

NOTE

SUR

l'Électrification des Chemins de Fer du Midi

PAR

M. P. LÉBOUCHER,

INGÉNIEUR EN CHEF

M. H. LEDOUX,

INGÉNIEUR PRINCIPAL

DES SERVICES TECHNIQUES DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DE LA COMPAGNIE DU MIDI.

(Pl. I à IV).

La *Revue Générale des Chemins de Fer* a décrit dans le N^o d'Avril 1912 (note de MM. Jullian et Lhériaud), la première tentative d'électrification faite par la Compagnie des Chemins de fer du Midi sur sa ligne de Cerdagne, de Villefranche-Vernet-les-Bains à Bourg-Madame. Cette ligne, à voie étroite d'une longueur de 51 kilomètres et qui comprend des rampes de 60 mm par mètre et des courbes de 80 m de rayon fut équipée en courant continu à 850 volts avec prise de courant par 3^e rail. Nous n'y reviendrons pas.

De même le N^o de Mars 1911 de la *Revue Générale* (note de M. Jullian) indique les essais effectués en courant monophasé 12.000 V (fréquence 16 périodes $\frac{2}{3}$ par seconde) sur la ligne à voie normale de Perpignan à Villefranche longue de 47 km. Ces essais, très satisfaisants en ce qui concerne la traction proprement dite, firent apparaître des troubles très sérieux dus à l'induction électrostatique et électromagnétique du courant de traction sur les lignes à courant faible, troubles qui ont fait l'objet de plusieurs publications (1) auxquelles nous prions le lecteur de bien vouloir se reporter. Il y verra qu'au début de la guerre, la solution des communications télégraphiques était trouvée et que plus tard en 1916, grâce à l'emploi de transformateurs-suceurs on pouvait utiliser pratiquement les circuits téléphoniques.

Néanmoins, lorsqu'après l'armistice, la Compagnie du Midi voulut reprendre son programme d'électrification d'avant-guerre que la pénurie du charbon l'avait d'ailleurs conduite à développer

(1) Devaux-Charbonnel, *Lumière Electrique* 1916 (Le télégraphe et la traction monophasée). — Dachary, *G. E.*, 3 Mars et 7 Avril 1917, Application de transformateurs suceurs sur la ligne de Perpignan-Villefranche. — Leboucher et Villeneuve, *Technique moderne*, Mars et Avril 1919, La Traction Electrique et les lignes à courant faible.

considérablement, elle ne put pas le faire, car, parallèlement au projet qu'elle présentait, le P. O. et le P. L. M. dressaient un vaste programme pour l'électrification de 3.000 et 2.200 km de lignes de leur réseau respectif, si bien que les Pouvoirs Publics dans un but très louable de « Standardisation » décidaient que les trois réseaux devraient adopter le même courant de manière que les locomotives d'un réseau puissent, éventuellement, passer sur les réseaux voisins.

Un Comité créé au Ministère des Travaux Publics fut chargé d'élaborer un programme d'ensemble comportant notamment le choix du courant.

Des missions de techniciens, comprenant des Ingénieurs des divers réseaux français allèrent étudier en Suisse le courant monophasé, en Italie le courant triphasé, enfin aux Etats-Unis le courant monophasé, le courant monotriphasé, et le courant continu haute tension. Les conclusions de leurs rapports (1) furent longuement discutées et le Conseil Supérieur des Travaux Publics émit l'avis que dans l'état actuel de la technique, le courant continu dit « haute tension » était le seul dont on puisse actuellement préconiser l'adoption pour la réalisation du programme d'électrification arrêté par le Comité ;

Qu'en outre il y avait économie pour la plupart des lignes à adopter la tension de 1.500 volts, la tension de 3.000 volts pouvant être exceptionnellement admise pour quelques lignes présentant des conditions particulières d'installation ou d'exploitation sur des points spéciaux ;

Qu'enfin il convenait d'adopter pour les usines nouvelles destinées à alimenter les stations de transformation le courant triphasé à 50 périodes.

La Décision Ministérielle du 29 Août 1920 adopta dans son ensemble l'avis du Conseil Supérieur et sanctionna ses conclusions.

La Compagnie du Midi fut donc amenée, non seulement à modifier tous ses projets, mais encore à envisager la transformation de ses usines et de son matériel moteur équipés en monophasé.

Nous nous proposons dans ce qui suit d'indiquer dans leurs grandes lignes les nouveaux projets de la Compagnie et de décrire les installations fixes en partie exécutées telles que : usines génératrices, lignes de transport à 150.000 volts, postes à haute tension 150.000 V/60.000 V, lignes de distribution à 60.000 V et 10.000 V, sous stations de transformation et lignes de prise de courant à 1.500 V. Enfin le matériel moteur fera l'objet de notes spéciales ultérieures.

CHAPITRE 1^{er}. — PROGRAMME D'ÉLECTRIFICATION

Avant de parler du programme actuel, faisons un rapide historique des projets d'électrification de ces 20 dernières années.

Le 5 Décembre 1902 la Compagnie des Chemins de fer du Midi signait une convention avec l'Etat pour l'établissement d'une ligne à voie de 1m et à traction électrique entre Villefranche de Conflent et Bourg-Madame en Cerdagne française.

Cette ligne fut ouverte en 1910.

(1) Mauduit, Rapport présenté au Ministre des Travaux Publics le 2 Mars 1919 sur l'expérience actuellement acquise sur l'électrification des grandes lignes de chemins de fer en France et à l'Étranger. — Japiot et Ferrand La Traction Electrique aux Etats-Unis, Dunod, éditeur, 1921.

En 1907 la Compagnie du Midi obtenait de l'Etat la concession des deux lignes transpyrénéennes de Bedous à Canfranc et d'Ax-les-Thermes à Puigcerda. Ces deux lignes, à très fortes rampes, 43 mm par mètre pour la première et 40 mm par mètre pour la seconde comportent des souterrains de très grande longueur. La Compagnie du Midi accepta de les exploiter avec la traction électrique.

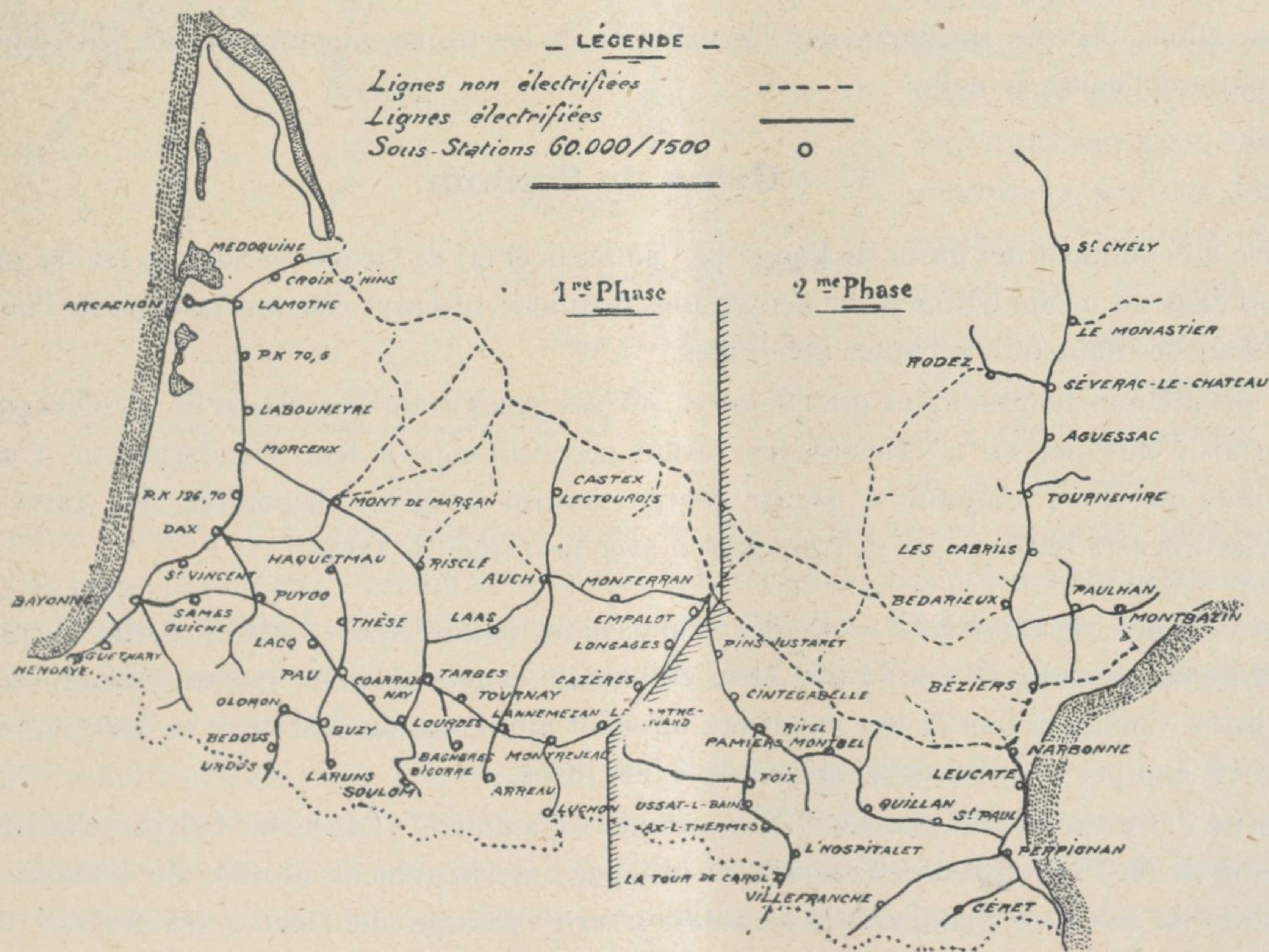
En 1908, elle obtenait la concession des lignes d'Auch à Lannemezan, d'Arreau à St-Lary, de Tarbes à Castelnaud-Magnoac et de Pau à Hagetmau. Aux termes de la convention passée avec l'Etat la traction électrique devait être appliquée, non seulement à ces lignes nouvelles, mais encore à l'ancienne ligne de Pau à Montrejeau et à ses embranchements. Le total des lignes dont l'électrification était ainsi prévue dépassait 600 kilomètres.

En 1913, une autre convention passée à l'occasion de lignes nouvelles dans les départements de l'Ariège, de l'Aude et des Pyrénées Orientales prévoyait encore la traction électrique pour ces lignes et quelques lignes anciennes soit encore 330 kilomètres de voies à équiper.

Enfin, pendant la guerre, la Compagnie étendit encore son programme, et porta à 3.300 km la longueur des lignes à électrifier en y comprenant 350 km environ de lignes nouvelles : l'électrification s'étendra ainsi à plus des trois quarts du réseau.

Ce nouveau programme sera réalisé en 20 années et sera exécuté en 2 phases ; la première phase comprenant les lignes de la partie Ouest du réseau et la seconde phase les lignes de la partie Est.

Fig. 1. — CARTE DU RÉSEAU DU MIDI.



La carte (Fig. 1) indique en traits pleins les lignes qui seront électrifiées et en traits pointillés les lignes qui continueront à être exploitées à la vapeur.

Pour les lignes de la 1^{re} phase, les seules étudiées jusqu'ici, la mise en service avec le courant continu à 1.500 V aura lieu vraisemblablement dans l'ordre suivant :

En 1923 : Pau-Montrejeau, Lourdes-Pierrefitte, Tarbes-Bagnères, Lannemezan-Arreau ; Montrejeau-Luchon, Pau-Dax, Montrejeau-Toulouse ;

En 1924 : Bordeaux-Irun, Lamothe-Arcachon, Lanegresse-Biarritz, Ceinture de Bordeaux, Pau-Bedous et Buzy à Laruns ;

En 1926 et années suivantes : les autres lignes de la 1^{re} phase.

CHAPITRE II. — USINES

Il n'est actuellement prévu sur le réseau du Midi que des usines hydro-électriques. Nous ne parlerons d'ailleurs dans ce qui va suivre que des usines installées ou en projet dans les Pyrénées, l'utilisation de la houille verte des Cévennes et du Plateau Central n'ayant encore donné lieu qu'à des études préliminaires.

Les usines actuellement en exploitation, en partie tout au moins, sont celles de Soulom d'Éget, et de la Cassagne et Fontpedrouse. Nous ne décrirons d'ailleurs pas ces deux dernières appelées à disparaître ou à être remaniées complètement lors de l'aménagement définitif de la Vallée de la Têt.

Les Usines projetées sont celles de la Vallée d'Ossau, de la Vallée de la Haute-Ariège et de la Vallée de la Têt, la construction des premières étant d'ailleurs commencée.

Nous allons décrire succinctement l'installation de ces usines en commençant par celles en exploitation à l'heure actuelle.

A. — Usine de Soulom.

Située au confluent des gaves de Pau et de Caunterets (Fig. 2) l'usine de Soulom est la juxtaposition dans un même bâtiment de deux usines distinctes utilisant chacune les eaux de l'un des gaves, sous des hauteurs de chutes différentes.

Les installations hydrauliques qui existaient sur ces gaves avant la création de Soulom n'ont pas permis d'effectuer sur ces rivières les travaux nécessaires pour leur régularisation. L'usine de Soulom marchera toujours à pleine charge suivant le débit disponible des gaves. Sa régularisation sera obtenue par sa conjugaison avec les usines de l'Ossau.

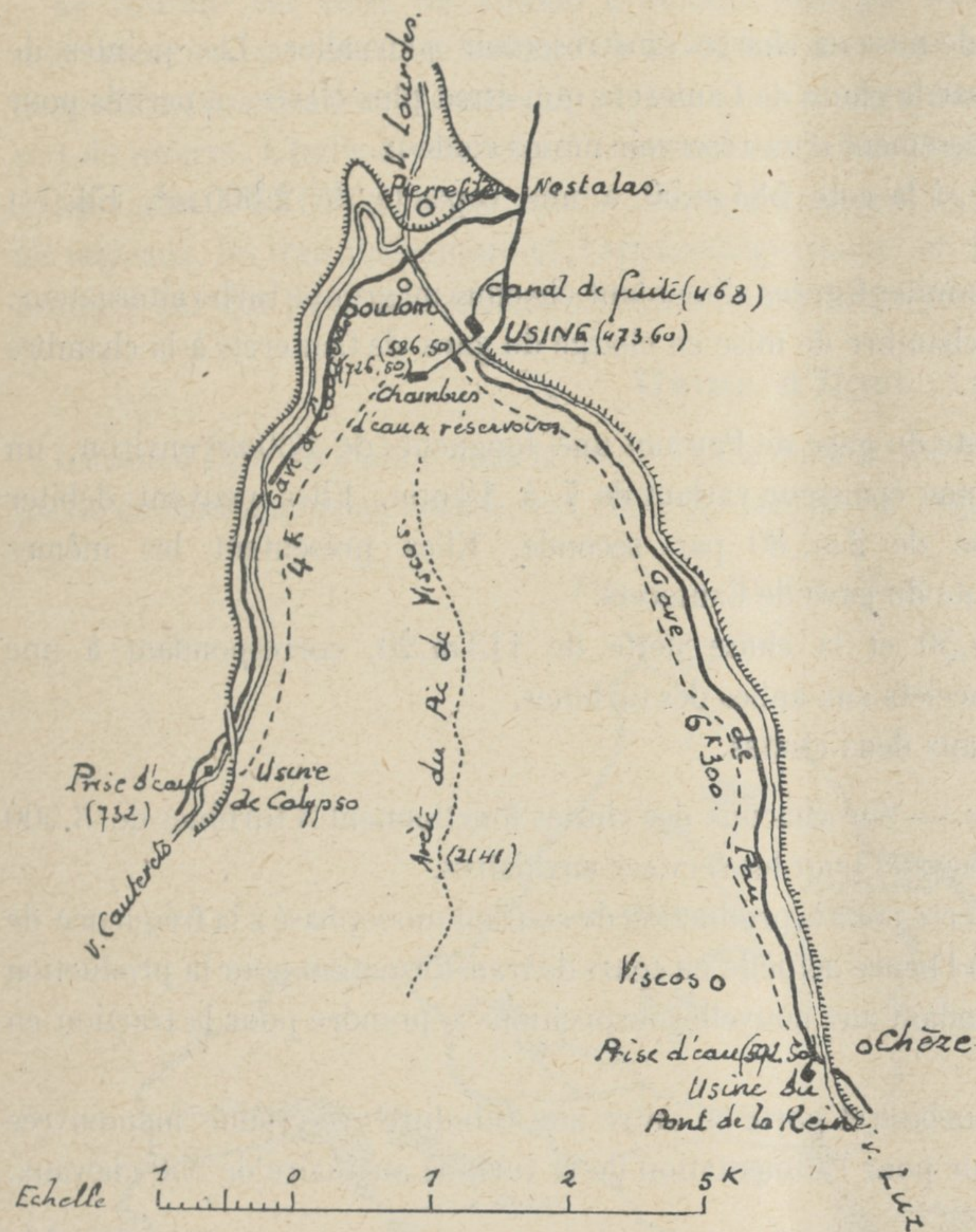
Chute du gave de Caunterets. — Le débit du gave de Caunterets, de 1.800 à 2.000 litres en période de basses eaux, atteint 14.000 litres en hautes eaux. Le débit moyen annuel est de 4.000 litres. Comme il faut laisser en rivière un débit minimum de 300 litres en tout temps, la chute a été équipée pour un débit moyen de 1.500 litres.

La prise d'eau est établie à la cote 732 m, un peu en amont de l'usine de Calypso alimentant le Chemin de fer Pierrefitte-Luz-Caunterets et installée antérieurement à celle de Soulom. La prise d'eau est suivie de chambres de décantation avec passage de l'eau à travers des tôles perforées. A cette eau vient s'unir celle amenée par le canal de fuite de l'usine de Calypso.

De là part le canal d'amenée en souterrain, avec pente de 1 mm par mètre. Le débit du canal est de 2.200 litres avec un tirant d'eau de 1 m et de 3.400 litres avec un tirant d'eau de

1 m, 50. Après un parcours de 3 km le canal d'aménée voit sa largeur de 1 m, 50 portée brusquement à 4 m, 50. Le réservoir souterrain ainsi constitué a une longueur de 700 mètres et est continué par un réservoir à ciel ouvert de 300 mètres de longueur, de 12 mètres de large et d'une profondeur moyenne de 4 m, 50. Ce réservoir aboutit à la chambre de mise en

Fig. 2. — RÉGION DE SOULOM.



charge. L'ensemble des deux réservoirs et de la chambre de mise en charge constitue un réservoir journalier de 22.000 mètres cubes qui pendant les 9 heures de nuit peu chargées peut emmagasiner la moitié du débit du gave.

