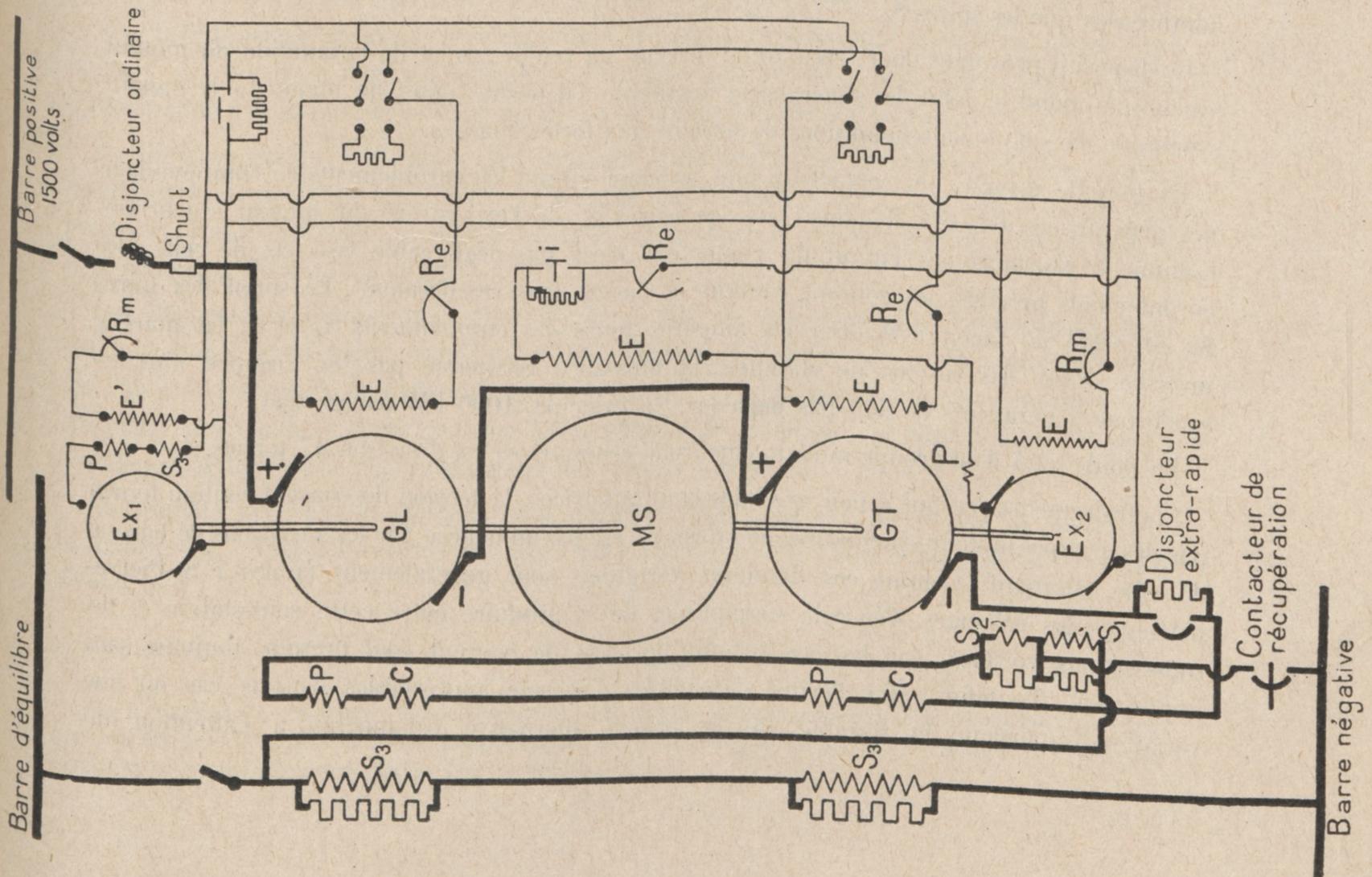


Fig. 13. — SCHEMA SIMPLIFIE DES GROUPES MOTEUR SYNCHROME-GENERATRICES DE LA SOUS-STATION DE ST-PIERRE-D'ALBIGNY.

MS. Moteur synchrone. — GL. GT. Génératrices 750 volts. — Ex. 1. Excitatrices des génératrices. — Ex. 2. Excitatrice du moteur synchrone. — E.E'. Enroulements d'excitation séparée, shunt. — Rm. Re. Rhéostats d'excitation à commande électrique. — i. Interrupteur automatique d'excitation. — P. Pôles de commutation. — C. Enroulement de compensation des génératrices 750 volts et de l'excitatrice Ex. 1.



Les groupes sont constitués chacun par cinq machines montées sur un socle commun, savoir :

— un moteur synchrone MS (Fig. 13) 3000 volts, dont les enroulements du stator sont couplés en étoile. Ce moteur démarre en deux temps, le stator étant, au premier temps, alimenté à demi-tension par l'intermédiaire d'un autotransformateur ;

— deux génératrices compound GL et GT à courant continu 750 volts et excitation séparée, montées en série. La puissance de chaque machine est de 1000 kW, avec surcharges possibles de 50 % pendant deux heures ou de 200 % pendant cinq minutes.

Ces génératrices sont munies de pôles auxiliaires, d'enroulements de compensation, d'écrans et de barrières anti-flash ; en outre, la carcasse de la génératrice GT peut être légèrement décalée par rapport à celle de la génératrice GL, ce qui permet d'opposer les harmoniques de denture des deux machines.

— une excitatrice Ex_1 à excitation compound de 12,5 kW, 125 volts, qui alimente, d'une part, les enroulements d'excitation séparée des deux génératrices précitées, et, d'autre part, le circuit d'excitation séparée de l'excitatrice du moteur synchrone dont il est question ci-après :

— une excitatrice Ex_2 de 27 kW, 110 volts, qui assure l'excitation du moteur synchrone.

Cette machine est excitée séparément par l'excitatrice précédente, et elle porte, en outre, un double enroulement d'excitation compound parcouru par une fraction du courant continu qui traverse les génératrices de 1000 kW.

Ce double enroulement comprend, comme sur les commutatrices, des spires S_1 et S_2 de sens contraire, les spires S_2 , dont l'action est démagnétisante en marche directe, étant moins nombreuses que les spires S_1 .

Ce dispositif provoque donc, en marche directe, un renforcement de l'excitation du moteur synchrone quand le débit des génératrices augmente ; il permet ainsi de maintenir le moteur synchrone dans de bonnes conditions de stabilité aux fortes charges.

En marche inverse, un contacteur met en court-circuit les enroulements de compoundage des génératrices GL et GT, ainsi que les spires S_1 de l'excitatrice du moteur synchrone. Comme la résistance du circuit du contacteur n'est pas négligeable vis-à-vis de celle des enroulements précités, un courant continue à passer dans ces derniers : Le shunt des spires S_2 est réglé de façon à égaliser les ampères tours des enroulements S_1 et S_2 en marche inversée. Pour des raisons de stabilité, la puissance récupérée par les groupes moteur-synchrone génératrices ne doit pas dépasser, en principe, 1000 kW par groupe.

Le poids total d'un groupe moteur-synchrone-génératrices est d'environ 47 tonnes.

Contrairement à ce qui a lieu avec des commutatrices, la tension du courant continu fourni par des groupes moteur-synchrone-génératrices n'est pas influencée par les variations de tension du côté alternatif. Comme ces dernières variations sont généralement faibles à St-Pierre-d'Albigny, les échanges d'énergie susceptibles de se produire entre cette sous-station et les sous-stations voisines, par les conducteurs de prise de courant sont presque toujours sans importance. Toutefois, afin d'éviter des pertes d'énergie appréciables dans le cas où une variation importante et durable de la tension alternative échapperait à l'attention du

machiniste de la sous-station de St-Pierre-d'Albigny (1), chaque groupe de cette sous-station possède un régulateur Tirrill qui rend la tension continue proportionnelle à la tension alternative.

d) — APPAREILLAGE ET TABLEAUX.

Le tableau général de commande, situé dans la salle des machines, sous la passerelle, comprend :

- un panneau par départ ou arrivée de ligne double à 42000 volts ;
- deux panneaux par groupe (côté alternatif et côté continu) ;
- un panneau de comptage côté 1500 volts comportant, notamment, un wattmètre enregistreur et un compteur, alimentés par un shunt de 6000 ampères disposé sur la barre omnibus négative.
- cinq panneaux de commande des départs à 1500 volts ;

Ces divers panneaux supportent les tirettes et leviers de commande des interrupteurs et disjoncteurs, ainsi que la plupart des relais et appareils de mesure.

Les ampèremètres des départs à courant continu, qui se trouvent nécessairement reliés à des conducteurs à 1500 volts, sont pourvus de boîtiers en matière isolante.

Protection des groupes contre les surcharges. — Du côté alternatif, les groupes sont protégés par l'interrupteur à haute tension qui s'ouvre sous l'action d'un relais à minimum de tension et d'un relais à maximum d'intensité alimenté par un transformateur de borne.

Du côté continu, chaque groupe est protégé par deux disjoncteurs :

— un disjoncteur ordinaire D, à maximum d'intensité et minimum de tension, inséré entre la borne positive de la machine « ligne » et la barre positive de la sous-station ; cet appareil, à commande mécanique, est installé sur la passerelle de la salle des machines ;

— un disjoncteur extra-rapide Dr, branché entre l'induit de la machine « terre » et les enroulements des pôles auxiliaires, et installé au sous-sol ; l'ouverture de ce disjoncteur provoque l'insertion d'une résistance de 0,77 ohm dans le circuit des machines, puis le déclenchement du disjoncteur D.