De la chambre de mise en charge partent 3 conduites forcées, chacune d'elles alimentant un groupe turbo-alternateur de l'usine. Ces conduites, construites par la maison Bouchayer et Viallet, ont une longueur de 530 mètres environ. En tôle chaudière, de 35 à 40 kg de résistance à la rupture par mm^2 , d'un allongement pour cent supérieur à 30, elles sont constituées par des tronçons soudés de 18 mètres de longueur en moyenne. Leur diamètre intérieur est de 810 mm. L'épaisseur varie de 7 mm à 20 mm en allant de la chambre de mise en

charge à l'arrivée à l'usine. Calculées pour résister à des coups de bélier dépassant de 20% la pression statique, elles ont été essayées, à la réception, à la pression normale augmentée de 50%. Leur débit est de 1.200 litres par seconde à la vitesse de 2 m, 25 par seconde.

Les conduites ont été établies sans joints de dilatation. Les efforts de dilatation sont absorbés par d'importants massifs d'ancrage.

Elles sont en outre munies d'un dispositif de désamorçage automatique en cas d'excès de débit, en cas de rupture de la conduite en particulier (1), et de compteurs Venturi.

Le plancher de l'usine est à la cote 473 m, 60. La hauteur de chute varie de 242 m, 30 à 250 m, suivant le niveau dans la chambre de mise en charge, ce qui donne une puissance de 3.750 poncelets environ aux aubes des turbines.

(1) Voir *Lumière Electrique* 1^{er} Avril 1914.

Chute du Gave de Pau. — Le débit du gave de Pau varie de 4.700 litres à 30.000 litres avec une moyenne de 10.000 litres. Le débit utilisable est de 4.400 litres.

La prise d'eau est établie à la cote 592 m, 50. L'eau est captée dans deux chambres de décantation successives à travers deux séries de grilles.

Le canal d'amenée, en souterrain sur une longueur de 6 km 300, a une pente de 1 mm par mètre, une largeur de 2 mètres et un débit variant de 5.000 à 6.000 litres avec un tirant d'eau de 1 m,50 à 1 m,90.

Ce canal aboutit à la chambre de mise en charge sans réservoir journalier. Les pointes de l'usine de Soulom sont assurées par la chute de Caunterets qui, étant plus élevée, a permis pour son utilisation dans ce but l'établissement d'un réservoir moins coûteux.

La chambre de mise en charge, à la cote 584 m,50 a une capacité de 2.000 m³. Elle est souterraine.

De cette chambre partent 3 conduites forcées alimentant chacune un groupe turbo alternateur.

Une conduite spéciale relie la chambre de mise en charge du gave de Caunterets à la chambre du gave de Pau.

Les conduites forcées de la chute du gave de Pau ont une longueur de 330 m environ, un diamètre intérieur de 1 m, 200, une épaisseur variant de 7 à 13 mm. Elles peuvent débiter 3.200 litres-seconde à la vitesse de 2 m, 80 par seconde. Elles présentent les mêmes particularités que celles de la chute du gave de Caunterets.

La chute brute est de 116 m,50 et la chute nette de 113 m,20, correspondant à une puissance moyenne de 5.000 poncelets aux aubes des turbines.

Le canal de fuite est commun aux deux chutes.

Équipement électro-mécanique. — Sur chacune des chutes fonctionnent 3 turbines de 3.500 chevaux et une turbine de 350 chevaux pour les services auxiliaires.

L'armement réalisé avant la guerre pour la production de courant monophasé à la fréquence de 16 2/3 périodes par seconde est à l'heure actuelle en cours de transformation pour la production de triphasé 50 périodes, correspondant aux nouvelles dispositions à prendre pour la traction en continu.

Chaque conduite alimente sa turbine et porte en outre une tubulure avec vanne manœuvrée à main aboutissant à un collecteur pour l'alimentation de la turbine auxiliaire de 350 chevaux, par l'une quelconque des conduites.

Les turbines principales basse chute (gave de Pau) sont du type Francis, centripète à injection totale et aspiration. L'arrivée d'eau à la turbine est commandée par un robinet-vanne manœuvrable à main sur lequel agit en outre automatiquement un régulateur de vitesse. En cas de fermeture brusque de la vanne un régulateur de pression ouvre un orifice d'échappement branché en dérivation sur l'arrivée d'eau à la turbine et le referme assez lentement pour éviter les surpressions.

Un alternateur triphasé 50 périodes par seconde, 500 tours/minute, 10.500 volts, 2.400 kw sous $\cos \varphi = 0,8$, est accouplé rigidement à la turbine. Les 4 paliers du groupe turbo-alternateur sont à refroidissement par circulation d'eau.

La turbine auxiliaire de 350 chevaux est du type Girard centrifuge à injection partielle. Elle entraîne une génératrice à courant continu 125 volts qui produit le courant nécessaire à l'excitation des alternateurs principaux et aux besoins des services auxiliaires de l'usine.

Les turbines principales haute chute sont du type Pelton à deux injecteurs et aspiration, avec régulateur de vitesse à pression d'huile. Chacune d'elles actionne un alternateur triphasé

50 périodes par seconde, 333 tours/minute, 10.500 volts, 2.400 kw sous $\cos \varphi = 0,8$. Les paliers sont à refroidissement par circulation d'eau. Le robinet-vanne de chaque turbine est actionné par l'eau des conduites forcées.

La turbine auxiliaire de 350 chevaux est du type Pelton à libre déviation. Son régulateur de vitesse utilise l'eau des conduites. Elle entraîne une excitatrice pour les alternateurs et une génératrice à courant continu 125 volts pour les services auxiliaires.

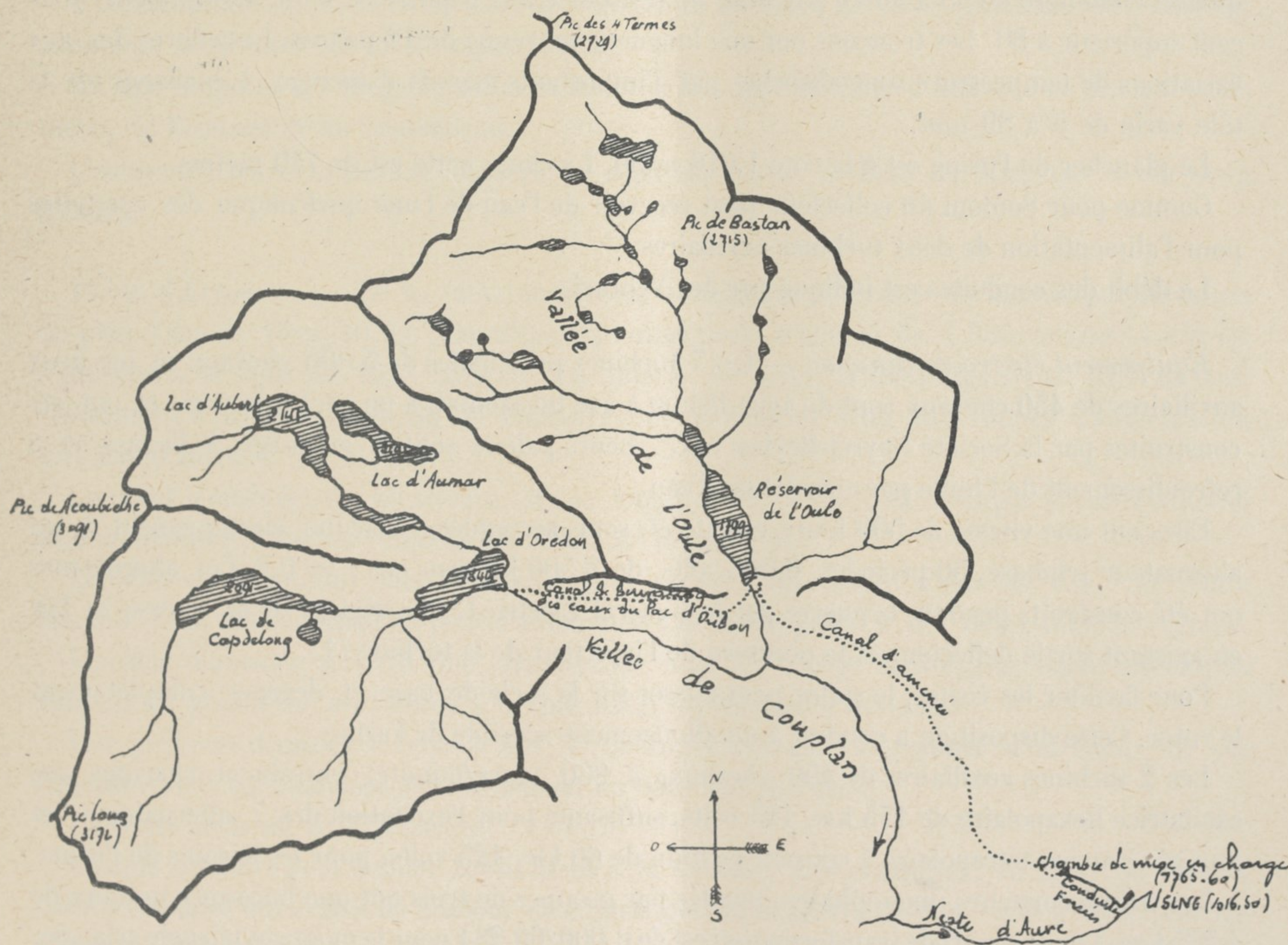
Le courant est élevé de 10.500 à 60.000 volts par deux groupes de 3 transformateurs monophasés d'une puissance unitaire de 2.400 kw sous $\cos \varphi = 0,8$, montés étoile-triangle (transformation des transformateurs anciens pour courant monophasé). Un 7^e transformateur sert de réserve. L'huile de ces transformateurs est refroidie par circulation d'eau.

Les lignes à 60.000 volts partent de tours qui flanquent le bâtiment dans lequel se trouvent les tableaux, les transformateurs et l'appareillage haute et basse tension. Les départs sont protégés par des parafoudres électrolytiques et des déchargeurs hydrauliques.

B. — Usine d'Eget (1).

L'usine d'Eget est établie dans la haute Vallée de la Neste d'Aure (Fig. 3). Elle a profité en partie de l'aménagement réalisé vers 1870 des lacs de la région en vue d'alimenter pendant

Fig. 3. — RÉGION D'ÉGET.



(1) On trouvera une description plus détaillée de l'Usine d'Eget, dans la *Revue Générale d'Electricité* des 3, 10, 17, 24, Juillet 1920. Article de MM. Eydoux et Leboucher.

l'été, par un canal, les rivières du plateau de Lannemezan à sec durant la plus grande partie de cette saison. Ces lacs sont ceux : d'Oredon, d'une capacité de 7.000.000 de mètres cubes et d'une superficie de 52 hectares, de Capdelong, de 7.000.000 de mètres cubes, d'Aumar, de 1.100.000 mètres cubes, d'Aubert, d'une capacité de 4.500.000 mètres cubes, ce dernier en cours d'aménagement définitif. Les réserves de ces lacs devant être utilisées pour les besoins de l'irrigation avant de l'être pour ceux de la Compagnie du Midi, il est créé dans la Vallée de l'Oulé voisine, un réservoir artificiel de 6.500.000 mètres cubes de capacité devant recueillir les eaux d'un bassin versant de 30 km² de superficie.

Les eaux du lac d'Oredon sont conduites par un canal souterrain de 3 km,1 jusqu'à l'aval du barrage de l'Oulé, dans le canal d'amenée qui part de ce réservoir. Ce canal d'amenée, en souterrain, d'une longueur de 5 km,600 aura un débit de 4.000 litres à la seconde. Il aboutit à la chambre de mise en charge de Plaouquès à la cote 1.765 m,6. Cette chambre de mise en charge forme réservoir horaire d'une capacité de 300 mètres cubes.

De la chambre de mise en charge partent 7 conduites forcées alimentant chacune un groupe turbo-alternateur, et munies du même dispositif de désamorçage automatique en cas d'excès de débit, que les conduites forcées de Soulom, dispositif dont il a été parlé précédemment. Leur longueur est de 1.250 mètres. D'un diamètre intérieur de 560 mm elles peuvent débiter chacune 675 litres à la seconde à une vitesse de 2 m,75 par seconde. Elles sont en acier soudé qualité chaudière de 35 à 40 kg par mm² de résistance à la rupture et d'un allongement pour cent supérieur à 30. Les tronçons ont une longueur moyenne de 12 mètres. Les efforts dus aux variations de température sont absorbés par d'importants massifs d'ancrage. L'épaisseur de la tôle varie de 5 à 39 mm'.

Le plancher de l'usine est à la cote 1.016 m,50. La chute nette est de 710 mètres.

Comme pour Soulom un collecteur peut recevoir de l'eau de l'une quelconque des conduites pour l'alimentation de deux turbines auxiliaires.

Le débit des conduites est indiqué par des Venturi.

Equipement électro-mécanique. — Les 7 turbines principales de 5.000 chevaux et les deux auxiliaires de 450 chevaux sont du type Pelton à axe horizontal, à un seul injecteur, et ont été construites par la Société Neyret-Beylier et C^{ie}. Leurs paliers sont à graissage à bagues et à refroidissement de l'huile par circulation d'eau.

Elles ont une vitesse de 500 tours/minute et sont accouplées chacune élastiquement à un alternateur triphasé, 50 périodes, 6.000 volts, de 3.500 kw sous $\cos \varphi = 0,8$. Ces alternateurs ont été construits pendant la guerre par la General Electric C^o. Le réglage de la vitesse se fait en agissant sur le déflecteur et le pointeau de l'injecteur de la turbine (1).

Pour faciliter les visites, le stator peut glisser sur le socle de base et dégager complètement le rotor. Cette disposition a conduit à un allongement sensible de l'arbre.

Les 2 turbines auxiliaires de 450 chevaux, à 900 tours/minute, entraînent chacune une excitatrice hexapolaire de 175 kw, 125 volts, suffisante pour l'excitation des 7 alternateurs, et une génératrice tétrapolaire à courant continu de 60 kw, 125 volts, pour les besoins de l'usine.

Les transformateurs, monophasés, montés par groupes de trois ont une puissance unitaire de 4.375 kva. Leur rapport de transformation est de 6.000/69.284 pour le montage triangle-triangle.

(1) Voir une description détaillée du réglage dans la *Revue Générale d'Electricité* des 3 au 31 Juillet 1920.

Leur huile est refroidie par circulation d'eau. Un thermomètre indique la température de l'huile et actionne un signal d'alarme si cette température dépasse 75° . L'équipement comporte 2 groupes de 3 transformateurs et un septième transformateur comme réserve.

L'appareillage haute tension est de type courant. Les interrupteurs, monophasés, sont à commande électrique à distance. L'énergie haute tension quitte l'usine par deux départs dont la protection est assurée par deux postes de parafoudres électrolytiques extérieurs, un sur chaque départ.

L'Usine d'Eget comporte une installation complète de séchage et filtrage d'huile, et de séchage de transformateurs. Un groupe moteur-compresseur d'air portatif, permet d'effectuer le nettoyage des enroulements des alternateurs. Un pont roulant de 30 tonnes dessert la salle des machines de bout en bout.

C. — Usines de la Vallée d'Ossau.

Ce groupe d'usines comprendra celles du Hourat et de Miegébat en construction et celle d'Artouste dont les travaux ne sont pas encore commencés. Ces trois usines échelonnées, et conjuguées entre elles, utiliseront complètement et rationnellement les ressources en eau de la région (Fig. 4).

L'Usine d'Artouste utilisera les eaux de l'émissaire du lac d'Artouste aménagé en réservoir annuel de 16.000.000 de m^3 de capacité utile.

L'Usine moyenne de Miegébat utilisera les eaux du canal de fuite d'Artouste et des gaves de Bious, de Brousset et du Soussouéou.

L'usine inférieure du Hourat utilisera les eaux du canal de fuite de Miegébat et du Gave d'Ossau.

Usine d'Artouste. — Le lac d'Artouste sera transformé en réservoir annuel par élévation du plan d'eau de 16 m, 40. Le plan d'eau sera ainsi porté à la cote de 1.985 mètres. La prise d'eau sera à la cote de 1943 environ. La galerie de prise, d'une longueur de 137 mètres, renfermera 4 tuyaux de 0 m, 50 de diamètre qui amèneront l'eau aux vannes d'alimentation du canal d'aménée.

Le canal d'aménée, en souterrain, d'une longueur de 8 km, 500 s'élargit à son extrémité aval de manière à former réservoir de 5.000 m^3 de capacité.

Le débit maximum du canal d'aménée correspond à un tirant d'eau de 1 m, 35. Cette hauteur d'eau dans le canal ne peut d'ailleurs être dépassée grâce à des déversoirs de réglage.

Le canal d'aménée arrive à une chambre de mise en charge souterraine dans laquelle la hauteur du plan d'eau est limitée à la cote 1.931 m, 95 par un déversoir.