Les disjoncteurs extra-rapides sont du type JR, de la General Electric Company. Leur fonctionnement étant bien connu, nous nous bornerons à préciser que les appareils utilisés dans les sous-stations de la ligne de Culoz à Modane pour la protection des groupes ne sont pas pourvus de shunt inductif, et que leurs bobines de maintien sont alimentées sous tension constante par la batterie d'accumulateurs des services auxiliaires.

En marche inversée, les groupes sont protégés contre les surcharges par le disjoncteur ordinaire seul, dont l'ouverture est alors provoquée par un relais à maximum de retour de courant.

(1) Il convient de remarquer que la disposition des circuits de compoundage des commutatrices et des génératrices rend impossible le déversement complet d'une sous-station sur une autre, puisque la marche des machines en récupération reste stable dans de grandes limites.

Départs à 1 500 volts. — La barre omnibus positive des sous-stations est reliée aux conducteurs de prise de courant par quatre feeders (un par voie et par direction), constitués chacun par deux câbles armés de 400 mm² de section. (Pl. VIII).

Ainsi que nous le verrons à propos du sectionnement, un tronçon de troisième rail formant section neutre est établi sur chaque voie, au droit des sous-stations. Ces deux sections neutres sont branchées respectivement sur les feeders voie 1-Modane et voie 2-Culoz, par l'intermédiaire de sectionneurs à commande mécanique.

Les feeders sont équipés avec des disjoncteurs extra-rapides de même type que les disjoncteurs négatifs des groupes, mais munis d'un shunt inductif. Si un court-circuit se produit sur les voies, les disjoncteurs des feeders intéressés déclenchent généralement seuls, ceux des groupes n'intervenant qu'en cas de surcharge, ou si un incident a lieu à l'intérieur de la sous-station.

L'expérience montre que la coupure des courants en un seul temps par les disjoncteurs de feeder, ne présente aucun inconvénient, malgré l'emploi du troisième rail et l'absence de parafoudres sur les départs à 1 500 volts.

En cas de déclenchement d'un disjoncteur de feeder, l'isolement des conducteurs de prise de courant correspondants est vérifié, avant la remise sous tension, en reliant ces conducteurs à la barre omnibus positive par l'intermédiaire d'un contacteur et d'une résistance, dite d'essai, d'une valeur de 10 ohms.

Circuits de commande et de contrôle. — Les Services auxiliaires sont alimentés en courant alternatif triphasé 200/115 volts par un transformateur de 40 kVA (1) qui peut être branché sur l'un quelconque des transformateurs des groupes de traction.

Le courant continu des circuits de commande et de contrôle est fourni par une batterie d'accumulateurs comprenant 106 éléments fer-nickel d'une capacité de 145 ampère-heure, au régime de décharge en une heure.

Un groupe moteur-générateur de 9 kW assure la recharge de cette batterie.

e) DIVERS

Liaisons Téléphoniques. — Les sous-stations et le poste de Venthon sont reliés au circuit dispatching.

D'autre part, les relations entre sous-stations sont assurées par un circuit téléphonique spécial Culoz-la Praz, normalement sectionné à St-Pierre-d'Albigny. Les postes téléphoniques sont du type à appels directs, avec sélecteurs analogues à ceux du circuit dispatching. Les deux conducteurs de ce circuit sont également utilisés, comme nous le verrons plus loin, pour réaliser la manœuvre à distance des disjoncteurs de sectionnement.

Enfin les sous-stations sont reliées entre elles par un deuxième circuit, dit *de secours*, qui comporte des prises de courant installées le long des voies, tous les 250 mètres environ. Les agents des gares et des trains et les équipes d'entretien peuvent ainsi communiquer facilement avec le personnel des sous-stations, en branchant un appareil téléphonique portatif sur une de ces prises de courant.

Ce circuit est équipé avec batterie centrale, ce qui permet l'emploi d'appareils portatifs simples, relativement légers, et d'un fonctionnement très sûr.

(1) 50 kVA pour la sous-station de St-Pierre-d'Albigny.

Appareils de Manutention. — Chaque sous-station est desservie par un embranchement, dont la voie traverse la salle à haute tension et la salle des machines.

Les manutentions sont effectuées à l'aide d'un pont roulant à bras de 15 tonnes (1) qui dessert la salle des machines, et à l'aide d'un treuil roulant à bras de 20 tonnes (2) installé dans la salle haute tension, au-dessus de la voie de dessert et de la fosse de décufrage.

III. ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DES VOIES

Les voies principales sont équipées sur toute leur longueur avec un rail de prise de courant protégé, à contact supérieur, sauf en gare de Chambéry, où il existe exclusivement des lignes de contact aériennes.

Dans les gares de faible ou de moyenne importance, les voies de service sont également équipées avec troisième rail. Il en est de même en gare de Modane, où la présence des lignes aériennes de contact empruntées par les locomotives à courant triphasé des chemins de fer de l'Etat Italien rendait impossible l'installation d'une ligne aérienne à 1 500 volts.

Dans les gares d'une certaine importance (Chambéry, Montmélian, St-Pierre d'Albigny, St-Avre-la-Chambre, St-Jean de Maurienne, St-Michel) les remaniements de voies à entreprendre pour permettre l'installation du troisième rail sur les voies de service eussent été fort onéreux et parfois même irréalisables. Les voies de service de ces gares sont donc équipées avec une ligne aérienne. Cette dernière est prolongée sur les voies principales de façon à éviter de changer de mode de prise de courant au cours des manœuvres.

Dans les six gares précitées, sauf celle de Chambéry, les locomotives des trains qui n'empruntent que les voies principales utilisent exclusivement le troisième rail; lorsqu'il est nécessaire, au contraire, de circuler sur les voies de service, les locomotives sont alimentées par la ligne aérienne, et il en est ainsi pendant toute la durée des manœuvres.

Les voies de la gare de Chambéry ne comportant pas de 3^e rail, il existe à la sortie de cette gare, sur chaque voie principale, une zone de recouvrement de 330 m de longueur environ, (450 m avec la zone de relevée du fil de contact) qui possède à la fois le 3^e rail et la ligne aérienne.

Pendant la traversée de cette zone, qui est signalée par des indicateurs spéciaux, les locomotives changent de mode de prise de courant. Cette opération s'effectue sans difficulté pour toutes les vitesses pratiquées à cet endroit, vitesses qui peuvent atteindre 60 km à l'heure.

La présence des appareils de voie, passages à niveau, ouvrages d'art, etc... oblige évidemment à établir des coupures de 3^e rail. A l'époque où furent commencés les travaux d'électrification du tronçon Chambéry-St-Pierre d'Albigny, il semblait établi que ces coupures devaient être réalisées de façon à éviter toute interruption dans l'alimentation des locomotives. Des expériences effectuées aux États-Unis sur une ligne avec 3^e rail à 1 500 volts avaient en effet montré que, dans le cas contraire, l'arc qui prend naissance entre le 3^e rail et les frotteurs de la machine s'amorce fréquemment à la masse.

Le tronçon Chambéry-St-Pierre-d'Albigny fut donc équipé en suivant la règle précédente.

(1) 20 tonnes à la sous-station de St-Pierre-d'Albigny.

(2) 15 — d° — d° —

En particulier, l'entr'axe des voies principales dut être augmenté au droit des communications Voie 1 - Voie 2, de façon à permettre l'équipement en 3^e rail de ces communications.

Des essais systématiques furent alors entrepris pour confirmer les résultats obtenus par ailleurs en cas d'utilisation de coupures longues ; mais ces essais, répétés avec des intensités diverses atteignant jusqu'à 2 000 ampères, ne donnèrent lieu à aucun incident, quelle que fut la vitesse de franchissement de la coupure. Ce résultat paraît être dû à l'éloignement relativement grand des frotteurs de prise de courant des locomotives par rapport aux pièces à la masse.