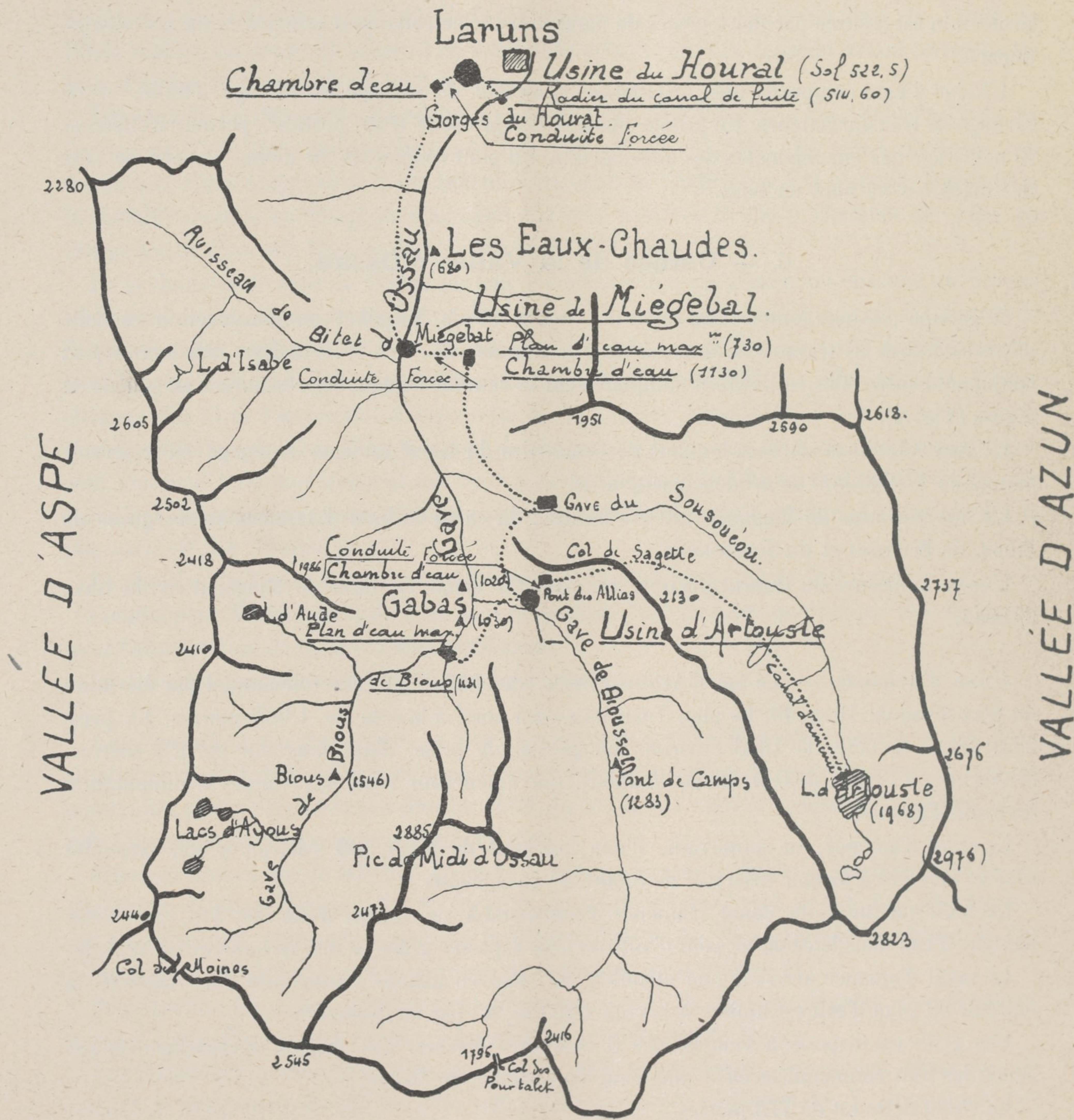
Une grille est disposée à l'entrée des 3 conduites forcées. Les vannes d'ouverture de ces conduites sont commandées électriquement du bâtiment de l'usine.

La chute nette est de 773 mètres.

Chaque conduite peut débiter 1.080 litres à la seconde. Les conduites, en acier de mêmes caractéristiques que celles de Soulom et d'Eget, ont un diamètre de 0 m 800 à 0 m, 600 du sommet à l'arrivée à l'usine. L'épaisseur du tronçon inférieur est de 33 mm. La vitesse de l'eau dans la partie inférieure sera aux heures de pointe de 3 m 81 à la seconde et pourra atteindre 5 m, 72 lorsque deux conduites assureront seules le service de l'usine.

Les conduites sont à leur partie inférieure munies d'un obturateur rapide et d'un robinet vanne de vidange. A l'arrivée à l'usine elles aboutissent à un collecteur unique. Les efforts dus aux variations de température sont absorbés par les massifs d'ancrage.

Fig. 4. — RÉGION DE L'OSSAU.



L'équipement de l'usine d'Artouste est prévu avec trois turbines principales de 10.000 chevaux chacune, à 500 tours-minute, du type Pelton, et deux turbines auxiliaires du type Pelton également, de 350 chevaux à 900 tours-minute. Ces turbines sont construites par la Société Constructions Electriques de France.

Chaque turbine de 10.000 chevaux entraînera un alternateur triphasé de 7.000 kw sous $\cos \varphi = 0,878$, 10.000 volts, 50 périodes par seconde.

Chaque turbine auxiliaire entraînera une excitatrice de 60 kw, 220 volts, suffisante pour l'excitation des trois alternateurs, et une génératrice courant continu 220 volts, 60 kw, pour les besoins de l'Usine.

Les 3 alternateurs seront obtenus par la transformation des alternateurs monophasés primitivement installés à Soulom. Cette transformation sera faite par le constructeur, la Compagnie française Thomson-Houston.

Le courant produit à 10.000 volts sera élevé à 60.000 volts par un groupe de 3 transformateurs monophasés montés triangle étoile. Un 4^e transformateur servira de rechange. Ces transformateurs auront une puissance unitaire de 5.500 kva. Leur huile sera refroidie par circulation d'eau. Transformateurs et appareillage seront construits par les Forges et Ateliers de Constructions Electriques de Jeumont.

Usine de Miegebat. — L'usine de Miegebat est prévue avec réservoir journalier de 125.000 m³. La première partie de ce réservoir est à ciel ouvert et a une capacité de 90.000 m³ en deux bassins successifs. La seconde partie est constituée par le canal d'aménée en charge, d'une longueur de 7.650 mètres et dont la section a été augmentée en conséquence jusqu'à 8 m². Un canal d'aménée conduit directement les eaux du gave de Bious dans le bassin aval du réservoir à ciel ouvert. La prise d'eau sur le gave de Bious comporte un barrage déversoir arasé à la cote 1.132, une galerie perforée dans la roche calcaire parallèlement au lit du gave et dont le piédroit côté gave comporte deux seuils de prise établis à la cote 1.125,25 et de 2m de longueur chacun. Une grille empêche le passage des corps flottants et un rideau fixe de poutrelles limite à 0 m,50 la hauteur de la nappe dérivée au droit de chaque seuil de prise. Deux vannes de 2 m × 1 m permettent de limiter le débit ou de fermer complètement la prise. Aucun ouvrage de décantation n'est prévu; les eaux se décantent dans le réservoir à ciel ouvert. Le canal de dérivation a une longueur totale de 1972 m. sa pente est de 0 m,002 par mètre et sa section de 2 m², 45.

La prise d'eau du gave de Brousset est située dans le bassin aval du réservoir de 90.000 m³ et accolée au barrage aval. Le seuil de prise a été établi à la cote 1120,30. Des grilles seront disposées au droit de chacun des accès à la galerie de prise. Des rideaux à poutrelles permettront d'obturer complètement ces accès dans le cas où des réparations viendraient à s'imposer. Une galerie, en pente de 1 cm par mètre et de 4 m², 50 de section conduit les eaux aux ouvrages de défeuillage et d'épuration placés à 205 m en aval de la prise.

Les installations de défeuillage (Fig. 5) sont constituées par deux chambres rectangulaires en ciment armé à peu près complètement noyées dans le sol. La première, dite « chambre de défeuillage », à la partie inférieure de laquelle vient déboucher la galerie de prise, a une longueur de 25m sur 3m de largeur. Elle est divisée en 2 étages par une tôle perforée établie à la cote 1.120. Le radier est en pente de 15 mm par mètre vers l'aval où se trouve une vanne de chasse. La deuxième chambre, dite « chambre de prise », est accolée à la première et mesure 11 m de longueur sur 3 m de largeur. Elle est séparée de la chambre de défeuillage par une cloison percée de 2 baies à plein cintre de 5 m d'ouverture formant déversoir à leur partie inférieure (cote 1.120,50). Le canal d'aménée commandé par une vanne de garde a son origine dans la deuxième chambre.

L'eau débouchant de la galerie de prise dans la partie inférieure de la chambre de défeuillage, tend à reprendre le niveau du réservoir. Elle traverse donc de bas en haut la tôle perforée en y laissant les corps en suspension. Elle se déverse ensuite dans la chambre de prise.

Pour dégager la tôle des corps qui y sont collés, il suffit de couper l'arrivée d'eau et d'ouvrir la vanne de chasse de la chambre de défeuillage. La pression de l'eau, dont le niveau s'élève à 50 cm au-dessus de la tôle perforée suffit à les faire tomber. Ils sont entraînés alors hors de la chambre par l'ouverture de la vanne de chasse.

La prise d'eau du gave de Soussoueu comporte un barrage établi à la cote 1.132, en travers du gave et qui dérive les eaux dans un coursier maçonné dont le radier est constitué sur une longueur de 8 m par une tôle perforée. L'extrémité aval de ce coursier est à la cote 1.130 correspondant exactement à la cote de retenue dans le bassin aval du réservoir à ciel ouvert. Une chambre placée au dessous de la tôle recueille les eaux et une galerie à gradins la met en communication avec le canal d'amenée reliant le réservoir de 90.000 m³ à la cheminée d'équilibre. Les eaux dérivées du gave de Soussoueu, pourront de cette façon, soit alimenter directement les conduites, soit refluer vers l'amont dans le bassin aval du réservoir pour participer, pendant la nuit, au remplissage de ce bassin une fois le canal d'amenée rempli.

La galerie à gradins sera établie en ciment armé; une vanne de chasse permettra le nettoyage de la chambre de prise.

Le canal d'amenée de l'usine de Miegebat est un canal en charge avec pente uniforme de 1 mm par mètre.

La grande longueur du canal d'amenée en charge de 7.650 mètres, nécessite l'installation en tête des conduites forcées d'une cheminée d'équilibre pour éviter les effets destructeurs des coups de bélier. Une autre solution, pour diminuer la valeur du coup de bélier consisterait à adopter des durées de fermeture suffisamment longues, mais dans le cas de canalisations en charge comme celles de l'usine de Miegebat, il faudrait que la durée de fermeture soit de 105 secondes pour que la valeur du coup de bélier ne dépasse pas 20 %. Ceci est incompatible avec la bonne régularisation des turbines, si on ne veut pas consentir à des pertes d'eau considérables.

La cheminée d'équilibre de l'usine de Miegebat (Fig. 6) se compose de trois ouvrages distincts : une chambre d'eau, la cheminée proprement dite, une chambre d'épanouissement.

La chambre d'eau est une galerie de grande section où se réunissent simultanément le canal d'amenée, les conduites forcées et la cheminée proprement dite.

Les conduites forcées et la conduite auxiliaire de vidange sont enrobées dans un massif d'obturation de 15 m environ de longueur qui sépare la chambre d'eau de la galerie de départ des conduites, à l'aval de laquelle se trouve la chambre de manœuvre des robinets-vannes des conduites.

Le radier de la chambre d'eau est en pente vers la conduite de vidange pour favoriser l'évacuation des vases qui pourraient s'y accumuler. La cheminée d'équilibre est forée verticalement dans le rocher et ses parois sont revêtues de béton recouvert d'un enduit avec mortier de ciment. La section de la cheminée est circulaire.

La chambre d'épanouissement, située à la partie supérieure de la cheminée est circulaire et mesure 16 m de diamètre. Le déversoir de la chambre d'épanouissement est établi à la

cote 1.136. Le tuyau d'évacuation de ce déversoir vient déboucher dans la conduite de vidange de la chambre d'eau.

Les conduites forcées sont établies suivant les mêmes principes que celles de l'usine d'Artouste.

La chute brute est de 395 m,50 et la chute nette de 380 m.

Le nombre de conduites a été fixé à 4 pouvant débiter chacune 2.700 litres seconde.

Le diamètre des conduites sera de 0 m,95, sauf sur le 1^{er} tronçon supérieur long de 120 m, où il sera porté à 1 m pour diminuer la perte de charge.

La fatigue du métal pour un coup de bélier de 49 m, correspondant à une fermeture en 12 secondes, ne dépassera pas 7 kg,83 par mm².

Dans le cas de la mise hors service d'une conduite, le taux de travail des 3 autres ne dépassera pas 8 kg,17, valeur très admissible.

A la tête de chaque conduite se trouve un robinet-vanne commandé électriquement de l'Usine. Ce robinet-vanne est suivi d'une ventouse formant reniflard.

A la base des conduites seront établis des compteurs Venturi. Les 4 conduites seront réunies à leur partie inférieure par un collecteur unique qui alimentera les turbines.

Un obturateur rapide sera monté sur chaque conduite avant sa jonction avec le collecteur.

La conduite de vidange aura une épaisseur de 5 mm sur toute sa longueur et sera enrobée dans une gaine en maçonnerie. Elle viendra déboucher dans le gave d'Ossau.

Le canal de fuite, par suite des conditions d'établissement des massifs des turbines, sera constitué par deux galeries accolées communiquant entre elles par des déversoirs de 3 m,50 de longueur.

Ce canal de fuite débouchera dans le réservoir à ciel ouvert créé en tête de la prise de l'usine du Hourat.

L'équipement de l'Usine de Miegébat comprendra 5 turbines principales du type Pelton de 10.000 chevaux sur l'arbre, à la vitesse de 500 tours par minute et deux turbines Pelton de 500 chevaux à 900 tours à la minute.

Chaque turbine de 10.000 chevaux entraînera un alternateur de 7.000 kw sous cosinus $\varphi = 0,878$, triphasé, 10.000 volts entre phases, 50 périodes par seconde. Ces alternateurs seront du type blindé, l'air chaud pouvant être évacué à volonté soit dans un canal spécial situé sous le plancher de la salle des machines, soit dans la salle des machines elle-même pendant la saison froide.

Le rendement des turbines sera de 81 % à pleine charge et de 83 % à 3/4 de charge. Celui des alternateurs sera de 96 % à pleine charge et de 95 % à 3/4 de charge.

Chaque turbine de 500 chevaux, entraînera un groupe constitué par une excitatrice de 250 kw, 120 volts et par une génératrice de 60 kw, 120 volts pour les services auxiliaires de l'usine.

Tout ce matériel sera construit dans les usines de Golbey et de Tarbes de la Société Constructions Electriques de France.

Le courant à 10.000 volts produit par les alternateurs sera élevé à la tension de 60.000 volts par deux groupes de 3 transformateurs monophasés, d'une puissance unitaire de 6.666 kw sous $\cos \varphi = 0,878$. Le rapport de transformation de chaque appareil sera de 10.000/34.640 volts. La tension de 60.000 volts sera obtenue par le couplage triangle-étoile. Les transformateurs, à bain d'huile et refroidissement par circulation d'eau, seront capables de supporter une

surcharge de 20 % pendant une heure, de 30 % pendant 30 minutes et de 50 % pendant 5 minutes. Les rendements seront les suivants :

Charges	1/1	3/4	1/2
cos $\varphi = 1$	98,6	98,4	98,2
cos $\varphi = 0,875$	98,3	98,1	98

Un 7^e transformateur servira de rechange. L'usine possèdera une installation pour l'épuration et le séchage de l'huile des transformateurs et un groupe moteur-compresseur pour le soufflage des machines.

La salle des machines sera desservie par un pont roulant de 35 tonnes, de 16 m,15 de portée et de 9 m de hauteur de levage. Un chariot de levage de 20 tonnes sera également installé dans l'atelier pour le démontage des transformateurs. Les transformateurs seront transportés de leurs cellules jusqu'à l'atelier par lorry.

L'appareillage, de types normaux, sera fourni par les Forges et Ateliers de Constructions Electriques de Jeumont.

Usine du Hourat. — L'Usine du Hourat est actuellement en voie d'achèvement et sera mise en marche dans le courant de 1923.

Un réservoir journalier de 75.000 mètres cubes est constitué par un réservoir à ciel ouvert de 25.000 m³ et par le canal d'amenée en charge.

Le barrage sur le gave d'Ossau est arasé à la cote 731,50 et possède au-dessus des vannes de chasse un déversoir de 18 m de longueur arasé à la cote 730.

La prise d'eau proprement dite est située à l'aval du bassin réservoir, contre le barrage. Elle comporte une chambre de prise constituée par une galerie voûtée de 3 m d'ouverture et dont le piédroit côté réservoir est percé de quatre baies à plein cintre de 5 m d'ouverture formant déversoir et mettant directement la chambre de prise en communication avec le réservoir. Les seuils de prise sont établis à la cote 726,10. Des grilles à larges intervalles défendent l'accès des 4 baies ; des rideaux à poutrelles de 2 m,50 de longueur, placés devant les grilles permettent d'obturer complètement la prise. Une vanne de chasse de 2 m × 2 m est disposée dans le barrage à proximité du seuil de prise pour évacuer les dépôts qui pourraient s'y accumuler.

Une galerie de 5 m²,50 de section, longue de 115 m conduit les eaux de la Chambre de prise aux ouvrages de défeuillage établis sur les mêmes principes que ceux de l'usine de Miegebat.

Le canal d'amenée en charge à une longueur de 5.700 m environ et une pente uniforme de 1 mm,5 par mètre. Sa section normale est de 12 m². Toutefois dans sa partie aval la largeur augmente progressivement de façon à réaliser aux abords de la chambre de mise en charge, une réserve d'eau suffisante pour assurer les pointes immédiates.

La cheminée d'équilibre placée en tête des conduites forcées est analogue à celles de l'Usine de Miegebat. La chambre d'épanouissement est ici rectangulaire et mesure 21 m sur 15 m. Le déversoir de cette chambre est établi à la cote 737. Le tuyau d'évacuation des eaux de ce déversoir vient déboucher dans la conduite de vidange de la chambre d'eau.

Les conduites forcées, au nombre de 4, sont exécutées suivant les mêmes principes que celles des usines de Miegebat et d'Artouste. La chute nette est de 204 m pour une perte de charge de 2 à 3 % dans les conduites et le canal d'amenée. Le diamètre des conduites est de 1 m,20. Elles peuvent débiter chacune 4.300 litres à la vitesse de 3,82 mètres par seconde. A leur partie supérieure, sur 96 m de longueur, leur diamètre intérieur est porté à 1 m,30 pour réduire la perte de charge.

En cas de mise hors service d'une conduite, les 3 autres pourront suffire pour assurer le service de l'usine. La vitesse de l'eau à la base sera alors de 5 m,10 par seconde.

A la partie supérieure de chaque conduite est monté un robinet-vanne commandé électriquement depuis l'usine, et à sa suite un reniflard.

Les conduites se branchent à leur partie inférieure sur un collecteur unique d'où partent les tuyaux d'alimentation des turbines. Un obturateur rapide est monté sur chaque conduite avant sa jonction avec le collecteur.

L'équipement de l'usine du Hourat comprend 5 turbines principales du type Francis, de 10.000 chevaux sur l'arbre à la vitesse de 500 tours par minute et deux turbines auxiliaires du type Pelton, d'une puissance de 500 chevaux à la vitesse de 900 tours par minute.

Chaque turbine entraîne un alternateur de 7.000 kw sous $\cos \varphi = 0,878$, triphasé, 50 périodes par seconde, 10.000 volts entre phases. Ils sont identiques comme construction à ceux de l'usine de Miegebat.

Le rendement prévu des turbines principales est de 83 % à pleine charge, 84 % à 3/4 de charge et 76 % à 1/2 charge et celui des turbines auxiliaires de 79 % à pleine charge, 80 % à 3/4 de charge et 76 % à 1/2 charge.

Chaque turbine de 500 chevaux est accouplée directement à un groupe constitué par une excitatrice de 250 kw, 120 volts et une génératrice de 60 kw, 120 volts pour les services auxiliaires de l'usine.