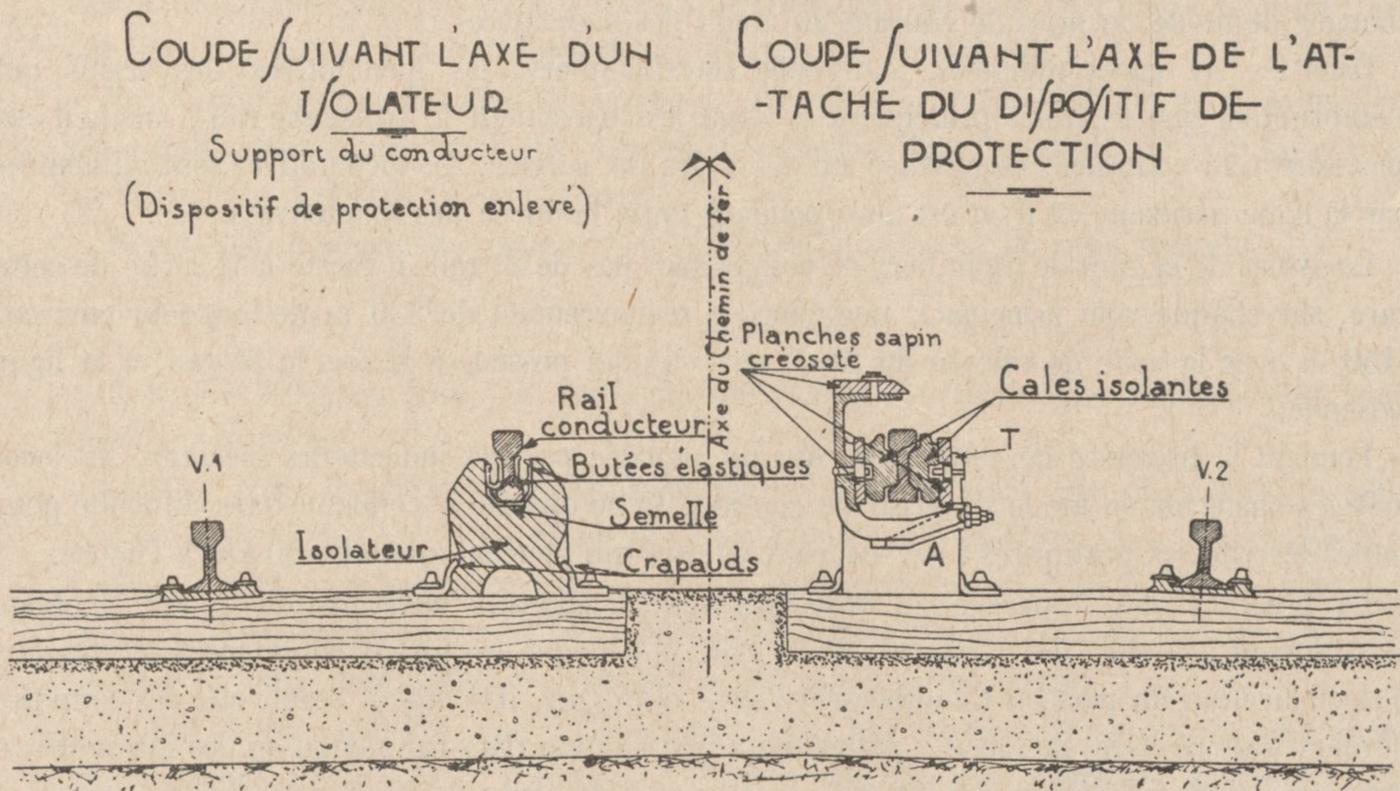
Quoi qu'il en soit, ces constatations permirent de prévoir l'emploi de coupures longues en certains points des voies de service et sur les communications, voie 1 - voie 2 ; elles évitèrent ainsi des remaniements de voies onéreux. Sur les voies principales, il a été facile de disposer les coupures de 3^e rail de façon à assurer l'alimentation parfaitement continue des locomotives.

A. — ÉQUIPEMENT PAR TROISIÈME RAIL

Le rail utilisé pour la prise de courant est un rail à double champignon en acier doux pesant 50 kg par mètre courant (6 600 mm² de section environ) et présentant une résistivité maximum de 12 microhms-cm² par cm. Sa conductibilité équivaut à celle d'un conducteur en cuivre de 900 mm² de section environ.

Il est posé dans des isolateurs dont nous parlerons plus loin, le gros champignon en haut,

Fig. 14. — INSTALLATION DU TROISIÈME RAIL EN VOIE COURANTE.



à 620 mm du bord extérieur du rail le plus voisin, et de façon que sa face supérieure, sur laquelle s'exerce le contact des frotteurs (1), soit à 180 mm au-dessus du plan de roulement de la voie (Fig. 14).

(1) Pour la disposition des frotteurs des locomotives, se reporter au Numéro de Décembre 1929 de la *Revue Générale*. (Note de M. Japiot sur les locomotives électriques à grande vitesse de la Compagnie P.-L.-M.)

Le rail conducteur est livré normalement en barres de 24 m qui sont éclissées ou soudées entre elles comme nous le verrons plus loin.

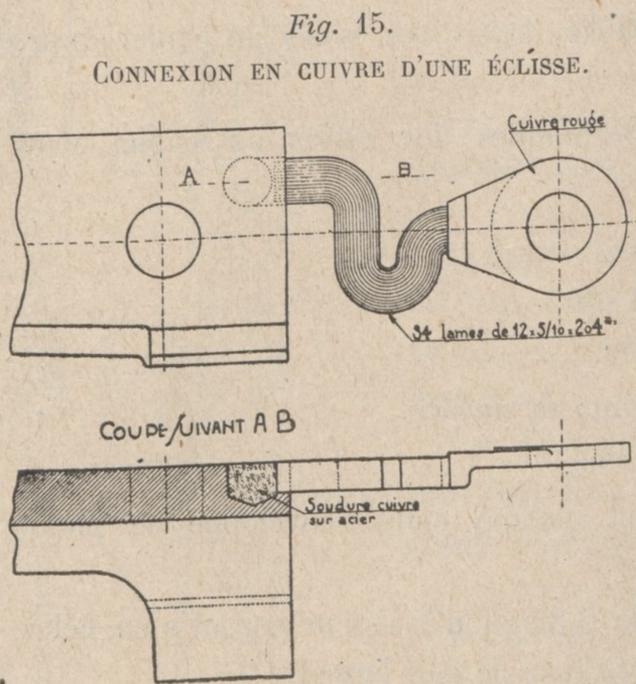
Sur les voies principales, les deux rails de prise de courant sont normalement placés dans l'entrevoie.

Plans inclinés. — Aux extrémités des tronçons de 3^e rail se trouvent des plans inclinés destinés à permettre aux frotteurs de monter sur le 3^e rail. Ces plans inclinés ont d'abord été constitués par des pièces en acier moulé, mais nous avons trouvé plus économique, par la suite, de les fabriquer avec un tronçon de rail conducteur, en entaillant l'âme au chalumeau et en rabattant le champignon supérieur sur l'inférieur.

Les plans inclinés sont de longueurs et inclinaisons diverses. En principe, les plans longs (1, 50 m, inclinaison 3%) sont réservés à l'abordage des frotteurs, les plans courts (0, 50 m) étant placés aux points où les frotteurs quittent le rail dans le sens normal de la marche des trains.

Jonction des barres de 3^e rail. — L'éclissage mécanique adopté n'assurant pas un contact électrique suffisant en raison de l'oxydation des surfaces en contact, nous avons recouru à deux procédés pour obtenir la conductibilité nécessaire : l'éclissage électrique et la soudure des barres.

a) *Éclissage électrique.* — A chacune des extrémités des éclisses ordinaires de 3^e rail, sont soudées des lames de cuivre rouge repliées comme l'indique le croquis (Fig. 15), et



terminées par une large et épaisse rondelle de cuivre formant patte de connexion. Cette patte de connexion et celle de l'éclisse symétrique sont serrées contre le rail par un fort boulon. Un bon contact est assuré par l'interposition d'une rondelle d'étain de 0, 5 mm d'épaisseur et par amalgamage des surfaces en présence (rail et patte de connexion). L'amalgamage est effectué très facilement en frottant les surfaces, préalablement mouillées, avec un bâton d'amalgame étain-sodium (mercure 95, 1 ; sodium 4, 1 ; étain 0, 8).

Ce dispositif présente l'avantage de permettre très facilement le remplacement d'une barre de 3^e rail ; par contre sa conductibilité baisse avec le temps, ce qui nécessite un entretien périodique des joints.

b) *Soudure.* — On a également réalisé la jonction des barres de 3^e rail par la soudure aluminothermique, sur un faible tronçon d'abord, puis sur une plus grande échelle entre St-Jean-de-Maurienne et Modane. L'inconvénient de la soudure réside en ce que les extrémités de la barre unique formée par la soudure d'un certain nombre de barres élémentaires

finissent par subir des déplacements appréciables, du fait de la dilatation. De plus, si on exagère la longueur de tronçon soudé, les forces de dilatation linéaire ont, en courbe, des réactions latérales qui risquent d'être préjudiciables aux isolateurs.

Aussi avons-nous reconnu la nécessité de limiter la longueur d'un tronçon à 300 m environ (non compris les parties situées dans des souterrains, qui ne sont pas soumises aux variations de température).

Entre deux tronçons de rails soudés se trouvent des appareils de dilatation constitués en principe par deux conducteurs parallèles côte à côte pouvant se déplacer l'un par rapport à l'autre tout en restant reliés électriquement. Bien que les joints de dilatation n'aient pas donné lieu jusqu'ici à des dérangements, la nécessité de leur emploi est évidemment un des points faibles du système de soudure des joints. Un autre inconvénient réside dans la difficulté du remplacement d'une portion de rail avarié (nécessité de scier le rail ou de le couper au chalumeau et de faire appel pour les soudures à des ouvriers spécialisés).

Par contre, il faut reconnaître à ce système l'avantage de présenter une conductibilité constante avec un entretien très restreint, limité aux joints de dilatation.

Liaisons électriques aux coupures du 3^e rail. — Le 3^e rail doit, comme on l'a vu, être interrompu de place en place : aux traversées de passages à niveau, aux passages pour piétons dans les gares, au droit des appareils de voie : branchements, traversées anglaises, etc. . . . Enfin, le 3^e rail passe quelquefois d'un côté à l'autre de la voie de roulement. Dans tous ces cas, il est nécessaire, bien entendu, d'assurer la continuité électrique du 3^e rail et c'est grâce à deux câbles, en cuivre, armés, de 400 mm², en parallèle, qu'elle est réalisée.

a) *Câbles armés.* — On a utilisé indifféremment des câbles isolés au papier imprégné et au caoutchouc.