Les rendements prévus des alternateurs sont les suivants pour $\cos \varphi = 0,875$:

Charge.....	pleine charge	3/4 de charge	1/2 charge
Rendement.....	96 %	95 %	93 %

Les turbines, les alternateurs et les groupes excitatrice génératrice auxiliaires sont construits par la Société Constructions Electriques de France.

Le courant à 10.000 volts produit par les alternateurs est élevé à la tension de 60.000 volts par 2 groupes de 3 transformateurs monophasés identiques à ceux de l'usine de Miegebat. Un 7^e transformateur sert de réserve.

Une installation de filtrage et de séchage de l'huile des transformateurs et une installation de soufflage des machines sont prévues dans l'usine.

Un pont roulant de 35 tonnes de 16 m,15 de portée et de 9 m de hauteur de levage dessert la salle des machines.

Dans l'atelier, un chariot de levage de 35 tonnes permet le démontage des transformateurs de l'usine et du poste à 150.000 volts voisin.

Un lorry de 45 tonnes permet d'amener les transformateurs à l'atelier.

Les transformateurs, tableaux, appareillage, appareils de manutention sont fournis par les Forges et Ateliers de Constructions Electriques de Jeumont.

Les usines de la vallée d'Ossau seront réunies entre elles et au poste élévateur du Hourat par deux lignes de transport d'énergie triphasées à 60.000 volts.

La puissance continue de l'ensemble des usines sera pendant toute l'année de 27.800 kw. La puissance disponible jour et nuit atteindra et dépassera à certaines époques de l'année 57.000 kw. A toute époque des pointes de 60.000 kw pourraient être assurées.

D. — Usines de la Haute-Ariège.

La vallée de la Haute-Ariège sera aménagée comme la vallée d'Ossau en vue du fonctionnement de trois usines superposées : l'usine supérieure de Saillens, l'usine moyenne de Merens, l'usine inférieure d'Ax-les-Thermes.

Le lac du Lanoux à la cote 2.100 mètres sera aménagé en réservoir annuel pour la régulation de l'ensemble des trois usines.

Usine de Saillens. — Cette usine sera installée sur la rive droite de l'Ariège à la cote 1.257,50. Elle utilisera les eaux du réservoir du lac du Lanoux et du bassin inférieur des Besines. L'étang des Besines sera aménagé en réservoir journalier de 120.000 m^3 . de capacité Le canal d'aménée, de 2.330 m de longueur, sera en charge et aboutira à une chambre d'eau munie d'une cheminée d'équilibre.

La chute nette sera de 695 m . L'armement comprendra 3 turbines Pelton de 10.000 chevaux sur l'arbre entraînant chacune un alternateur triphasé de 7.000 kw sous $\cos \varphi = 0,878$, 10.000 volts, 50 périodes par seconde, et deux turbines auxiliaires de 350 chevaux du type Pelton, accouplée chacune à un groupe excitatrice-génératrice à courant continu pour les services auxiliaires. Des transformateurs élèveront la tension à 60.000 volts pour le transport de l'énergie.

Usine de Merens. — Cette usine sera construite sur la rive gauche de l'Ariège à la cote 1.050 ; Elle utilisera les eaux du canal de fuite de l'usine de Saillens, celles du bassin supérieur de l'Ariège limité à la cote 1.240 environ et celles du bassin du Mourguilhou. Les ouvrages d'aménée d'eau comprendront un réservoir journalier de 86.000 m^3 un canal d'aménée d'eau de 6.000 m de longueur qui fonctionnera en charge et aboutira à une chambre d'eau munie d'une cheminée d'équilibre en tête des conduites forcées. La chute nette sera de 188 m .

L'équipement comprendra 3 turbines Francis de 10.000 chevaux sur l'arbre à la vitesse de 500 tours par minute, et deux turbines Pelton de 350 chevaux, 900 tours par minute.

Chaque turbine de 10.000 chevaux entraînera un alternateur triphasé de 7.000 kw sous $\cos \varphi = 0,878$, 10.000 volts, 50 périodes par seconde. Chaque turbine auxiliaire sera accouplée à un groupe excitatrice-génératrice à courant continu pour les divers services de l'usine. La tension sera élevée à 60.000 volts par un groupe de 3 transformateurs monophasés montés triangle-étoile.

Usine d'Ax-les-Thermes. — Cette usine sera établie sur la rive droite de l'Ariège, à la cote 688 en aval d'Ax-les-Thermes. Elle utilisera les eaux du canal de fuite de l'usine de Merens, les eaux du bassin versant de l'Ariège limité à la cote 1.035, les eaux du bassin inférieur de Mourguilhou et les eaux du bassin versant du Nagoar limité à la cote 1.040.

Les ouvrages d'aménée d'eau comprendront un réservoir journalier de 62.000 m^3 un canal d'aménée en charge aboutissant à une chambre d'eau munie d'une cheminée d'équilibre. La chute nette sera de 330 mètres.

L'équipement comprendra 5 turbines Pelton de 10.000 chevaux à 500 tours par minute et 2 turbines Pelton de 500 chevaux, 900 tours par minute. Les turbines principales seront accouplées à des alternateurs identiques à ceux des autres usines. Les turbines auxiliaires entraîneront chacune un groupe excitatrice-génératrice à courant continu. Deux groupes de 3 transformateurs monophasés élèveront la tension de 10.000 à 60.000 volts.

La puissance continue de l'ensemble des 3 usines de la Haute-Ariège sera de 22.600 kw pendant toute l'année, pourra atteindre 38.700 kw pendant 24 heures à certaines époques. Les pointes de 50.000 kw seront assurées.

Deux lignes de transport d'énergie à 60.000 volts relieront entre elles et avec le poste élévateur à 150.000 volts d'Ax-les-Thermes les trois usines de la Haute-Ariège.

Le tableau ci-dessous rassemble les principales caractéristiques des usines de la Compagnie des Chemins du fer du Midi.

USINES HYDRO-ÉLECTRIQUES DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI.

DÉSIGNATION DE L'USINE	HAUTEUR de chute nette en mètres	DÉBIT moyen en litres par seconde	DÉBIT maximum en litres par seconde	PUISSANCE équipée en chevaux	MODE d'équipement	NATURE des turbines	FOURNISSEUR des turbines	PUISSANCE des alternateurs	NATURE du courant	TENSION aux bornes des alternateurs	FOURNISSEUR des alternateurs	PUISSANCE des excitatrices	PUISSANCE de la génératrice auxiliaire	NOMBRE de transformateur	PUISSANCE des transformateurs	FOURNISSEUR des transformateurs	TENSION aux bornes de l'usine en volts
Usines de la vallée d'Ossau :								kw				kw	kw		kw		
Artouste.....	773	2.240	3.245	30.000	3 gr. de 10.000 ch.	Pelton	C.E.F.	7.000	triph.50p.sec.	10.000	C.E.F.	pas encore déterminée	3 + 1	Jeumont	60.000		
Miegebat.....	380	5.400	10.600	50.000	5 gr. de 10.000 ch.	Pelton	C.E.F.	7.000	triph.50p.sec.	10.000	C.E.F.	2 × 250	6 + 1	Jeumont	60.000		
Hourat.....	204	8.100	17.200	50.000	5 gr. de 10.000 ch.	Francis	C.E.F.	7.000	triph.50p.sec.	10.000	C.E.F.	2 × 250	6 + 1	Jeumont	60.000		
Usine de Soulom :																	
Haute chute.....	240	1.500	4.037	10.500	3 gr. de 3.500 ch.	Pelton	Neyret	2.400	triph.50p.sec.	10.500	Jeumont	2 × 235	6 + 1	C.E.M.	60.000		
Basse chute.....	106	4.400	9.225	10.500	3 gr. de 3.500 ch.	Francis	Bouvier	2.400	triph.50p.sec.	10.500	Thomson	2 × 235					
Usine d'Eget.....	710	1.750	4.760	35.000	7 gr. de 5.000 ch.	Pelton	Neyret	3.500	triph.50p.sec.	6.000	G.E.Co.	2 × 175	6 + 1	G.E.Co.	60.000		
Usines de la vallée de la Haute-Ariège :																	
Saillens.....	695	2.000	3.600	30.000	3 gr. de 10.000 ch.	Pelton	C.E.F.	7.000	triph.50p.sec.	10.000							60.000
Merens.....	188	4.000	10.500	30.000	3 gr. de 10.000 ch.	Francis	C.E.F.	7.000	triph.50p.sec.	10.000							60.000
Ax-les-Thermes ..	330	6.820	13.700	40.000	4 gr. de 10.000 ch.	Pelton	C.E.F.	7.000	triph.50p.sec.	10.000							60.000
Usines de la vallée de la Têt :																	
Pla des Aveillans .	260	1.800	3.500	10.000	2 gr. de 5.000 ch.	Pelton	C.E.F.	3.500	triph.50p.sec.	10.000							60.000
Fontpedrouse N ^{le} .	680	1.800	3.500	20.000	2 gr. de 10.000 ch.	Pelton	C.E.F.	7.000	triph.50p.sec.	10.000							60.000
Fontpedrouse Anc.	175	860	2.540	5.000	2 gr. de 2.500 ch.	Francis											
Olette.....	340	5.700	11.400	30.000	3 gr. de 10.000 ch.	Pelton	C.E.F.	7.000	triph.50p.sec.	10.000							60.000

Pas encore déterminée

Pas encore déterminée

Pas encore déterminée

Aucune décision n'a encore été prise pour les transformateurs de ces usines qui sont encore à l'état de projets.

CHAPITRE III. — INSTALLATIONS A 150.000 VOLTS.

L'énergie produite par l'usine de Soulom et par les usines du groupe de la Têt sera versée directement sur le réseau d'alimentation à 60.000 volts des sous-stations de traction.

L'énergie produite par les autres usines sera, pour la plus grande partie, élevée à la tension de 150.000 volts pour son transport vers les régions éloignées des usines.

Cette transformation 60.000/150.000 se fera dans les postes éleveurs :

du Hourat pour l'énergie du groupe d'usines de l'Ossau ;

de Lannemezan pour l'énergie produite par Eget ;

d'Ax-les-Thermes pour l'énergie du groupe de l'Ariège.

Ces postes de transformation statique seront du type extérieur. Chaque groupe de transformation, d'une puissance de 20.000 kva, comprendra 3 transformateurs monophasés de 6.666 kva.

Les transformateurs seront refroidis par circulation d'huile, l'huile étant elle-même refroidie par passage dans des réfrigérants à circulation d'eau. Les figures 7 et 8 représentent un

Fig. 7. — NOYAU DE TRANSFORMATEUR
150.000/60.000 VOLTS.

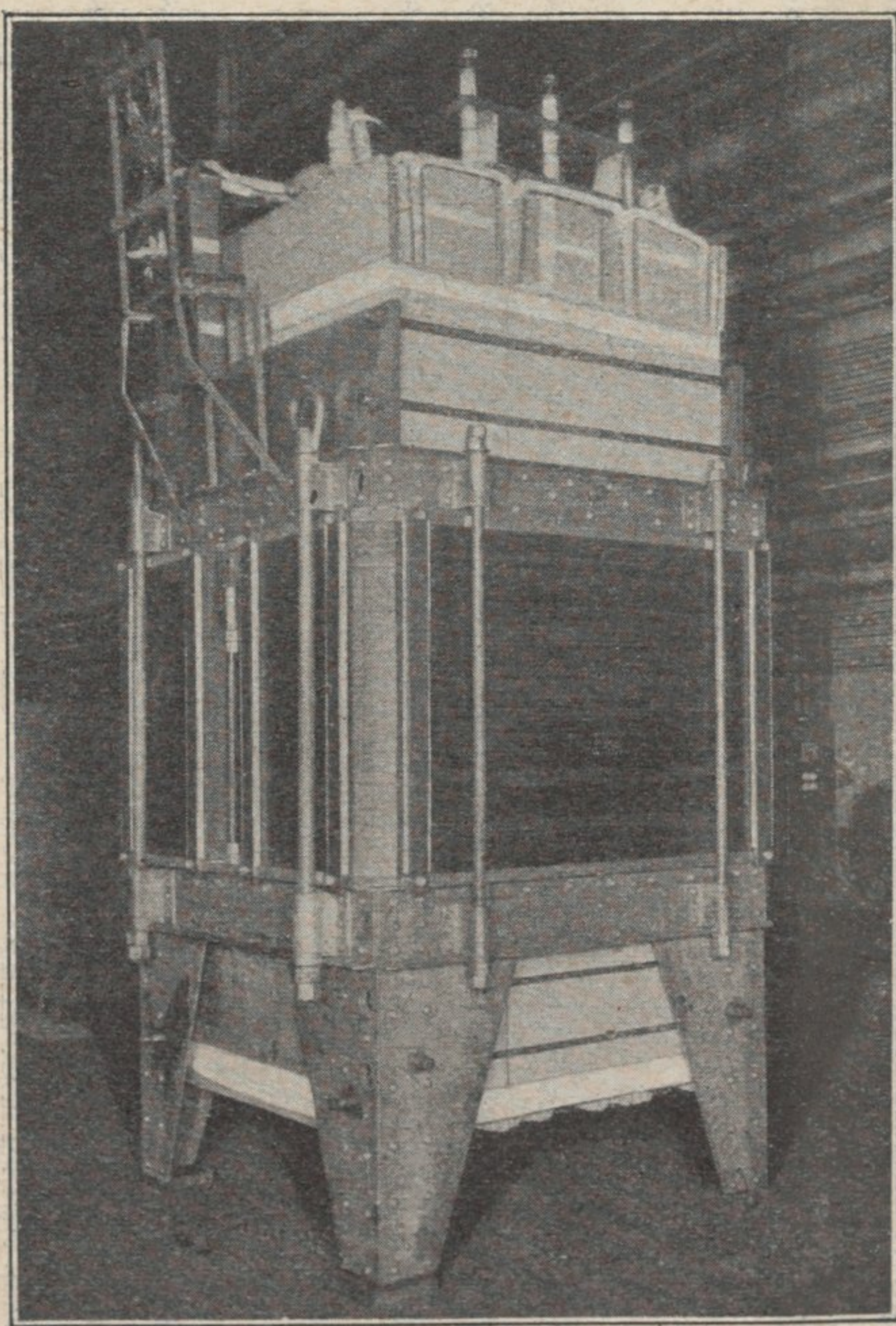
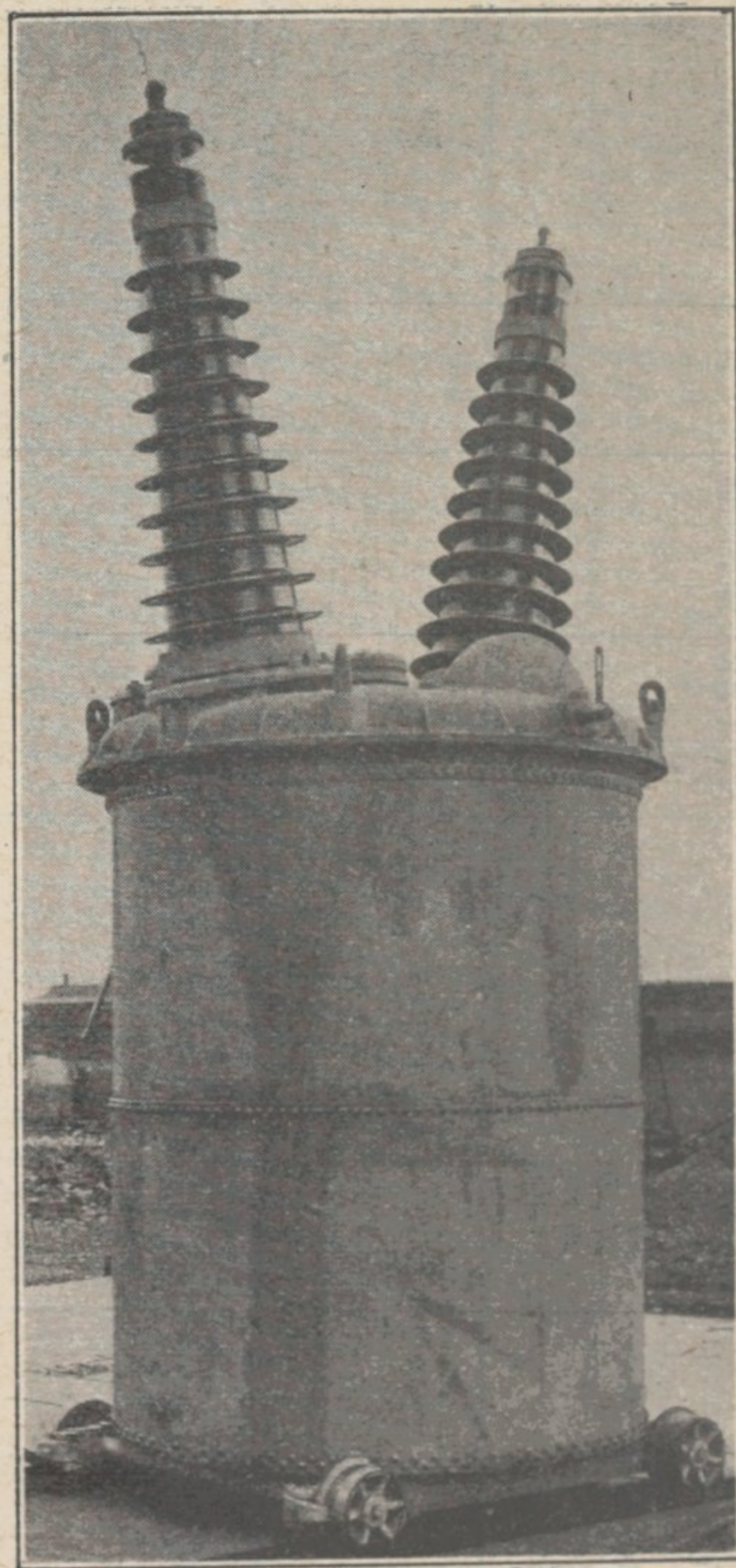


Fig. 8. — INTERRUPTEUR 150.000 VOLTS.



transformateur 150.000/60.000 et un interrupteur à 150.000 volts. La planche I donne l'installation générale du poste du Hourat et la figure 9 ci-après le schéma des connexions dans ce poste.

Fig. 9. — SCHEMA DES CONNEXIONS DU POSTE DU HOURAT.