A titre de renseignement, les spécifications techniques des câbles au papier sont les suivantes :

Consistance :

- Un conducteur composé de 61 fils de 29/10 mm.
- Un revêtement isolant de cellulose imprégnée.
- Une bande de toile recouvrant l'isolant sur toute sa surface.
- Une enveloppe de plomb de 2,5 mm d'épaisseur.
- Une couche de matières fibreuses formant matelas entre l'enveloppe de plomb et l'armature goudronnée à cœur.
- Une armature de deux feuillets d'acier de 0,8 mm d'épaisseur enroulés en hélice de même sens, et se recouvrant d'une quantité égale au tiers de leur largeur
- Une couche de filin goudronnée ou asphaltée à cœur et enduite extérieurement de craie ou de talc prévenant l'adhérence.

Essais. — Ces câbles sont essayés en usine à une tension alternative de 50 périodes par seconde, de 12 000 volts pendant 3 minutes, et, immédiatement après, à une tension de 9 000 volts pendant trente minutes.

L'isolement kilométrique ne doit pas être inférieur à 300 mégohms à 15° C.

b) *Boîtes d'extrémité.* — La question de la liaison des câbles armés au 3^e rail a été une des plus difficiles à résoudre.

Nous avons d'abord utilisé, comme sur la ligne de Chamonix, où il donne satisfaction, le système à courant continu de 600 volts, qui a l'avantage d'être économique et simple.

Il consiste, après avoir dénudé sur des longueurs successives le conducteur de cuivre, l'isolant, puis le tube de plomb, à souder le conducteur dans une cosse de cuivre destinée à être fixée au 3^e rail. Un tuyau de caoutchouc coiffant à la fois le plomb du câble et la cosse doit empêcher l'humidité d'atteindre l'isolant du câble.

Mais ce mode de liaison essayé entre Chambéry et St-Pierre d'Albigny a donné lieu à de nombreux claquages de câbles.

Pour remédier à ces inconvénients nous avons mis au point, avec l'aide d'un constructeur, une boîte d'extrémité de câble, représentée figure 16, qui possède une étanchéité parfaite

(obtenue grâce au filin suiffé s'appliquant contre le tube de plomb dans le logement formant presse-étoupe) et permet une liaison souple entre le câble armé et le 3^e rail. (Cette liaison s'opère par un ou deux câbles extra-souples de 91 torons de chacun 19 fils de 35/100 mm, d'une section totale de 166 mm²).

En outre, cette boîte d'extrémité présente les particularités suivantes :

1^o Grande surface de contact entre les conducteurs élémentaires du câble et la cosse.

2^o Fixation de la boîte par serrage sur le feuillard d'acier du câble et non sur le tube de plomb, ce qui a l'avantage de ne pas fatiguer ce dernier.

Les résultats obtenus sont satisfaisants et les claquages sont devenus très rares.

c) *Supports des boîtes d'extrémité.* — La boîte d'extrémité est supportée par un socle, dont une partie, en forme d'arc de cercle, soutient et guide le câble armé à sa remontée vers le sol.

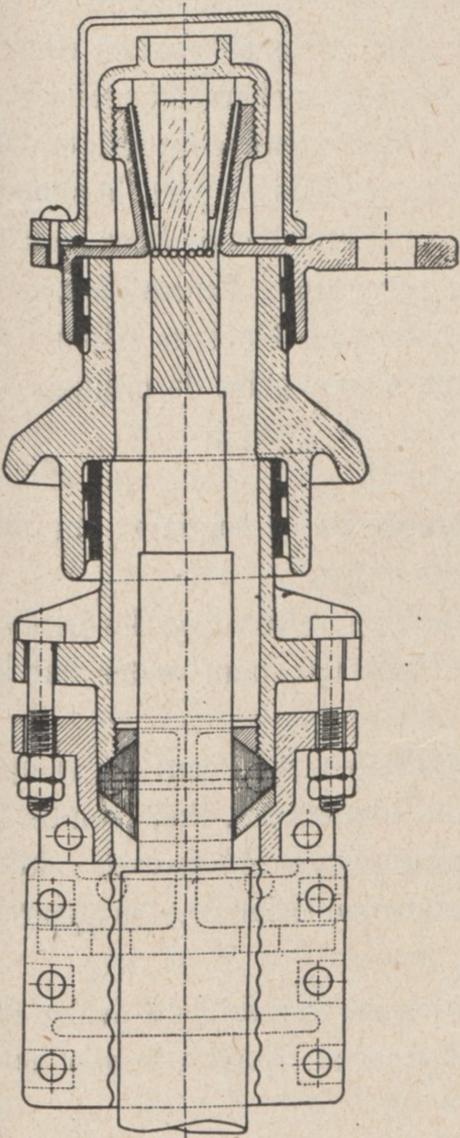
Les deux câbles d'une coupure pour une voie principale reposent, d'un socle de boîte d'extrémité à l'autre, dans une goulotte en ciment armé.

Isolateurs, supports du 3^e rail. — Les isolateurs qui servent à soutenir et à maintenir le 3^e rail sont des pièces massives ayant la forme et les dimensions indiquées au

dessin (Fig. 14). Il en existe de trois matières différentes : en grès, en basalte et en porcelaine.

Ces derniers, peut-être les meilleurs au point de vue de l'isolement, sont d'un prix et d'une fragilité qui prohibent l'extension de leur emploi. Les isolateurs en grès préalablement traités par immersion dans un bain de paraffine bouillante et les isolateurs en basalte fondu se valent sensiblement, comme isolement et comme prix.

Fig. 16. — BOÎTE D'EXTRÉMITÉ
POUR JONCTION EN CÂBLE ARMÉ.



La fabrication de l'isolateur en basalte a été assez délicate à mettre au point ; cette pièce, qui s'obtient par coulée de la matière en fusion, puis recuit, est de dimensions telles qu'il était difficile d'éviter des tensions internes très préjudiciables à sa solidité. La question n'a pu être résolue qu'en ménageant un trou sensiblement conique dans la partie la plus massive de l'isolateur, la partie inférieure.

La figure 14 montre la position du rail dans les isolateurs. Il repose sur une semelle en acier qui répartit les pressions dans la gorge de l'isolateur, et il est maintenu par deux butées élastiques latérales, en acier. On remarquera qu'il n'y a pas là liaison complète, et que l'isolateur peut s'abaisser (comme cela arrive lors du passage des trains) sans que le rail suive ce mouvement.

Les isolateurs sont fixés au moyen de deux crapauds sur des pièces de bois plus longues que les traverses et substituées à certaines de celles-ci, tous les 3,50 m à 4 m environ.

Par temps sec, un rail de prise de courant équipé dans ces conditions présente une résistance d'isolement kilométrique supérieure à 70 000 ohms ; en cas de pluie cette résistance n'est généralement pas inférieure à 7 000 ohms.

Dans le prix de revient complet du 3^e rail, la dépense relative aux isolateurs n'est pas négligeable ; il en faut 500 environ par kilomètre de double voie et ces pièces sont chères, étant entièrement constituées par de la matière isolante. Aussi avons-nous cherché à réaliser un isolateur économique en scindant les fonctions : isolement et support mécanique du rail, et dans lequel, d'une part, la partie isolante serait réduite au minimum et, d'autre part, le support mécanique du rail serait constitué d'une matière économique, comme le béton. Dans ce sens, des essais sont effectués avec des isolateurs partie béton, partie porcelaine ; d'autre part, nous avons également essayé de constituer des isolateurs en imprégnant des blocs de béton d'un produit approprié. Ces essais qui sont en cours ne permettent encore point de préjuger du résultat.

Anti-cheminants. — Nous avons dit précédemment, à propos de la soudure, un mot de la dilatation linéaire du rail et du cheminement qui en résulte.

Dans les sections où le rail est éclissé, il est prescrit de ne pas serrer trop les boulons assurant l'éclissage mécanique et de plombaginer les portées d'éclissage, pour éviter que les déplacements dus à la dilatation ne se cumulent.

On constate néanmoins un cheminement du rail, qui se manifeste surtout dans les rampes et les courbes, mais dont il est difficile de prévoir a priori le sens et l'importance. Pour combattre ce déplacement longitudinal du 3^e rail, nous avons fixé sur le champignon inférieur de celui-ci des appareils dits « anticheminants », dont une face s'appuie contre un isolateur. Ces appareils sont posés aux voisinages des coupures du 3^e rail.

Sur les tronçons soudés, où le cheminement dû à la dilatation est impossible à éviter, des appareils, anticheminants ont été posés au milieu de chaque tronçon soudé compris entre deux appareils de dilatation.

Protection du 3^e rail. — Il ne faut pas chercher à se dissimuler le danger que présente un conducteur à la tension de 1 500 volts continu posé à ras de terre le long des voies.

Ce danger, déjà appréciable pour les agents des gares équipées en 3^e rail ou les agents appelés à circuler en pleine voie, est plus grave encore pour les ouvriers et agents de la Voie travaillant constamment au voisinage du 3^e rail.

Aussi a-t-il été jugé indispensable, en dehors des mesures spéciales de précaution édictées par les Règlements, de chercher à réduire le plus possible les contacts accidentels avec le 3^e rail en le munissant sur toute sa longueur d'une protection constituée par 3 planches disposées comme le montre la figure 14.

Pour satisfaire à la double condition de ne laisser entre les planches que le plus petit intervalle possible (pour éviter le passage d'un outil, ou d'un membre) et de permettre en tout état de cause le passage des frotteurs quels que soient les déplacements du 3^e rail par rapport au sol, le mieux était de fixer aussi invariablement que possible la protection au 3^e rail. Cette fixation est représentée sur la figure N^o 14 : les planches sont fixées sur des chaises en acier moulé constituées de deux parties s'emboîtant en A, et présentant chacune un téton T ; celui-ci s'engage dans le trou borgne d'une cale isolante en grès, en basalte, ou en porcelaine, qui épouse le profil du rail.