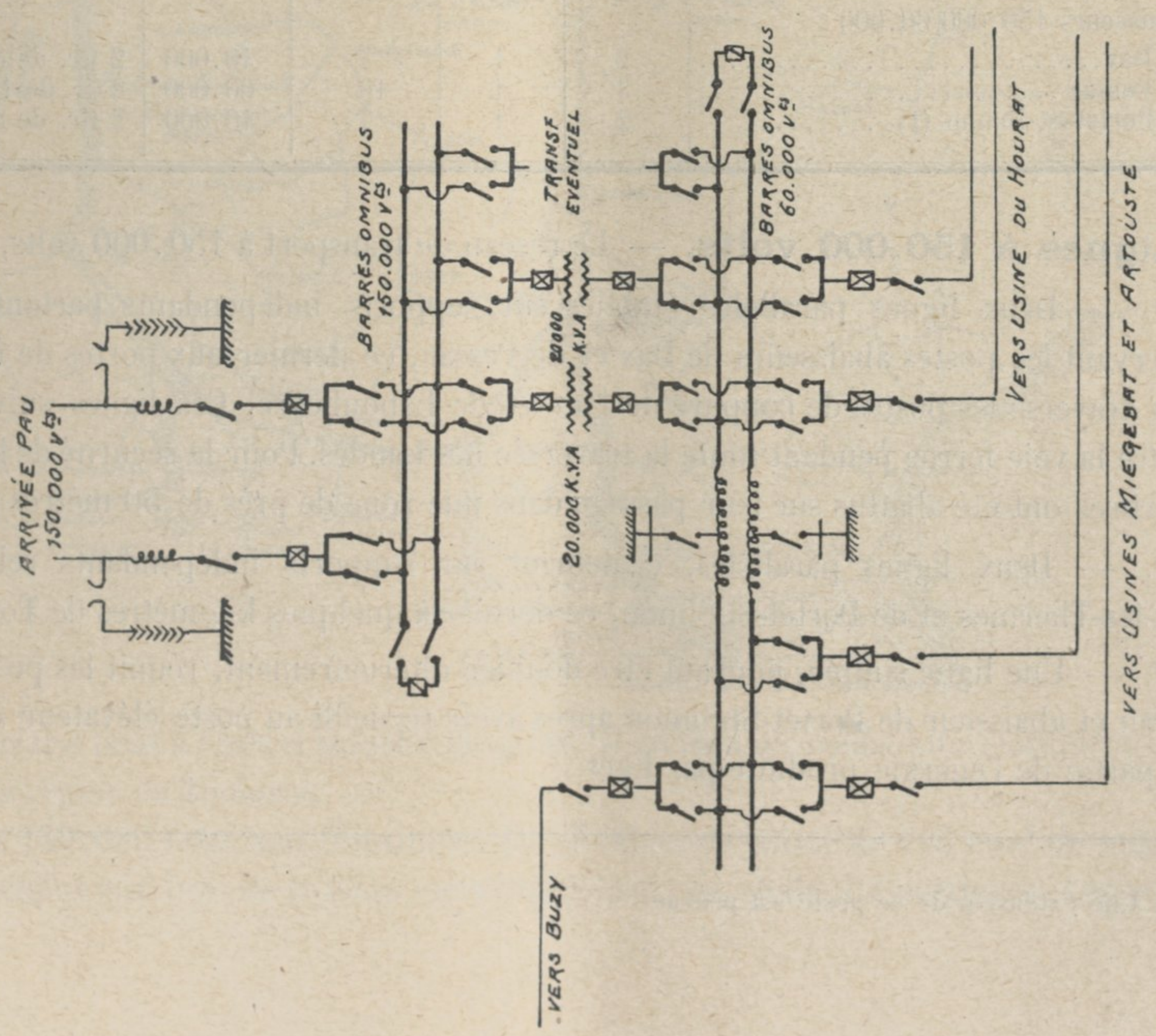


Fig. 10. — SCHEMA DES CONNEXIONS DU POSTE DE PESSAC.

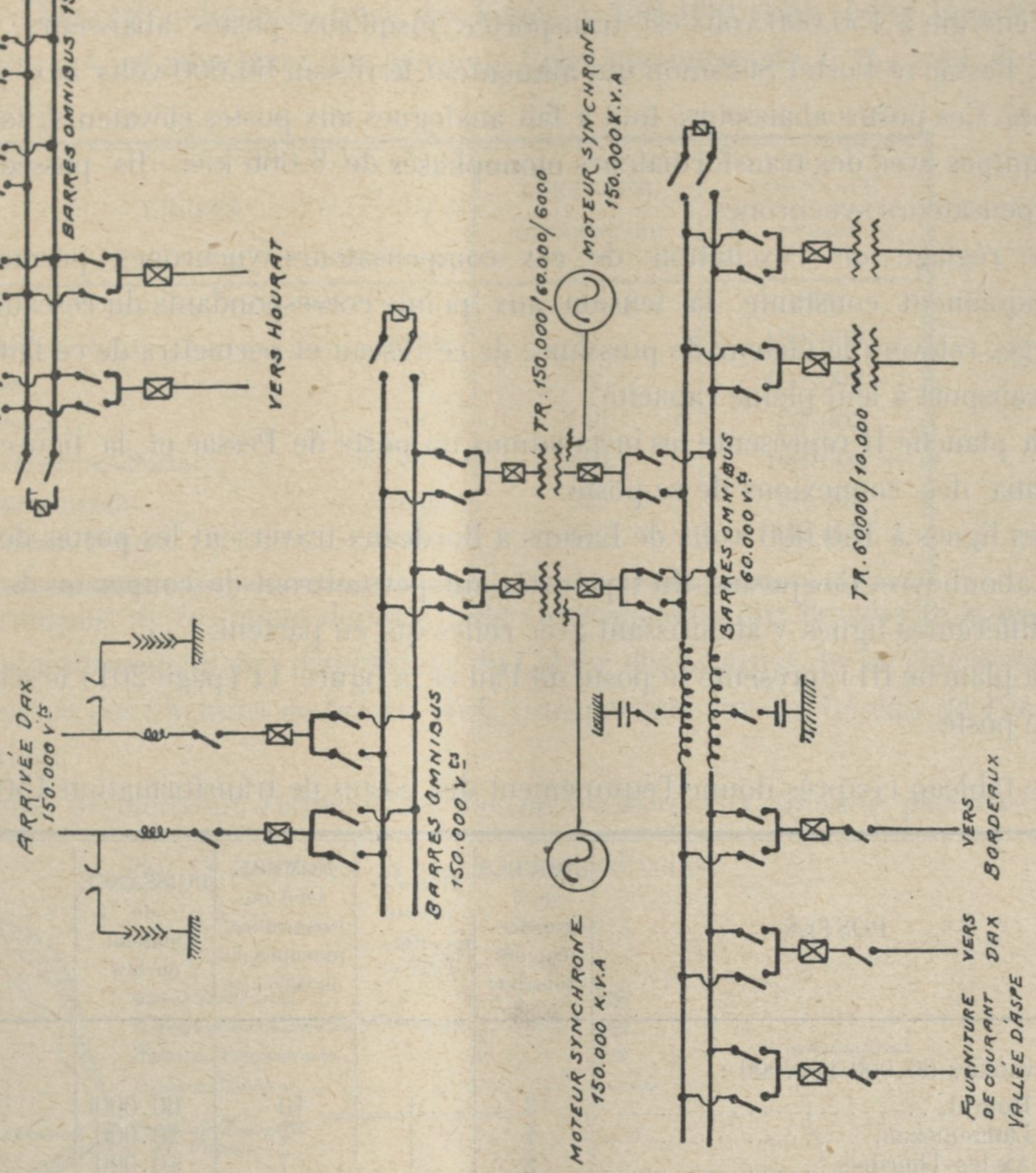


Fig. 11. — SCHEMA DES CONNEXIONS DU POSTE DE PAU.

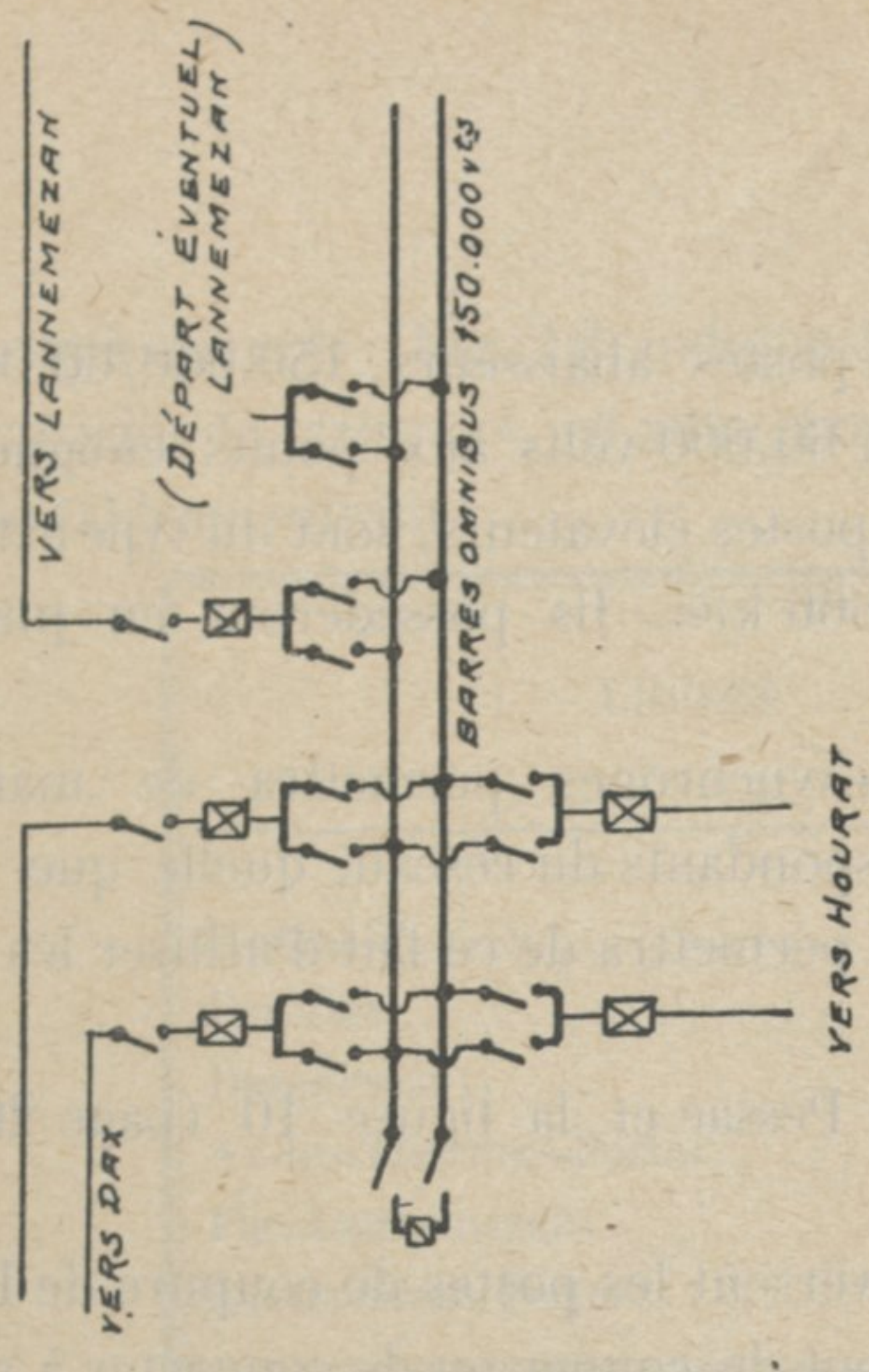


Fig. 11. — SCHEMA DES CONNEXIONS DU POSTE DE PAU.

L'énergie à 150.000 volts est transportée jusqu'aux postes abaisseurs 150.000/60.000 de Dax, Pessac et Portet St-Simon qui alimentent le réseau 60.000 volts aux points éloignés des usines. Ces postes abaisseurs, tout à fait analogues aux postes éleveurs, sont du type extérieur et équipés avec des transformateurs monophasés de 6.666 kva. Ils posséderont en plus des compensateurs synchrones.

Le réglage de l'excitation de ces compensateurs-synchrones permettra de maintenir pratiquement constante la tension aux points correspondants du réseau, quelle que soit la charge, relèvera le facteur de puissance de ce réseau et permettra de ce fait d'utiliser les lignes de transport à leur pleine capacité.

La planche II représente les installations du poste de Pessac et la figure 10 (page 201) le schéma des connexions de ce poste.

Les lignes à 150.000 volts de Laruns à Bordeaux traversent les postes de coupure de Pau et de Labouheyre. Ces postes, du type extérieur permettront de couper ou de connecter à volonté les différentes lignes y aboutissant avec celles qui en partent.

La planche III représente le poste de Pau et la figure 11 (page 201) le schéma des connexions de ce poste.

Le tableau ci-après donne l'équipement des postes de transformation 150.000/60.000.

POSTES	GROUPES de 3 transformateurs monophasés	Transformateur de réserve	NOMBRE total de transformateurs monophasés de 6666 kva	PUISSANCE de marche en kva	COMPENSATEURS synchrones
Éleveurs 60.000/150.000 :					
Hourat.....	3	1	10	60.000	
Lannemezan.....	1	1	4	20.000	
Ax-les-Thermes.....	2	1	7	40.000	
Abaisseurs 150.000/60.000 :					
Dax.....	2	1	7	40.000	2 Gr. de 8.000 kw chacun
Pessac.....	3	1	10	60.000	2 Gr. de 15.000 kw chacun
Portet-St-Dimon (1).....	2	1	7	40.000	2 Gr. de 8.000 kw chacun

Lignes à 150.000 volts. — Le réseau de transport à 150.000 volts, comprend :

1°. — Deux lignes parallèles établies sur supports indépendants partant du Hourat et desservant les postes abaisseurs de Dax et de Pessac, ce dernier aux portes de Bordeaux, après avoir traversé les postes de coupure de Pau et de Labouheyre. Ces lignes suivent de part et d'autre la voie ferrée pendant toute la traversée des Landes. Pour la sécurité de leur exploitation les arbres ont été abattus sur leur passage dans une zone de près de 50 mètres de largeur.

2°. — Deux lignes parallèles, également sur supports indépendants relient les postes d'Ax-les-Thermes et de Portet-St-Simon, ce dernier à quelques kilomètres de Toulouse.

3°. — Une ligne simple, pouvant être doublée ultérieurement, réunit les postes de coupure de Pau et abaisseur de Portet-St-Simon après avoir recueilli au poste éleveur de Lannemezan une partie de l'énergie produite par Eget.

(1) Une extension de ce poste est prévue.

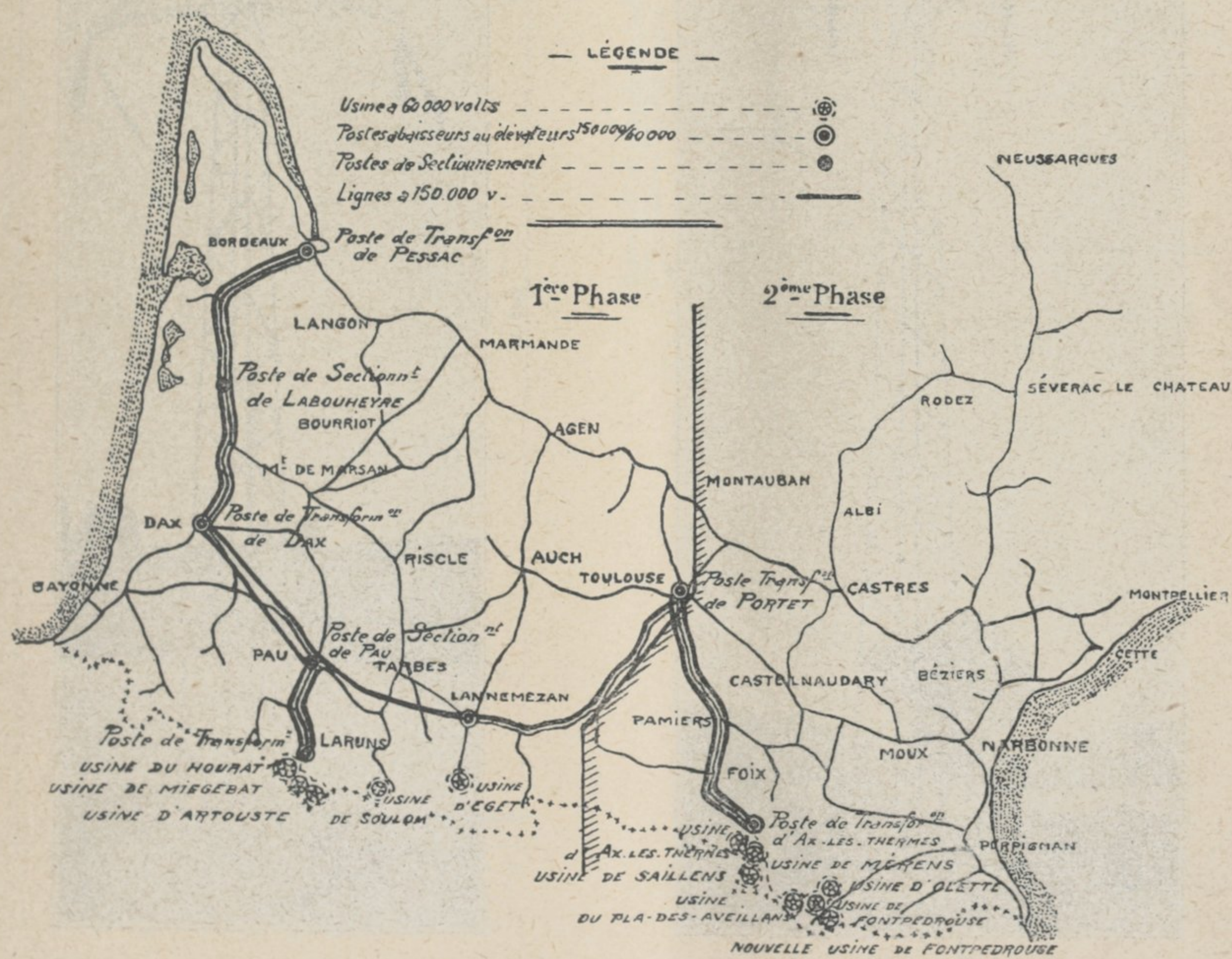
La carte ci-après (Fig. 12) indique le tracé des lignes à 150.000 volts. Leur longueur et leur capacité de transport, en admettant une perte en ligne maximum de 6 %, sont données dans le tableau suivant :

LIGNES	LONGUEUR KILOMÉTRIQUE	PUISSANCE DE TRANSPORT
		kw
Hourat-Pau..... double	37	100.000
Pau-Dax..... d°	72	100.000
Dax-Pessac..... d°	140	70.000
Ax-les-Thermes-Portet..... d°	110	100.000
Pau-Lannemezan..... simple	71	50.000
Lannemezan-Portet..... d°	113	30.000

La capacité de transport de ces lignes dépasse celle correspondant aux besoins de la traction du réseau du Midi. Conformément aux dispositions du Cahier des Charges de la concession de ces lignes, la Compagnie des Chemins de fer du Midi transportera sur ce Réseau de l'énergie appartenant à des tiers.

Dès 1923, ces lignes permettront d'amener des Pyrénées à Bordeaux, toute la puissance que

Fig. 12. — TRACÉ DE LIGNE A 150.000 VOLTS.



la région bordelaise peut à l'heure actuelle absorber. Il en sera de même ultérieurement en ce qui concerne la région de Toulouse.

Les lignes à 150.000 volts sont constituées par 3 câbles de cuivre de 143 mm² de section à 19 brins, suspendus aux bras de pylônes métalliques par des chaînes d'isolateurs. Les portées

sont de 200 mètres en alignement. La hauteur des pylônes hors sol est d'environ 20 mètres et le point le plus bas des conducteurs est à 8 mètres du sol.

La ligne est ancrée tous les 4 km.

Les pylônes métalliques construits à une époque où les profilés atteignaient un prix très élevé ont fait l'objet d'une étude toute particulière en vue de réduire le plus possible le poids du métal. Les montants sont reliés entre eux par des croisillons formant comme une vis à double filet dans les deux sens d'enroulement, les points de rencontre des filets se trouvant sur les montants. Les photographies (Fig. 13 et 14) montrent un pylône d'alignement et un pylône d'angle sur la section de Pau à Lannemezan. Les figures 15, 16, 17 montrent le mode de construction adopté.

FIG. 13. — Pylône d'alignement.

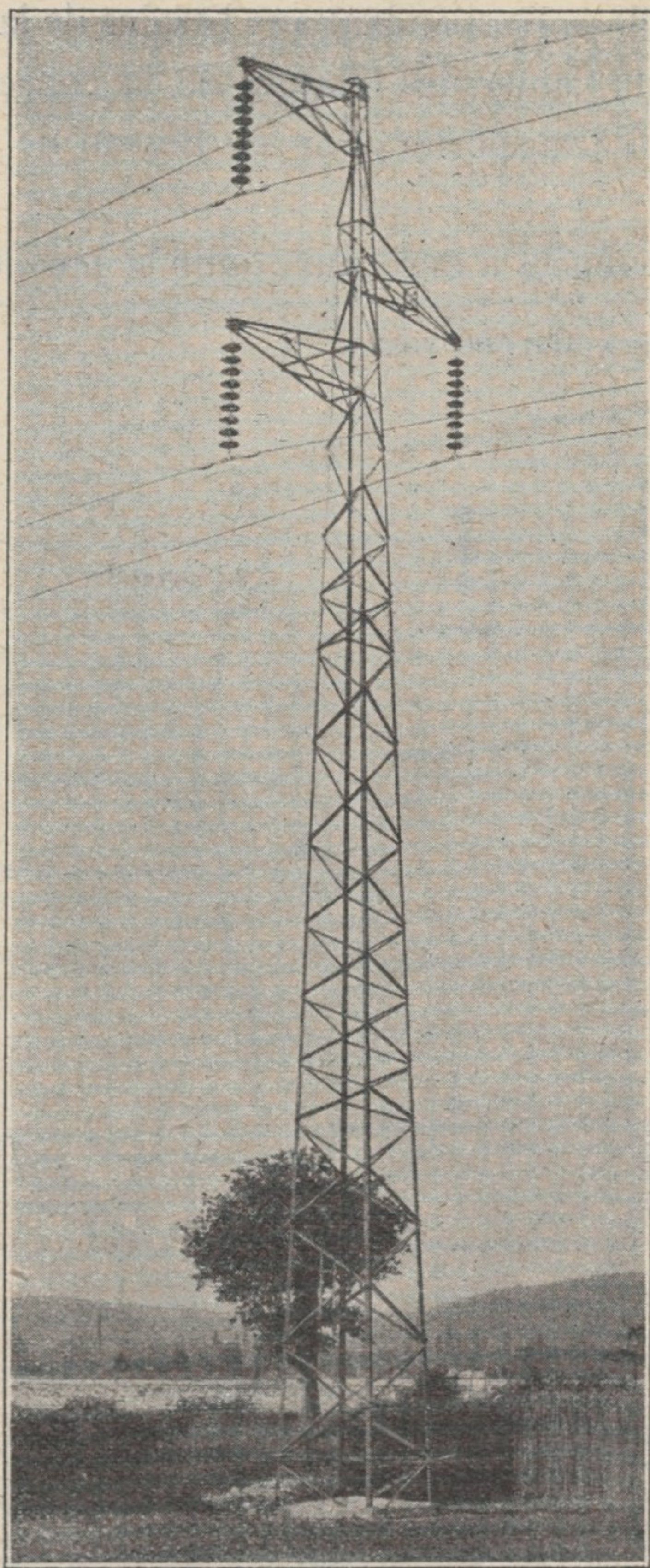
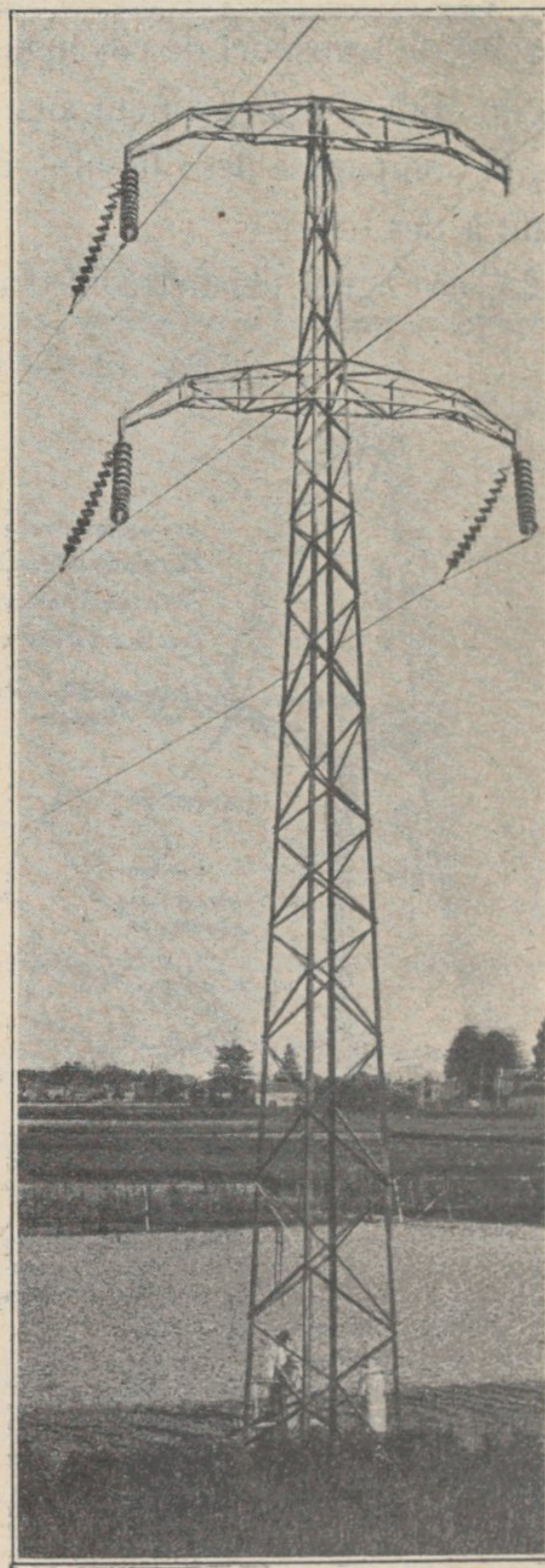


Fig. 14. — Pylône d'angle.



La résistance à la torsion est sérieusement augmentée par ce mode de construction. Pour le calcul de ce type de pylône on a supposé le moment fléchissant appliqué aux montants nul à chaque nœud. On a été conduit à adopter des croisillons de longueur et d'échantillon différents en allant de la base au sommet du pylône. Il y a égalité de résistance sur toute la hauteur.

Pour faciliter leur transport, les pylônes sont construits en trois tronçons assemblés à pied d'œuvre à l'aide de boulons. Le tronçon supérieur et les bras sont galvanisés par le procédé Schoop.

Les pylônes sont scellés dans des massifs en béton. Ces derniers ont été établis durant la belle saison sans se préoccuper de l'approvisionnement des pylônes. Les tronçons des pylônes.

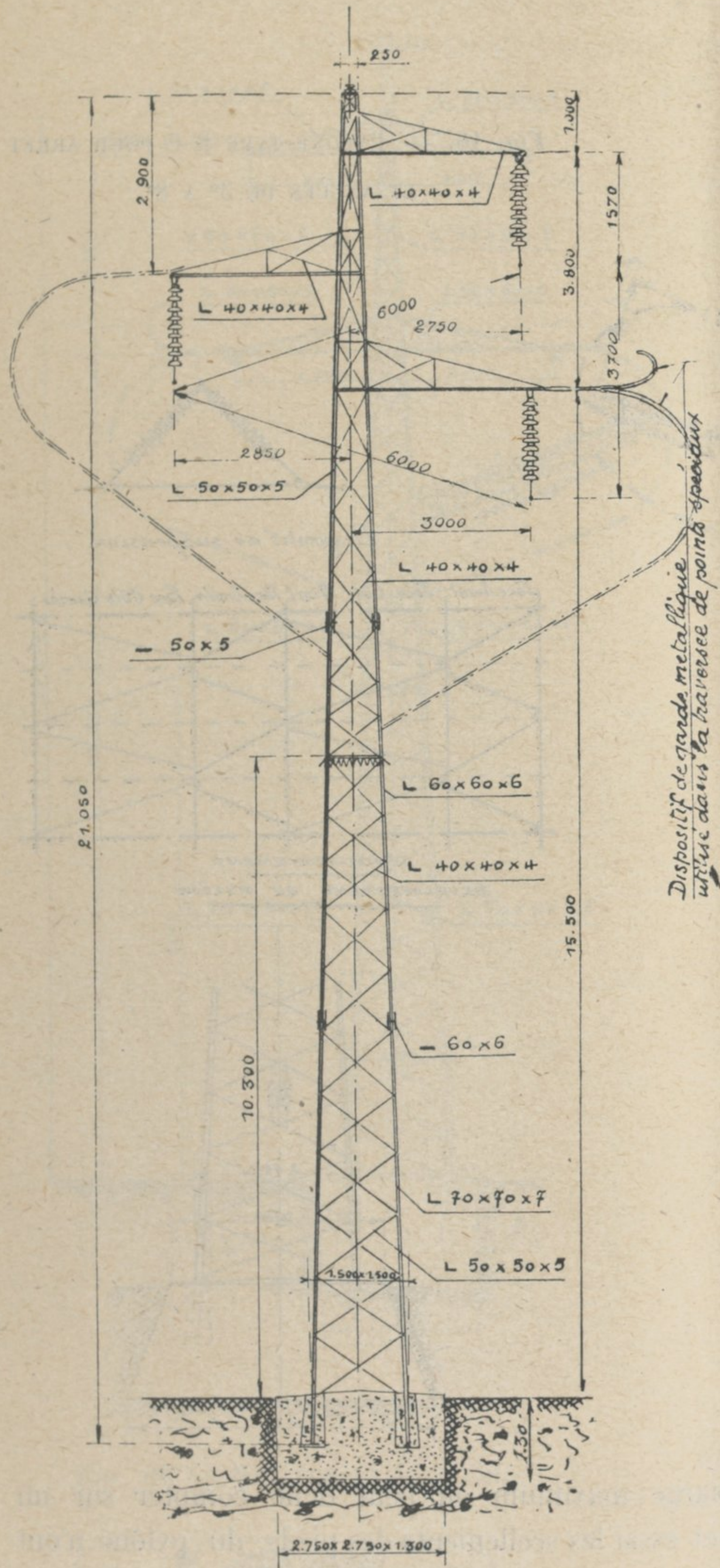
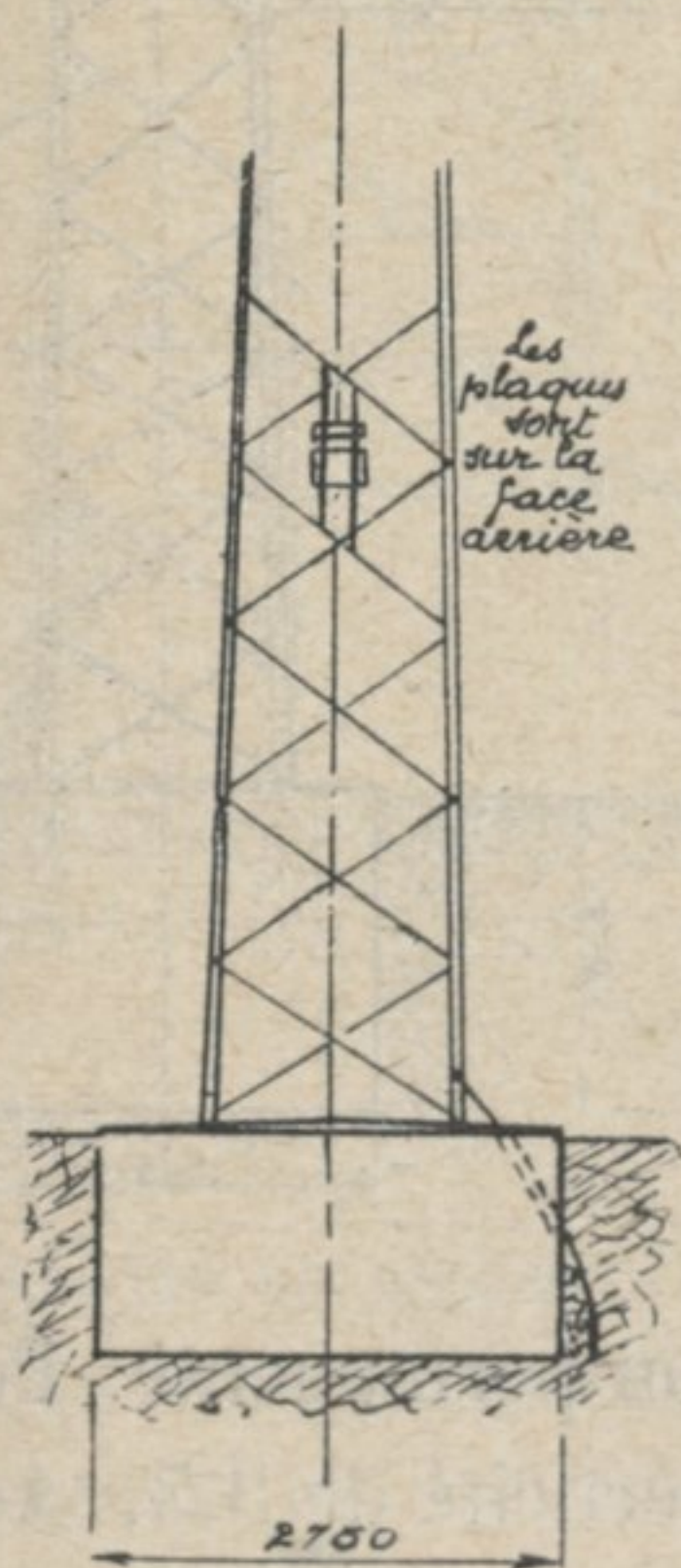
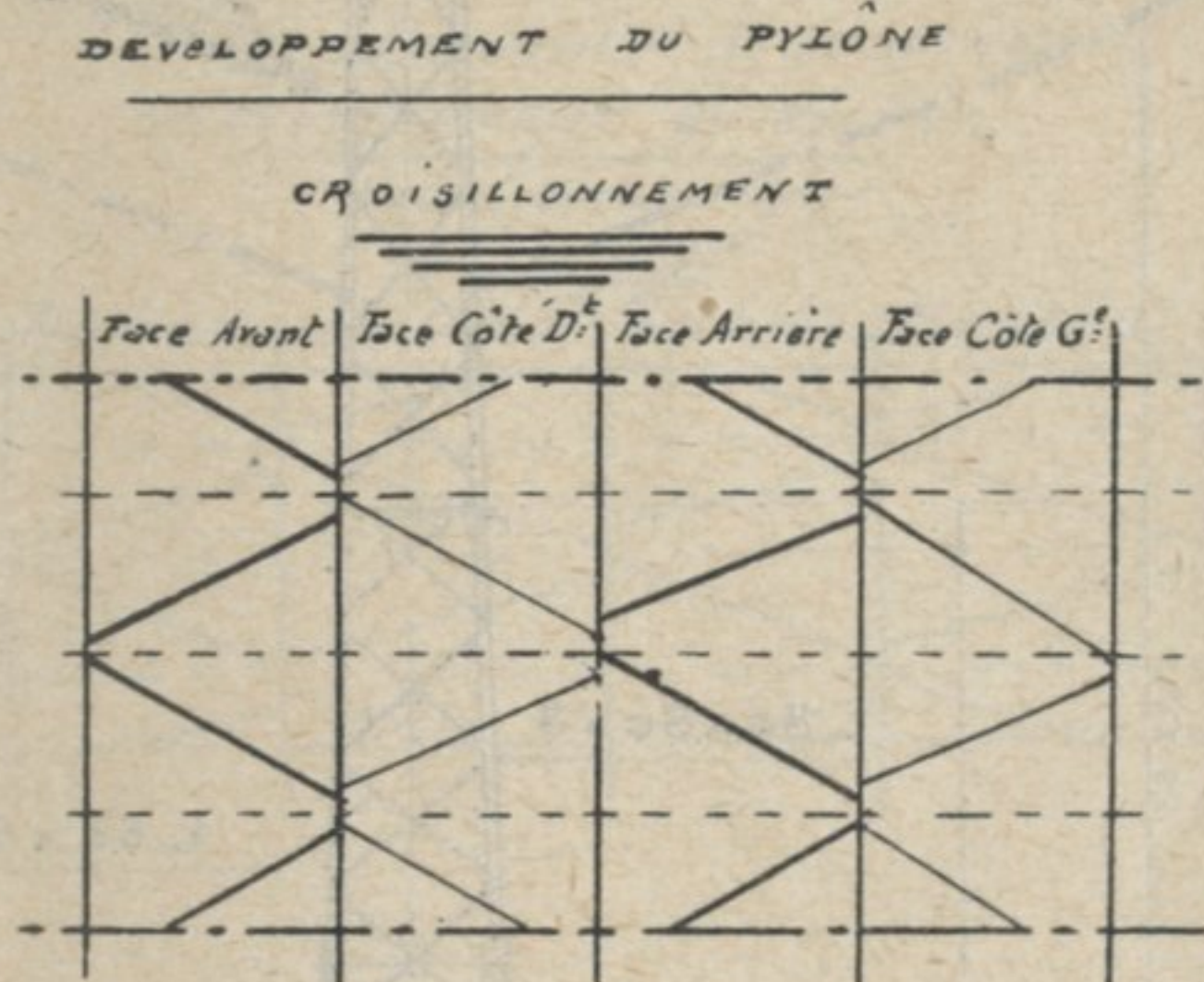


Fig. 15.