Il y a deux chaises supports de planches entre deux isolateurs de 3^e rail ; au droit de ceux-ci, les planches latérales sont arrêtées, tandis que les planches supérieures sont reliées par une équerre d'assemblage en acier qui contribue à leur rigidité. Les planches sont en sapin créosoté.

Appareils de mise à la terre du 3^e rail. — Malgré la présence de la protection, ce n'est qu'exceptionnellement que des travaux sont exécutés au voisinage du troisième rail sous tension. La majorité des travaux s'effectue après coupure du courant et mise du 3^e rail à la terre.

Cette mise à la terre, qui est quelquefois réalisée par une mâchoire spéciale du sectionneur qui a servi à supprimer la tension est toujours assurée, en tout état de cause, par des appareils posés sur le 3^e rail, à proximité immédiate du chantier et dont nous allons donner une description succincte.

L'appareil de mise à la terre du 3^e rail se compose de deux pièces métalliques réunies par des câbles de cuivre de 300 mm² de section totale. L'une des pièces se fixe au patin du rail de roulement, l'autre en forme de coin, est destinée à être engagée entre le champignon supérieur du 3^e rail et la planche supérieure de la protection. Cette dernière pièce est portée par un manche isolant. Dans certains types d'appareils, le manche est amovible, de façon que l'appareil de mise à la terre, une fois en place, le manche ôté, ne sorte pas du gabarit P.L.M. des obstacles. Enfin, nous avons également créé un appareil de mise à la terre par contact sur le champignon inférieur du 3^e rail, qui permet le passage sur la section mise à la terre d'une locomotive électrique munie de ses frotteurs (locomotive électrique remorquée par un train à vapeur, ou franchissant, au lancé, la section sans courant, par exemple).

Les appareils à contact sur le champignon supérieur permettent, en certains cas d'urgence, de supprimer le courant sur un 3^e rail, sans danger pour l'opérateur. Pour cela, après avoir branché l'appareil sur le rail de roulement, on engage bien franchement, en la tenant par le manche isolant, la pièce en forme de coin, entre le rail et la protection. Le court-circuit franc ainsi créé fait déclencher les disjoncteurs qui alimentent la voie intéressée.

Premières conclusions à tirer des essais. — La date du début des essais de traction par 3^e rail est encore trop récente pour que l'on puisse se prononcer dès maintenant pour ou contre ce mode de prise de courant.

Toutefois, l'expérience déjà acquise semble amener aux conclusions suivantes :

En ce qui concerne l'entretien du conducteur de prise de courant, le 3^e rail paraît préférable à la ligne aérienne, tant au point de vue fréquence des dérangements qu'à celui de la facilité de l'entretien.

A l'encontre des lignes aériennes, les installations de 3^e rail, sont en effet, constituées d'éléments robustes, assemblés de façon simple, et si l'on met à part la protection, il est permis de penser qu'elles ne nécessiteront qu'un entretien courant très restreint.

D'autre part, le 3^e rail est facilement accessible, et le peu d'entretien qu'il demande peut être effectué par des cantonniers ordinaires sous la direction d'un agent spécialisé. Bien entendu, les travaux ne sont entrepris sur le 3^e rail qu'après pose d'appareils de mise à la terre qui protègent efficacement le chantier contre une remise intempestive de la tension.

En cas d'accident, déraillement, tamponnement, etc... le 3^e rail, étant donné sa continuité le long de la voie, a plus de chance d'être avarié que la ligne aérienne qui ne risque que par ses supports.

Jusqu'ici les avaries survenues au 3^e rail, qui ont consisté en bris d'isolateurs, déformation du 3^e rail (sans rupture), destruction de la protection, ont pu être réparées très vite et très facilement, la réparation ayant simplement consisté à placer des isolateurs neufs, à redresser la barre du 3^e rail (ce qui est aisé, étant donné qu'elle est d'acier doux) et à remonter la protection ; cette dernière opération ne présente d'ailleurs pas un caractère d'urgence pour la reprise de la traction électrique.

A côté de ces avantages pratiques, on peut encore concéder au 3^e rail cette supériorité, appréciable sur certaines lignes touristiques, qu'il ne gêne pas la vue, ni ne dépare les sites comme le font les supports des lignes aériennes.

Par contre, si on se place au point de vue entretien de la voie proprement dite et sécurité du personnel, la prise de courant par 3^e rail présente certains inconvénients.

Les travaux d'entretien de la voie nécessitent souvent la coupure du courant sur le 3^e rail. Or, les coupures possibles sont trop courtes et trop rares pour permettre d'effectuer ces travaux dans des conditions économiques.

Certaines opérations peuvent être également entreprises au voisinage du 3^e rail sous tension. Dans ce cas, nous prescrivons certaines précautions, notamment l'utilisation de boucliers, simples planches posées contre la protection et qui obturent l'ouverture réservée aux passages des frotteurs.

Par ailleurs, des appareils de mise à la terre sont connectés à la voie de roulement, tout prêts à être posés sur le 3^e rail et à provoquer la coupure du courant en cas d'accident.

Toutes ces sujétions se traduisent par une majoration de 15 à 25 % sur les prix des marchés d'entretien, par rapport à ce qu'ils sont sur des voies non munies de 3^e rail.

En ce qui concerne la sécurité du personnel, il est évidemment à craindre qu'en dépit des recommandations faites aux agents et des précautions prises, les accidents ne soient plus fréquents avec le 3^e rail qu'avec la ligne aérienne.

Signalons à ce propos, qu'en vue des soins immédiats à donner aux électrocutés, on a constitué, à intervalles rapprochés, des dépôts de nécessaires médicaux pour faire des piqûres d'éther, ainsi que des appareils destinés à obtenir mécaniquement la respiration artificielle et dont tous les agents ont appris à se servir.

Équipement des voies de service des gares par 3^e rail. — L'équipement des voies de service par 3^e rail est semblable à celui des voies principales. Toutefois, comme les courants de traction qui parcourent les voies de service sont relativement faibles, on a généralement utilisé, pour l'éclissage du 3^e rail, des éclisses ordinaires sans connexions électriques. De plus, les câbles de jonction aux coupures de 3^e rail, ont une section de 150 mm² au lieu de 400.

B. — ÉQUIPEMENT DES GARES PAR LIGNE AÉRIENNE.

Le premier équipement réalisé en fil aérien fut celui de la zone de recouvrement située à la sortie de la gare de Chambéry. C'est une caténaire inclinée type « Midi », qui se prête bien à l'abordage des pantographes en marche, même à vitesse relativement élevée. Elle comprend un câble porteur en bronze de 53,7 mm², un fil rainuré en cuivre de 107 mm² formant porteur auxiliaire, et un fil de contact en cuivre, identique au précédent.

Les voies principales de la gare de Chambéry sont équipées de la même façon, mais, en raison de l'importance des courants qui peuvent y circuler, la section du câble porteur en bronze est de 153,7 mm². Quelques voies de service de la gare de Chambéry, utilisées comme voies de départ des trains électriques, possèdent une ligne caténaire simple (un porteur en bronze de 94 mm² et un fil de contact rainuré de 107 mm²).

Sur toutes les autres voies équipées avec ligne aérienne, tant à Chambéry que dans les autres gares, cette ligne est simplement constituée par un fil de contact rainuré en cuivre de 107 mm².

Toutefois, les voies de la gare de St-Pierre-d'Albigny ont été équipées, à titre d'essai, avec une caténaire du type polygonal (1 porteur en bronze de 53,7 mm² et un fil de contact d 107 mm²).

Le petit matériel mis en œuvre dans toutes ces installations : pinces, antibalançants, pendules, etc. . . , est celui couramment utilisé en pareil cas. Les isolateurs sont des noix en porcelaine à conduits intérieurs de 4 et 10 T, les supports sont des profilés double T à larges ailes, simples ou assemblés par deux ; les consoles sont en U assemblés.

On peut signaler toutefois l'essai d'isolateurs type capot et tige, en matière moulée et en porcelaine, ainsi que d'isolateurs ordinaires en basalte.

Feeders. — Les feeders des voies de service des gares sont constitués généralement par des câbles en cuivre nu de 105 mm².

C. — ÉCLISSAGE ÉLECTRIQUE DES RAILS DE ROULEMENT

Sur les voies principales, chaque joint de rail est muni de deux éclisses avec connexions électriques analogues à celles des éclisses de 3^e rail. La section de cuivre que ces éclisses offrent ainsi au passage du courant est de 408 mm² par file de rails.

Tous les 500 mètres, des connexions équipotentielles relient les quatre files de rails des deux voies.

Sur les voies de service, une seule des deux éclisses de chaque joint est munie de connexions en cuivre.

IV. — INSTALLATIONS DE SECTIONNEMENT DES CONDUCTEURS DE PRISE DE COURANT

A. — SECTIONNEMENT DES VOIES PRINCIPALES

Dispositions générales. — Le nombre des trains qui circulent, à un instant donné, entre deux sous-stations consécutives, est assez variable suivant les heures de la journée. D'autre part, en raison de la nature du profil, les puissances absorbées en un même point de la ligne par les trains pairs et impairs sont souvent très différentes les unes des autres.