PYLONE TYPE A DIT D'ALIGNEMENT.



étant amenés à pied d'œuvre sont assemblés, puis le pylône est maté ses montants engagés dans 4 trous de 0 m, 75 à 0 m, 90 ménagés dans le massif lors de sa confection. Le scellement des 4 pieds du pylône est alors fait au ciment riche. Un pylône d'alignement ayant été monté dans

ces conditions, un essai fut effectué en exerçant un effort horizontal croissant progressivement en son sommet. Pour un effort atteignant 1,7 fois la charge maximum prévue, la limite d'élasticité du métal pour la fibre la plus chargée de la charpente a été atteinte et le pylône a accusé

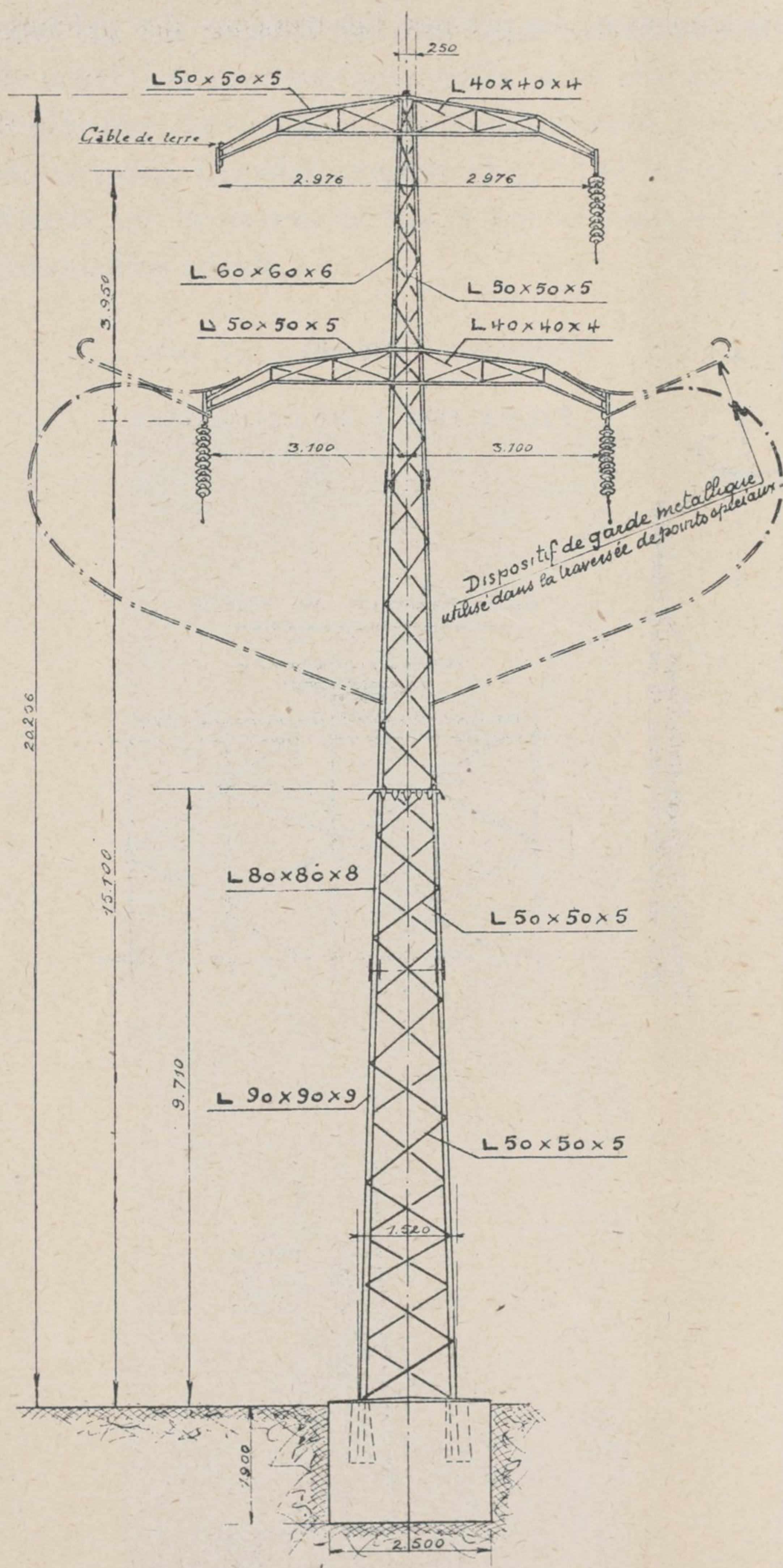
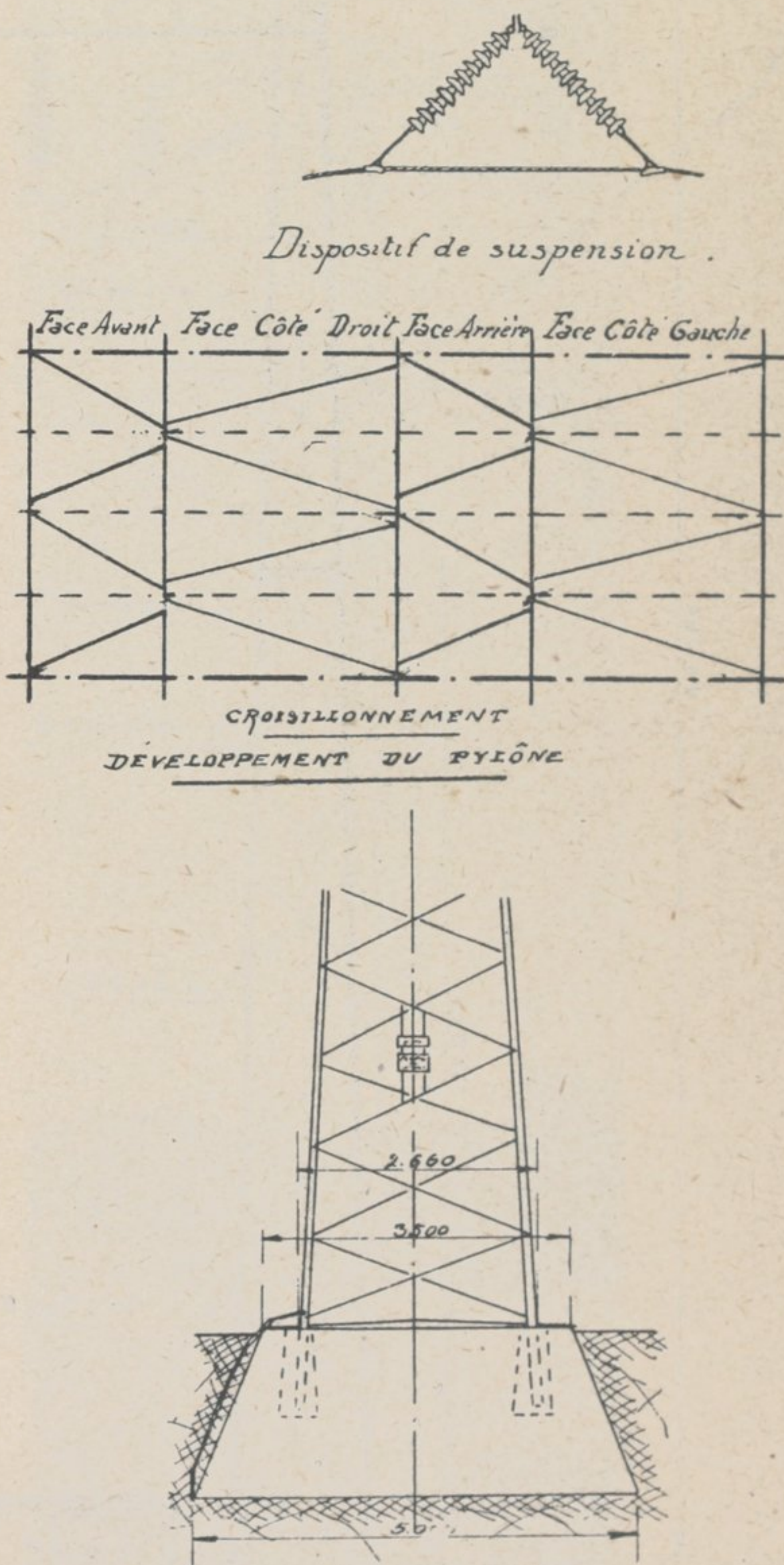


Fig. 16. — PYLÔNE TYPE B C POUR ARRÊT ET ANGLES DE 3° A 8°.



une déformation permanente. Pour cette charge maximum on peut donc compter sur un coefficient de sécurité de 3,5. Au cours de cet essai les scellements des pieds du pylône n'ont pas bougé.

Conducteurs. — Les câbles de la ligne sont réunis entre eux au moyen de manchons à coincement représentés sur la figure 18. Lorsqu'un de ces manchons doit être employé dans une

portée adjacente à une traversée spéciale, le câble est doublé au moyen d'une bretelle de sécurité représentée sur la figure 19. Dans toutes les portées, sauf aux traversées des chemins de fer d'intérêt général, les lignes sont tendues avec un coefficient de sécurité de 3,25 dans les conditions atmosphériques les plus défavorables.

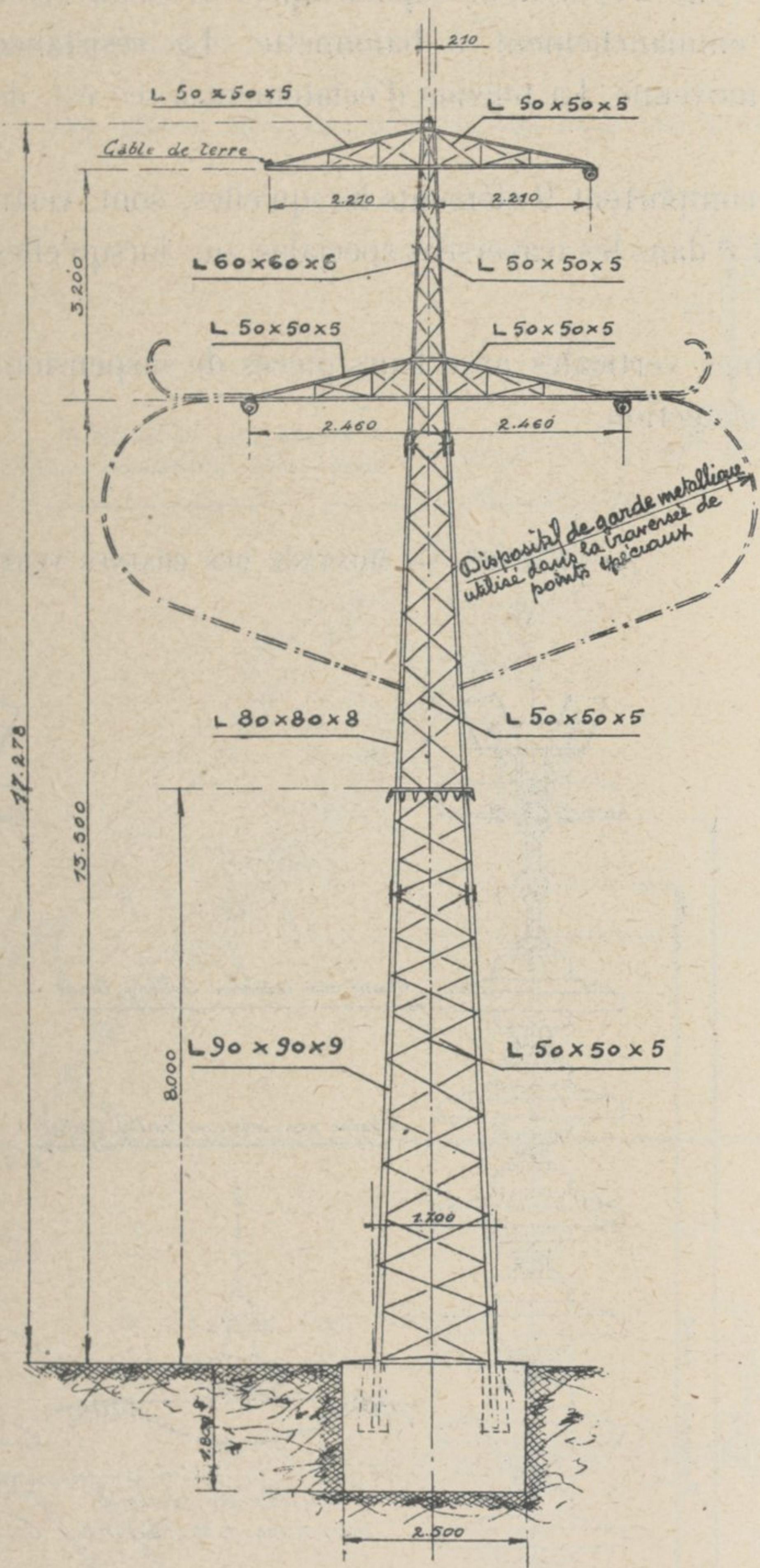


Fig. 18. — MANCHON DE JONCTION.

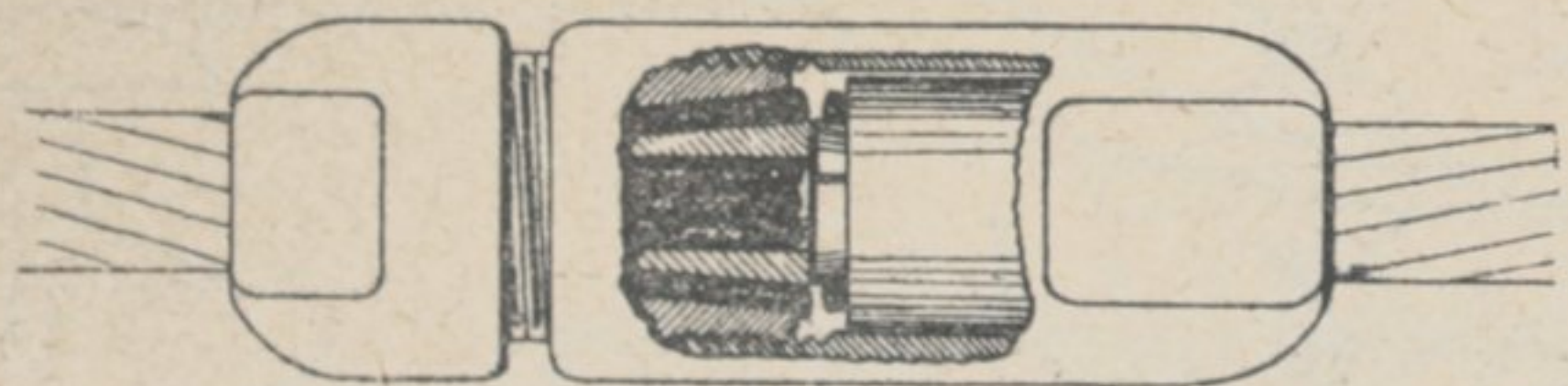


Fig. 17. — PYLONE TYPE C POUR ARRÊTS ET ANGLES DE 8° A 15°.

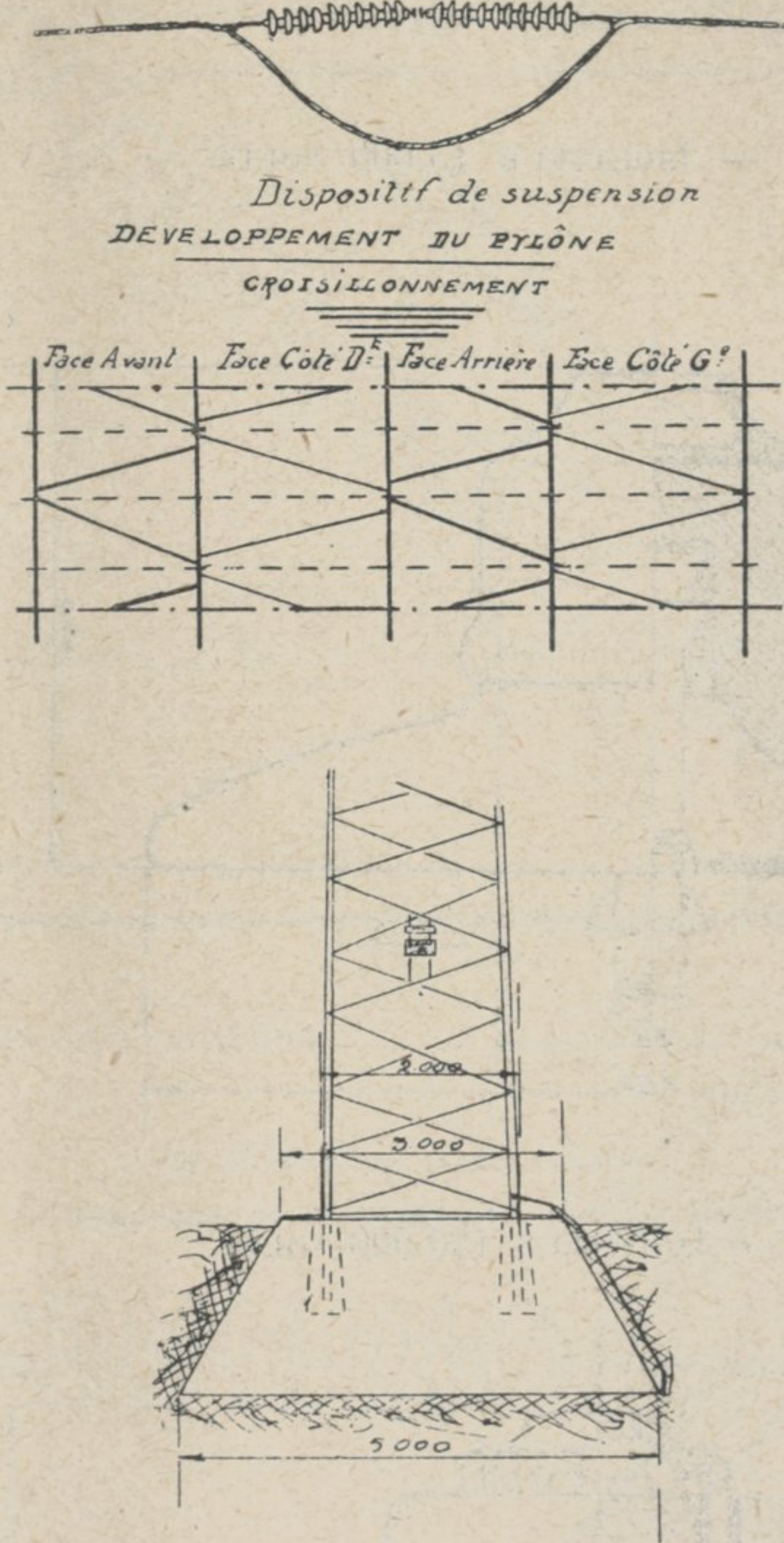
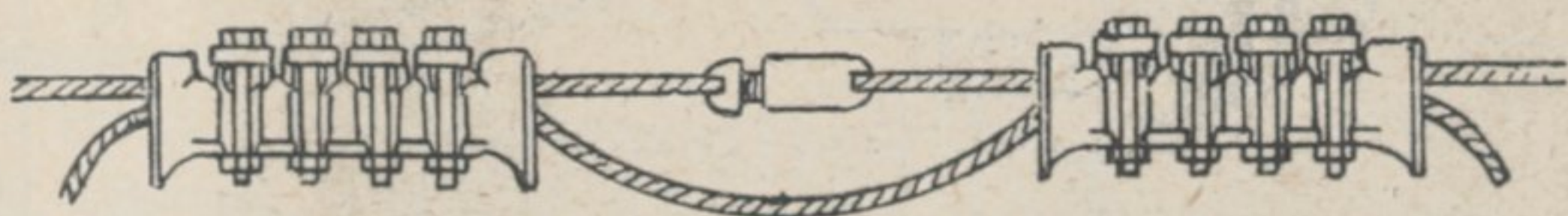


Fig. 19. — DISPOSITIF DE SÉCURITÉ DANS LE CAS DE MANCHON DE JONCTION PLACÉ DANS UNE PORTÉE ADJACENTE A UNE TRAVERSÉE DE POINTS SPÉCIAUX.