Ces deux considérations conduisaient donc, d'une part, à brancher les sous-stations en parallèle sur les voies, afin de faire concourir deux sous-stations à l'alimentation d'un même train, et, d'autre part, à établir de place en place des liaisons entre les troisièmes rails des deux voies, afin de répartir les courants aussi également que possible entre ces rails, et afin de faciliter, dans la partie haute de la ligne, les échanges d'énergie entre les trains montants et descendants.

Par ailleurs, malgré la faible résistance ohmique des voies, (1) le courant débité par une sous-station, en cas de court-circuit près de la sous-station voisine, est généralement inférieur à l'intensité de déclenchement des disjoncteurs de feeder qu'il traverse. Il importait donc de réaliser une disposition capable d'assurer la protection des installations dans de telles circonstances.

Toutefois, l'importance du trafic de la ligne de Culoz à Modane n'aurait pas justifié l'emploi exclusif de postes de sectionnement entièrement automatiques, qui comportent nécessairement de nombreux disjoncteurs à puissance de coupure élevée, et qui sont, de ce fait, relativement coûteux. L'expérience montre d'ailleurs que la plupart des court-circuits sur les voies sont essentiellement passagers : il est presque toujours possible de refermer immédiatement les disjoncteurs qui se sont ouverts, de sorte que, en pratique, la circulation des trains est rarement troublée par des court-circuits persistants.

Ces différentes considérations ont conduit à adopter, les dispositions générales suivantes :

Au droit des sous-stations, les rails de prise de courant présentent deux coupures de 11 m, séparées par un tronçon de 3^e rail de 22 m formant section neutre. Les six feeders positifs qui partent de chaque sous-station alimentent respectivement les deux voies principales, dans chaque direction, ainsi que les sections neutres (Pl. IX).

L'alimentation d'une « Section » c'est-à-dire de l'ensemble des voies comprises entre deux sous-stations consécutives, est donc tout à fait indépendante de celle des sections voisines.

En particulier, grâce à la présence des sections neutres, aucune perturbation n'est à craindre si un train vient à passer devant une sous-station au moment où une des sections adjacentes est hors tension ; la section neutre est toujours efficace, même si le train est constitué par plusieurs locomotives attelées ensemble.

Dans chaque section, les rails de prise de courant sont divisés en un certain nombre de tronçons, dont les extrémités correspondent aux aiguilles des diverses communications reliant

(1) La résistance ohmique moyenne d'un kilomètre de voie double (rails de prise de courant et rails de roulement) est d'environ 0,020 ohm.

les voies principales. Ces communications sont situées dans les gares, et à proximité des postes de block de pleine voie.

C'est également au droit des communications Voie 1-Voie 2, que sont établies les liaisons entre les deux rails de prise de courant. Afin de permettre aux sous-stations d'isoler électriquement les deux voies l'une de l'autre, ces liaisons sont réalisées par des contacteurs, ainsi que nous le verrons plus loin.

Les appareils de sectionnement des voies principales sont groupés dans des postes de deux types, décrits ci-après :

a) *Postes avec disjoncteurs de sectionnement.* — Il existe un seul poste de ce type dans chaque section, au droit de la communication V-1 V-2 la plus proche du milieu de la section (gare B de la Pl. VIII).

Ce poste est constitué de la façon suivante :

En amont et en aval des aiguilles de la communication, les rails de prise de courant des deux voies sont reliés l'un à l'autre par deux sectionneurs E_1 , E_2 , et deux contacteurs C_1 , C_2 , montés en série; la bobine d'attraction de l'armature mobile de chaque contacteur étant branchée entre le rail de prise de courant correspondant et les rails de roulement. Chaque contacteur se ferme lorsque la tension du 3^e rail qui alimente sa bobine atteint 1 000 volts environ; il s'ouvre dès que cette tension tombe au dessous de 300 volts.

La liaison des conducteurs de prise de courant côté Culoz avec ceux côté Modane, est réalisée par un disjoncteur H à maximum d'intensité, manœuvrable à distance par l'une ou l'autre des deux sous-stations voisines.

La commande à distance s'effectue par l'intermédiaire du circuit téléphonique à appels directs des sous-stations, dont il a été question précédemment.

A cet effet, un sélecteur à trois contacts, analogue à ceux qui assurent les appels téléphoniques dans les sous-stations, est installé dans le poste de sectionnement. La manœuvre de ce sélecteur est obtenue en composant sur le cadran d'appel d'une sous-station voisine, un des trois nombres qui lui sont affectés. Les deux premiers nombres correspondent respectivement à l'enclenchement et au déclenchement du disjoncteur; le troisième sert à vérifier la position occupée par cet appareil: il permet à cet effet, de provoquer dans le circuit téléphonique, lorsque le disjoncteur est ouvert, l'émission temporaire d'un signal acoustique spécial.

La pratique a montré que ce système de commande à distance, particulièrement économique puisqu'il n'exige pas de conducteurs spéciaux, n'apporte aucune gêne dans les communications téléphoniques échangées sur le circuit qu'il utilise.

En raison de l'emplacement qu'occupe le disjoncteur H par rapport aux sous-stations, cet appareil est normalement parcouru par des courants dont l'intensité reste notablement inférieure à la somme des intensités de déclenchement de deux disjoncteurs D_r d'une sous-station; cette circonstance permet de faire déclencher le disjoncteur H pour une intensité bien moins élevée que celle qui est susceptible de le traverser en cas de court-circuit au droit de la sous-station. Le disjoncteur H protège ainsi les installations dans les cas où les disjoncteurs des sous-stations risqueraient d'être inopérants.

Du fait de l'emploi d'un rail comme conducteur de prise de courant, la résistance apparente

des voies en régime variable est assez élevée (1). Le courant débité par une sous-station sur un court-circuit éloigné s'établit donc assez lentement, et l'effet du shunt inductif des disjoncteurs extra-rapides des sous-stations est alors très réduit. Il a été reconnu suffisant, pour cette raison, d'utiliser comme disjoncteur H un appareil ordinaire muni d'un relais de déclenchement à faible inertie. En cas de court-circuit, un tel disjoncteur déclenche presque toujours avant ceux des feeders de la sous-station la plus éloignée du court-circuit.

Le courant à basse tension nécessaire pour l'alimentation de l'électro d'enclenchement et des circuits de commande du disjoncteur H est fourni par une batterie d'accumulateurs composée de 18 éléments nickel-cadmium, d'une capacité de 87 ampère-heure. Cette batterie est montée en série, côté terre, avec la bobine d'un des contacteurs; elle est ainsi parcourue en permanence par un courant de charge de 0,1 ampère environ.

b) Postes de sectionnement ordinaires. — Ces postes (gares A et C de la Pl. VIII) équipent les communications V-1V-2, non pourvues de poste avec disjoncteur. Il comportent :

— deux sectionneurs A_1 et A_2 reliant, sur chaque voie, deux tronçons consécutifs de troisième rail ;

— deux contacteurs C_1 et C_2 , encadrés par des sectionneurs E_1 et E_2 , qui réalisent la mise en parallèle des rails de prise de courant des deux voies. Ces contacteurs sont identiques à ceux des postes avec disjoncteur de sectionnement.

Fonctionnement des installations. — Le fonctionnement des installations est le suivant :

En exploitation normale, les sectionneurs des divers postes sont fermés (2), ainsi que les contacteurs et disjoncteurs.

Si un court-circuit se produit sur une voie, au point M du schéma par exemple, le disjoncteur H et les disjoncteurs Dr des feeders, côté Culoz, de la sous-station Y s'ouvrent, ce qui provoque immédiatement l'ouverture des contacteurs compris entre ces appareils.

L'agent de service à la sous-station Y ouvre alors le sectionneur Sc , puis vérifie l'isolement des rails de prise de courant de chacune des deux voies. Si le défaut persiste en M, le disjoncteur Dr_1 côté Culoz de la sous-station Y et le disjoncteur H sont refermés, afin de rétablir la tension sur la voie 2; la voie 1 reste isolée, puisque les bobines des contacteurs correspondants ne sont pas alimentées par cette manœuvre.

La localisation du défaut se poursuit alors en faisant ouvrir le sectionneur A_1 de la gare C. S'il est reconnu nécessaire d'établir un pilotage, les mouvements de trains aux abords de la communication de la gare C sont rendus possibles par la présence d'un sectionneur B_1 situé à 700 m environ de la communication, et dont l'ouverture, suivie de la refermeture du sectionneur A_1 , permet de rétablir la tension sur le troisième rail de la voie 1, dans la partie sur laquelle les trains doivent manœuvrer.

Les postes avec disjoncteur de sectionnement sont également pourvus de 2 sectionneurs E_3 , normalement ouverts, dont le rôle est le suivant :

En cas de défaut permanent sur le rail de prise de courant, en un point tel que N par

(1) C'est à dessein que nous ne parlons pas de coefficient de self induction, car celui-ci est mal défini, en raison de l'effet pelliculaire, particulièrement sensible lors d'un court-circuit.

(2) Sauf les sectionneurs E_3 dont le rôle est indiqué plus loin.

exemple, il peut être nécessaire, après localisation du défaut, de remettre sous tension le troisième rail de voie 1, entre les sectionneurs A_1 et B_1 de la gare B, afin de permettre la circulation des trains impairs sur la communication de cette gare ; ce résultat est obtenu en fermant le sectionneur E_3 , côté Modane.

B. — SECTIONNEMENT DES VOIES DE GARES.

Dans les gares, les voies de service sont réparties, suivant leur nature, en plusieurs groupes (voies de débord, voies de garage, etc. . .) et l'alimentation de chaque groupe est assurée par un sectionneur distinct, pourvu d'un talon de mise à la terre.

S'il s'agit d'une gare peu importante, ces sectionneurs sont directement branchés sur un des rails de prise de courant des voies principales, et ils ne sont fermés que lorsqu'une locomotive électrique est appelée à circuler sur les voies qu'ils alimentent.

Au contraire, dans les gares d'une certaine importance, la plupart des conducteurs de prise de courant des voies de service restent sous tension en permanence ; les sectionneurs d'alimentation des divers groupes de voies sont alors reliés aux troisièmes rails des voies principales par un disjoncteur. Cet appareil est analogue au disjoncteur de sectionnement H, dont il a été question plus haut ; il est toutefois d'un calibre inférieur, quoique possédant la même puissance de coupure, et il n'est pas commandé à distance.

Si un tel disjoncteur se trouve dans une gare assez voisine d'une sous-station, un court-circuit sur une voie de service entraîne généralement le déclenchement des disjoncteurs de la sous-station, mais l'inertie du relais du disjoncteur de la gare a été prévue suffisamment faible pour que cet appareil s'ouvre également (1). La sous-station peut donc, en cas de court-circuit persistant, rétablir immédiatement le courant sur les voies principales, sans attendre que la gare ait isolé la voie défectueuse.

Afin de permettre aux agents des gares de vérifier facilement que les conducteurs de certaines voies de service sont bien sous tension, ces conducteurs alimentent un indicateur optique constitué par un petit tube luminescent à gaz raréfié, monté en série avec une résistance. La visibilité de ces tubes reste suffisante en plein jour, malgré leur faible consommation (30 watts environ par tube).

Les appareils de sectionnement sont installés dans des cabines, à l'exception toutefois des sectionneurs d'alimentation des voies équipées avec fil aérien, qui sont disposés sur les portiques des lignes de contact.

Nous dirons simplement quelques mots des appareils en cabine :

Les sectionneurs (1500 et 500 A) sont montés sur marbre, mais leur isolement est renforcé par des pièces en bakélite ; ils se manœuvrent à l'aide d'une perche isolante. Ces appareils ont subi en usine des essais d'isolement particulièrement sévères (15 000 V pendant une minute entre contacts et entre contacts et masse).

Ainsi que nous l'avons vu plus haut, les contacteurs se ferment pour une tension de 1 000 V environ aux bornes du circuit de la bobine d'attraction, et s'ouvrent lorsque cette tension

(1) En cas de court-circuit, le temps qui s'écoule entre le début du court-circuit et le moment où le relais libère le ressort qui provoque l'ouverture du disjoncteur est d'environ 0,01 seconde.

s'abaisse au-dessous de 300 V. Ce résultat a pu être obtenu par une disposition appropriée du circuit magnétique. D'autre part, la puissance de coupure de ces appareils est assez faible, car ils ne sont pas appelés à couper des courants intenses sous une tension élevée ; on constate même, en pratique, qu'ils s'ouvrent presque toujours à vide, leur fonctionnement étant plus lent que celui des disjoncteurs.

Les appareils de sectionnement en cabine sont reliés par des câbles armés aux conducteurs de prise de courant. La jonction des câbles avec les appareils s'effectue par l'intermédiaire d'une pièce spéciale analogue à celle des boîtes d'extrémité déjà décrites. La protection de l'extrémité du câble contre l'humidité est assurée par un tube en carton bakéliné rempli de matière isolante.

Fig. 17. — CABINE AVEC DISJONCTEUR H DE SECTIONNEMENT.
PANNEAU DE SECTIONNEURS ET CONTACTEURS.

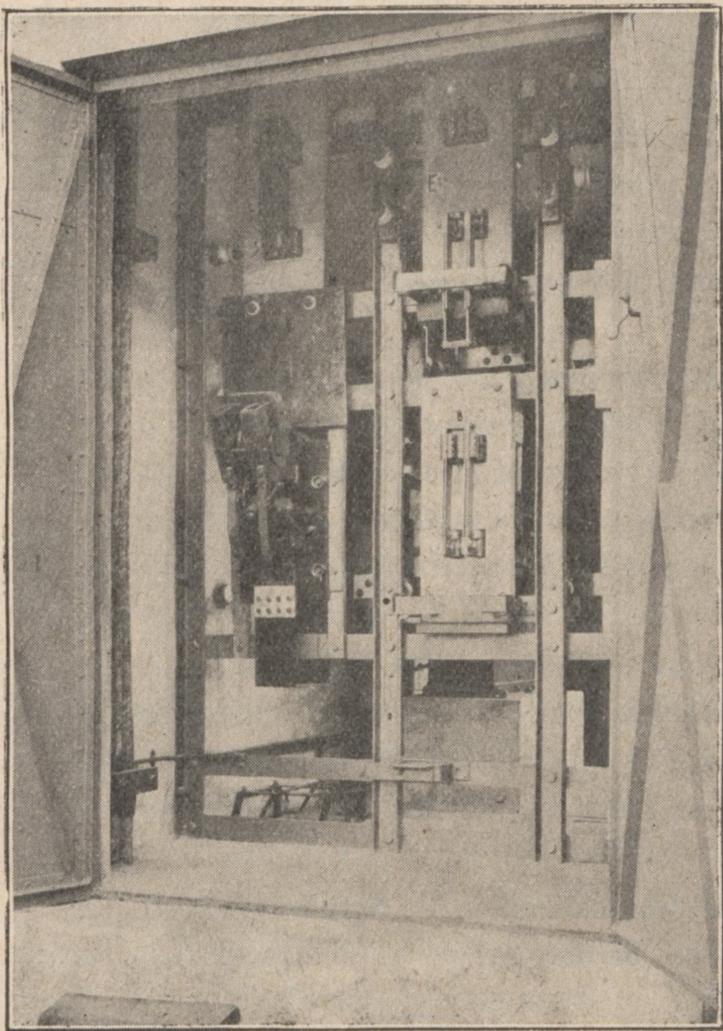


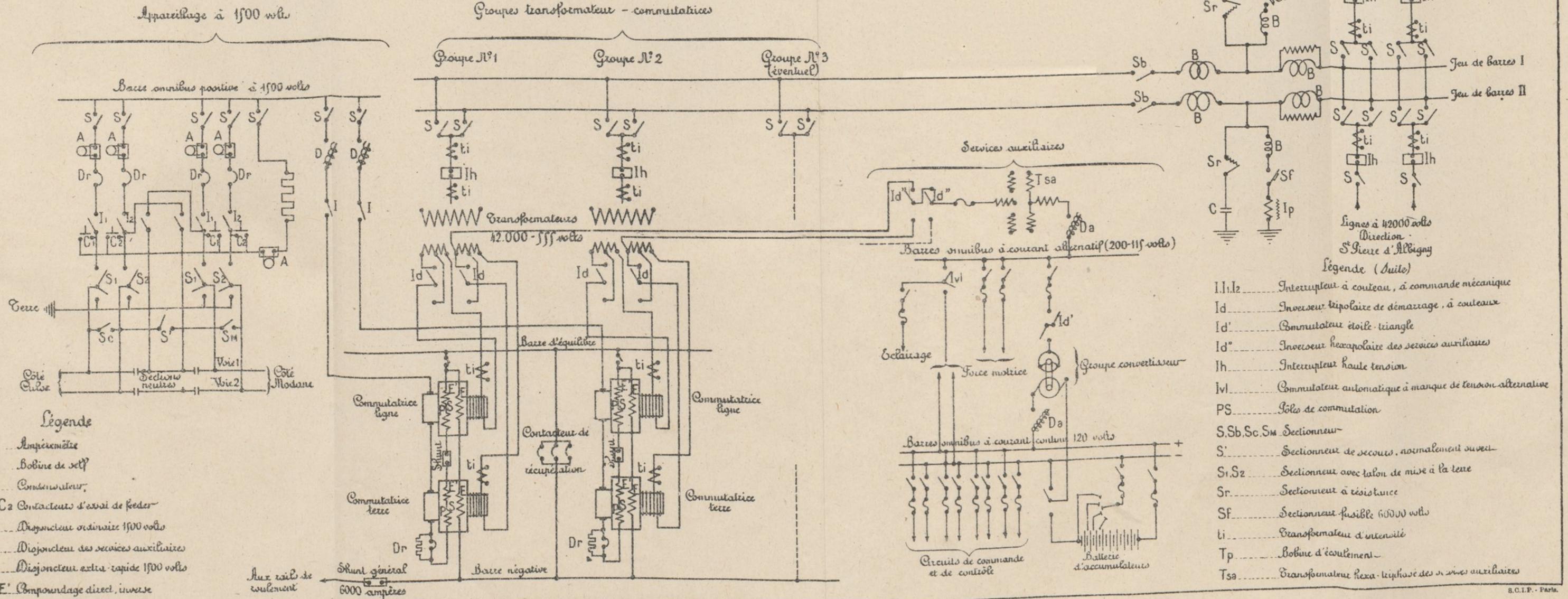
Fig. 18. — CABINE POUR DISJONCTEUR DE VOIES DE SERVICE.
A GAUCHE, CABINE POUR SECTIONNEURS.



En général les appareils de nature différente (sectionneurs, contacteurs, disjoncteurs) sont installés dans des cabines distinctes, chaque poste comprenant une ou plusieurs cabines. Cette disposition a permis de réduire le nombre des types de cabines, et, par conséquent, de construire ces dernières en série. Elles sont formées de panneaux en ciment armé, confectionnés à l'atelier et assemblés sur place (Fig. 17).

Toutefois, pour les postes avec disjoncteurs de sectionnement, qui comportent d'assez nombreuses connexions, il a été reconnu préférable d'abriter tous les appareils dans un petit bâtiment unique, en maçonnerie, avec toiture en ciment armé (Fig. 18).

Schéma unifilaire de la sous-station de Chambéry



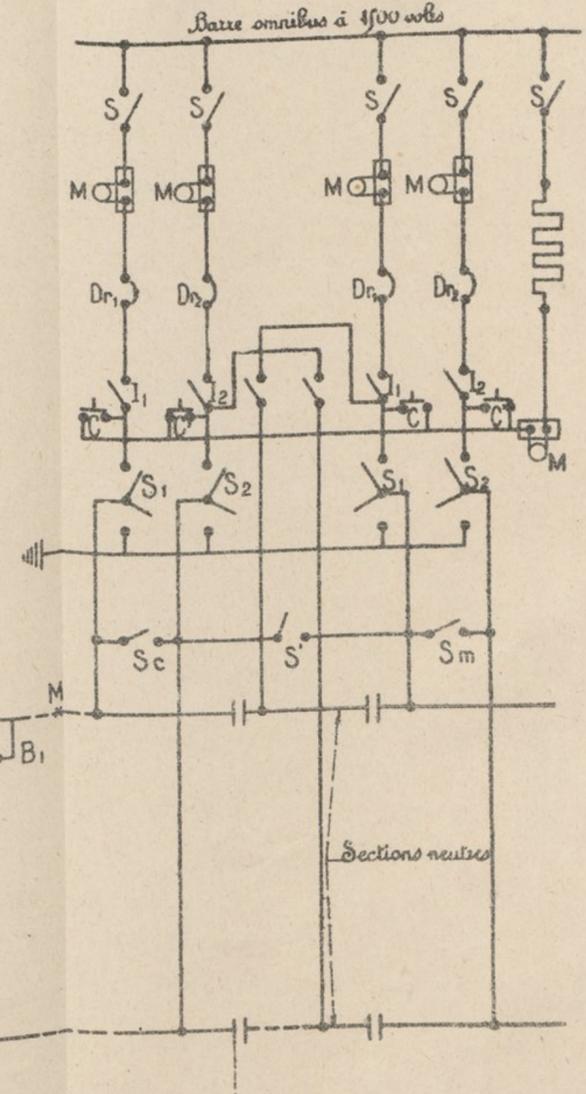
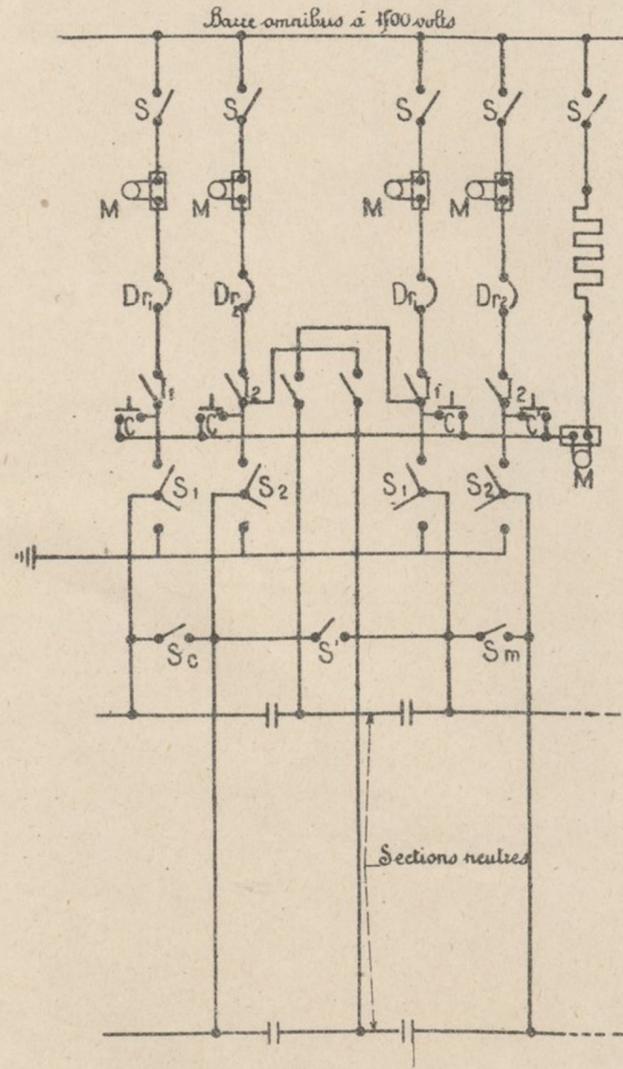
- Légende**
- A Ampèremètre
 - B Bobine de self
 - C Condensateur
 - C₁, C₂ Contacteurs d'essai de fieder
 - D Disjoncteur ordinaire 1500 volts
 - D_a Disjoncteur des services auxiliaires
 - D_r Disjoncteur extra-rapide 1500 volts
 - E, E' Compositage direct, inverse

- I, I₁, I₂ Interrupteur à couteau, à commande mécanique
- Id Inverseur bipolaire de démarrage, à couteaux
- Id' Commutateur étoile-triangle
- Id'' Inverseur hexapolaire des services auxiliaires
- Ih Interrupteur haute tension
- Iv Commutateur automatique à manque de tension alternative
- PS Sols de commutation
- S, Sb, Sc, Sm Sectionneur
- S' Sectionneur de secours, normalement ouvert
- S₁, S₂ Sectionneur avec talon de mise à la terre
- Sr Sectionneur à résistance
- Sf Sectionneur fusible 60000 volts
- ti Transformateur d'intensité
- Tp Bobine d'écartement
- Tsa Transformateur hexa-triphasé des services auxiliaires

Schéma-type de sectionnement entre 2 sous-stations

Sous-station X (côté Culoz)

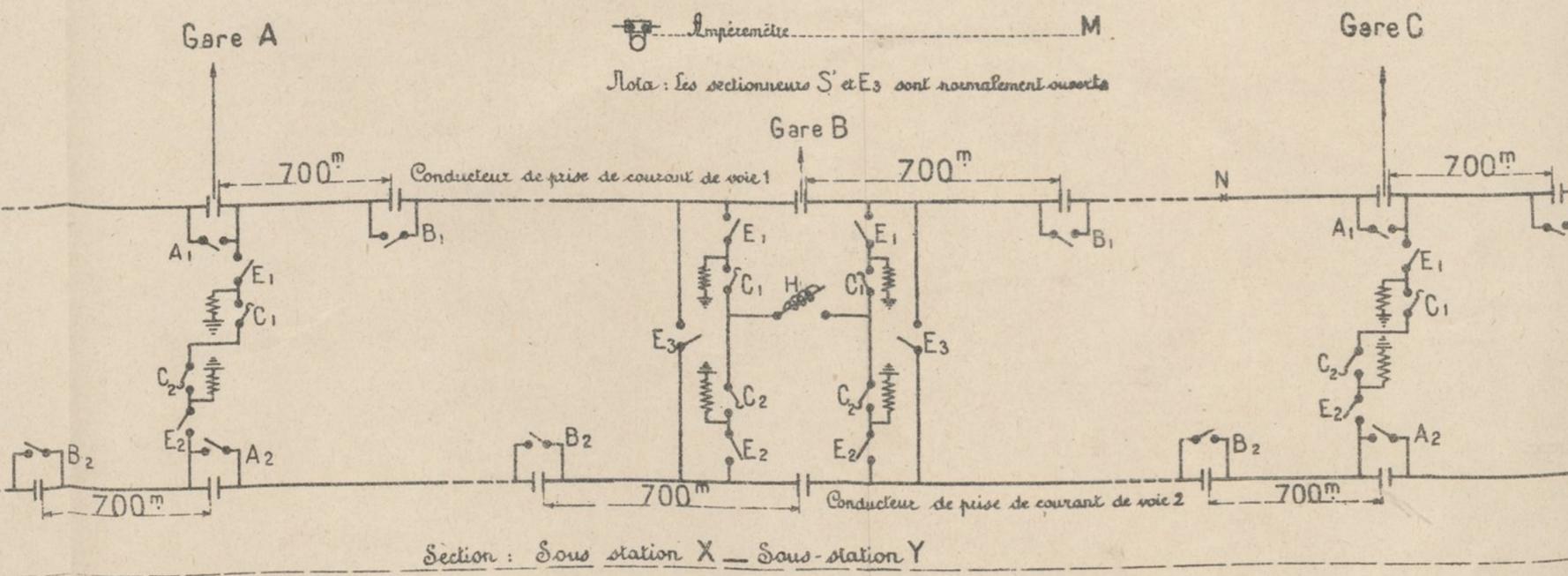
Sous station Y (côté Modane)



Légende

- Sectionneur (A₁A₂B₁B₂
E₁E₂E₃I₁
I₂SScSmS'
- Sectionneur avec talon de mise à la terre S₁S₂
- Contacteur de sectionnement C₁C₂
- Contacteur d'essais de feeder C C'
- Disjoncteur de sectionnement H
- Disjoncteur ultra-rapide Dr₁ Dr₂
- Coupeur de sectionnement
- Impédemètre M

Nota : Les sectionneurs S' et E₃ sont normalement ouverts



Section : Sous station X — Sous-station Y