Isolateurs. — Les chaînes de suspension sont constituées pour la majeure partie par des isolateurs à tige et capot (Fig. 20) de la Société Electro-Céramique (Sailly-Caillet et C^{ie}). Chaque élément, de 285 mm de diamètre, a été étudié pour une tension d'éclatement à sec de 70.000 volts et sous pluie de 48.000 volts. Le capot et la ferrure sont scellés sur la porcelaine à l'aide de ciment Portland. L'ensemble offre une résistance de 5.000 à 6.000 kg. Il est employé également des isolateurs Jeffery-Dewitt (Fig. 21) dont les capots supérieur et inférieur sont scellés au plomb dans la porcelaine avec emmanchement à baïonnette. La résistance mécanique de ces isolateurs est de 4.000 kg en moyenne. La tension d'éclatement à sec est de 86.000 volts et sous pluie de 38.000 volts.

Avec l'un ou l'autre de ces types, les chaînes comportent 9 éléments lorsqu'elles sont verticales, 11 éléments lorsqu'elles sont inclinées à 45° dans les traversées spéciales, ou lorsqu'elles sont horizontales, dans les ancrages.

La figure 22 représente le montage des chaînes verticales avec leurs pièces de suspension, les pinces supports de la ligne et les cornes de protection.

Fig 20. — ISOLATEUR 15.000 VOLTS.

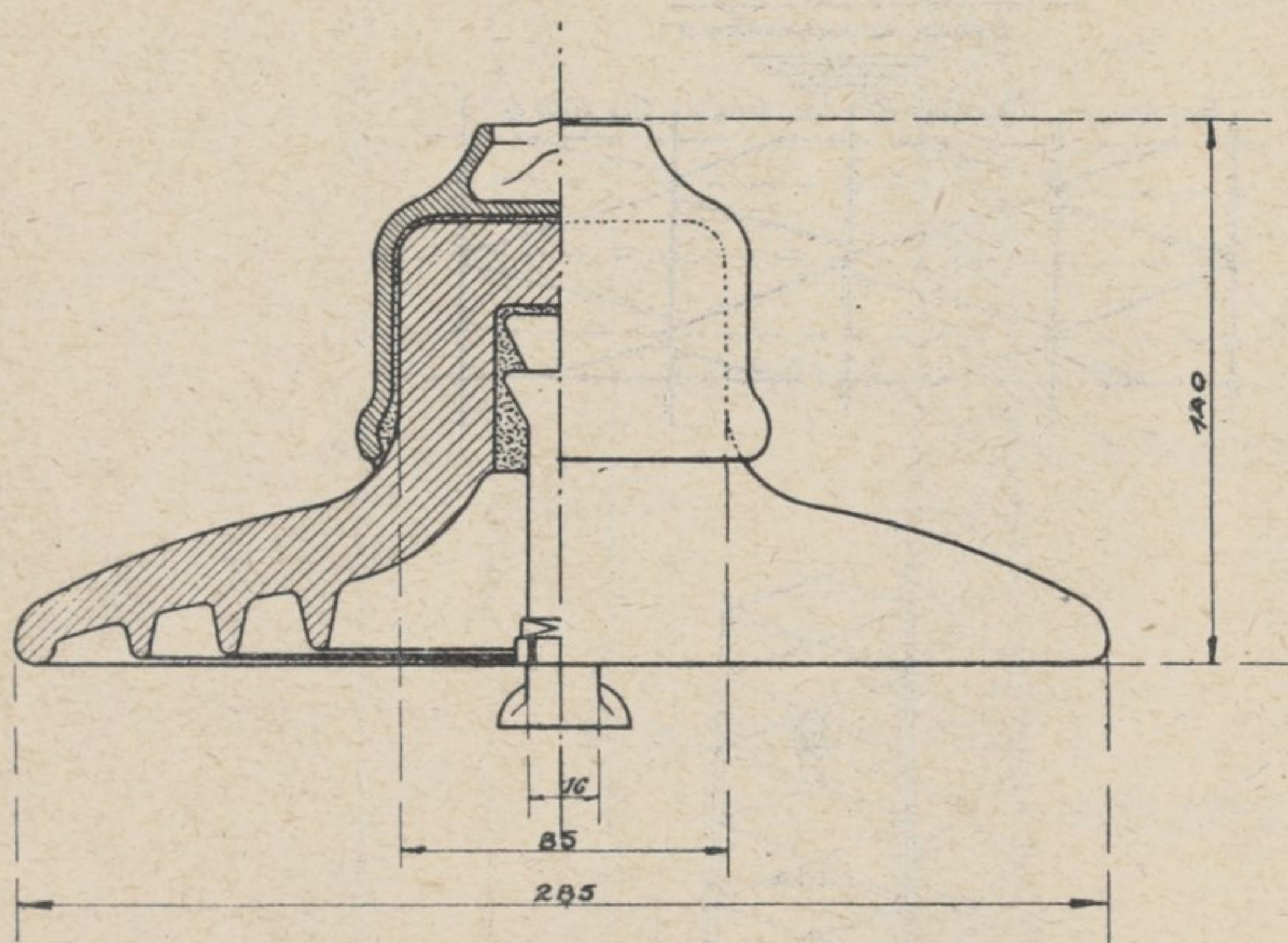


Fig. 21. — ISOLATEUR 150.000 VOLTS.

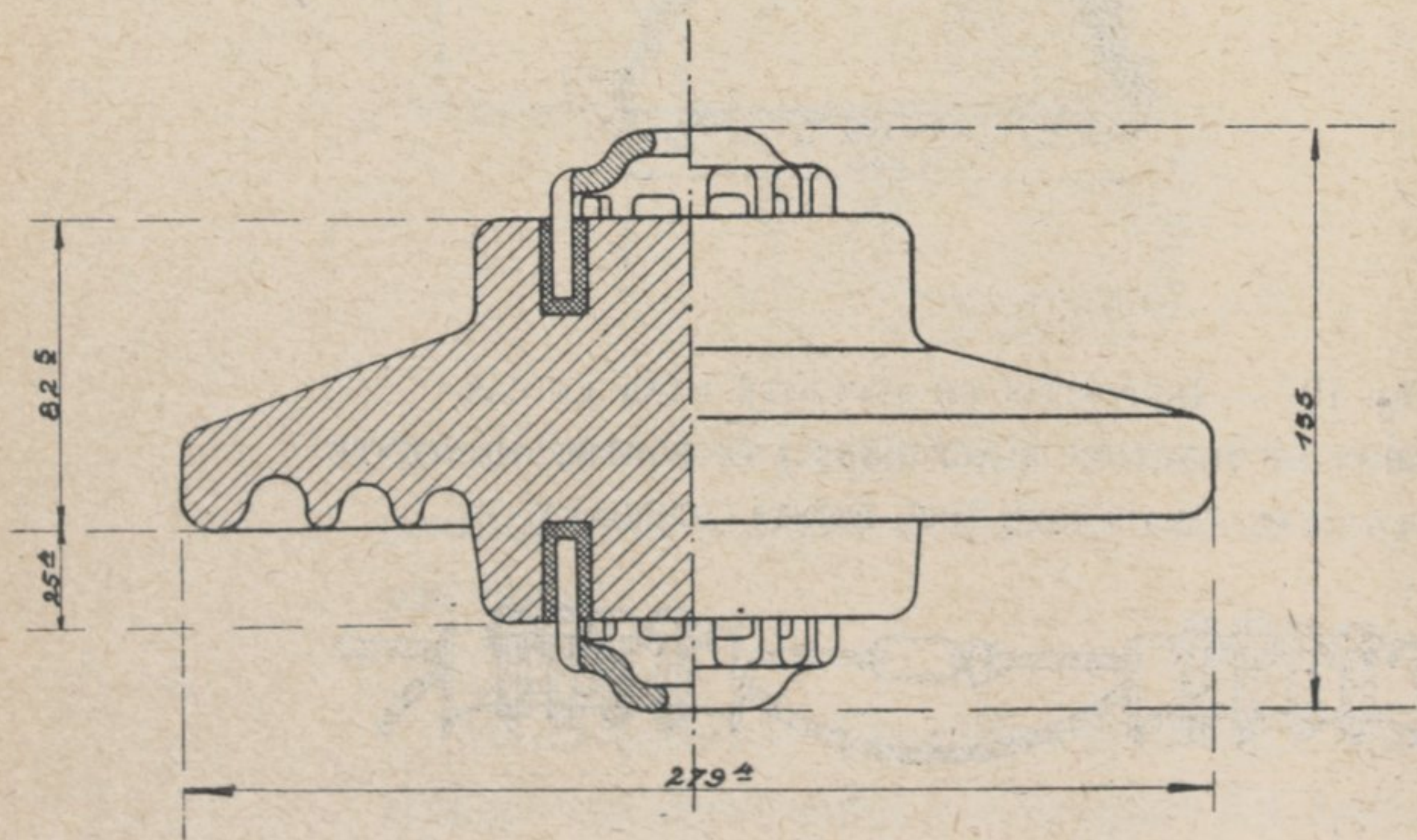
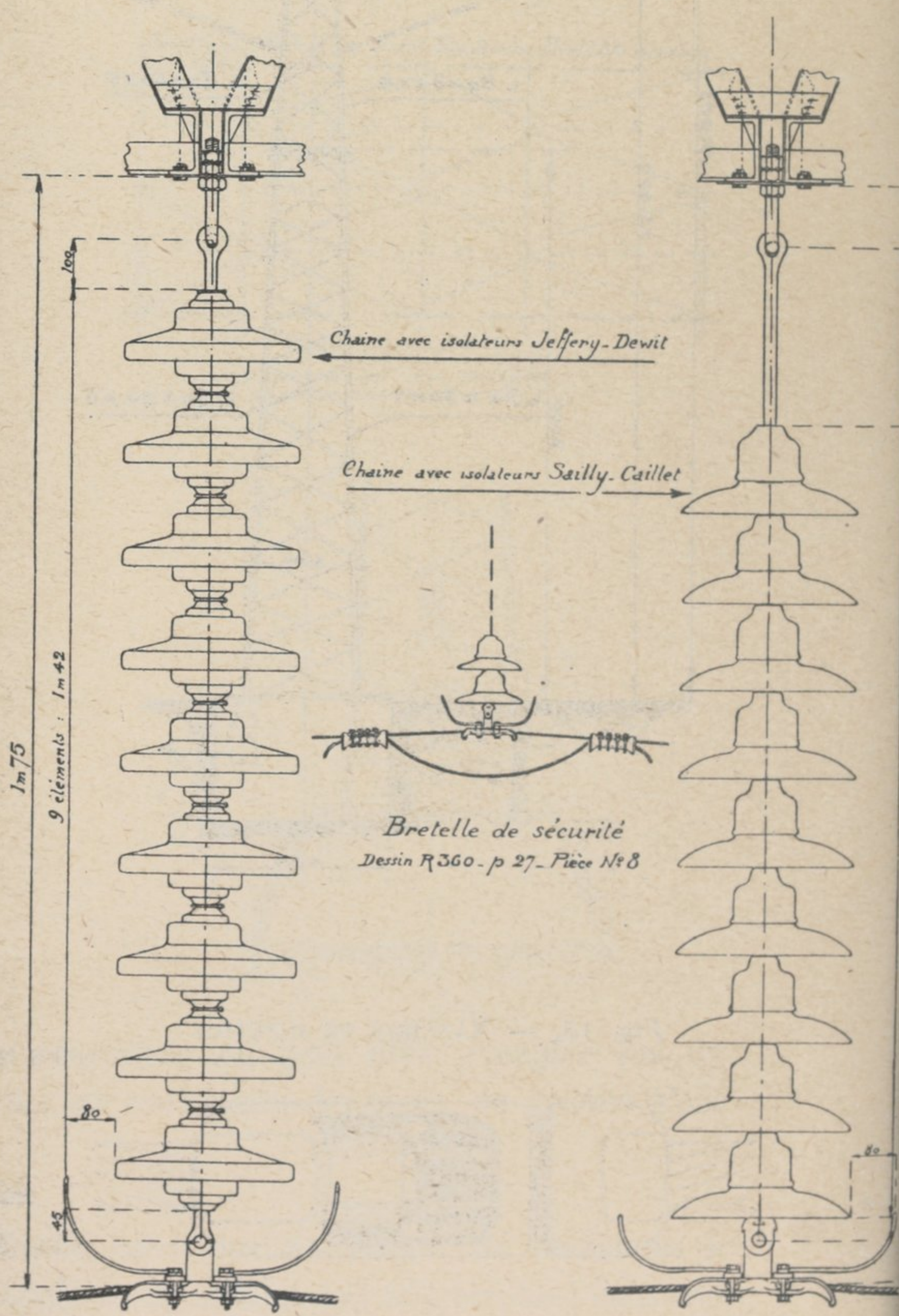


Fig. 22. — MONTAGE DES CHAINES VERTICALES.



La figure 23 représente un dispositif de suspension dans les angles de 3° à 8°, et aux ancrages en alignement.

La figure 24 représente un ancrage. Pour avoir en ce point un le coefficient de sécurité suffisant au point de vue mécanique on a été amené à faire travailler deux chaînes en parallèle.

La planche IV donne le détail des différentes pièces utilisées dans la constitution de ces armements.

Fig. 23. — MONTAGE DES CHAINES DANS LES ANGLES DE 3° A 8° ET AUX ANCRAGES EN ALIGNEMENT.

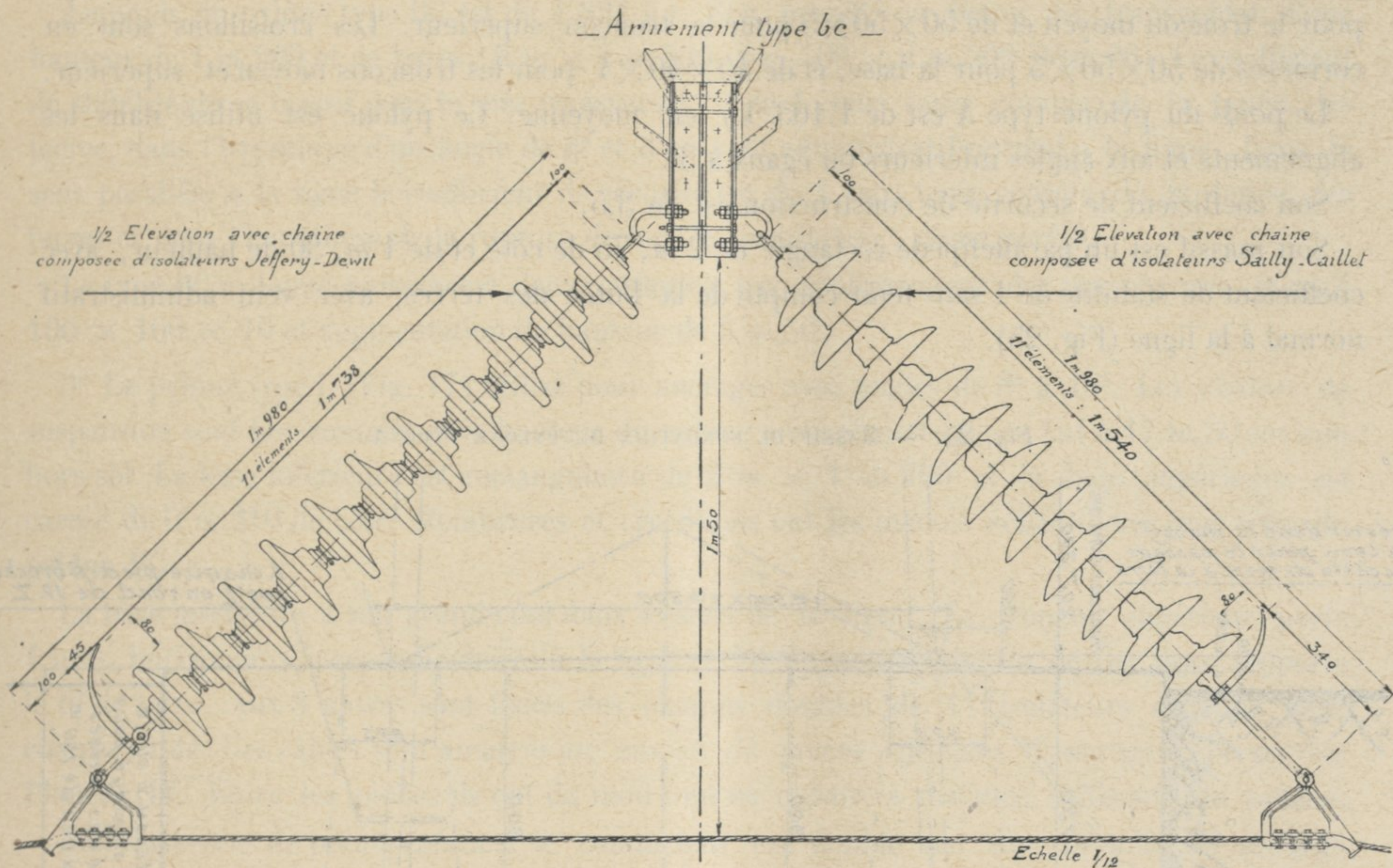
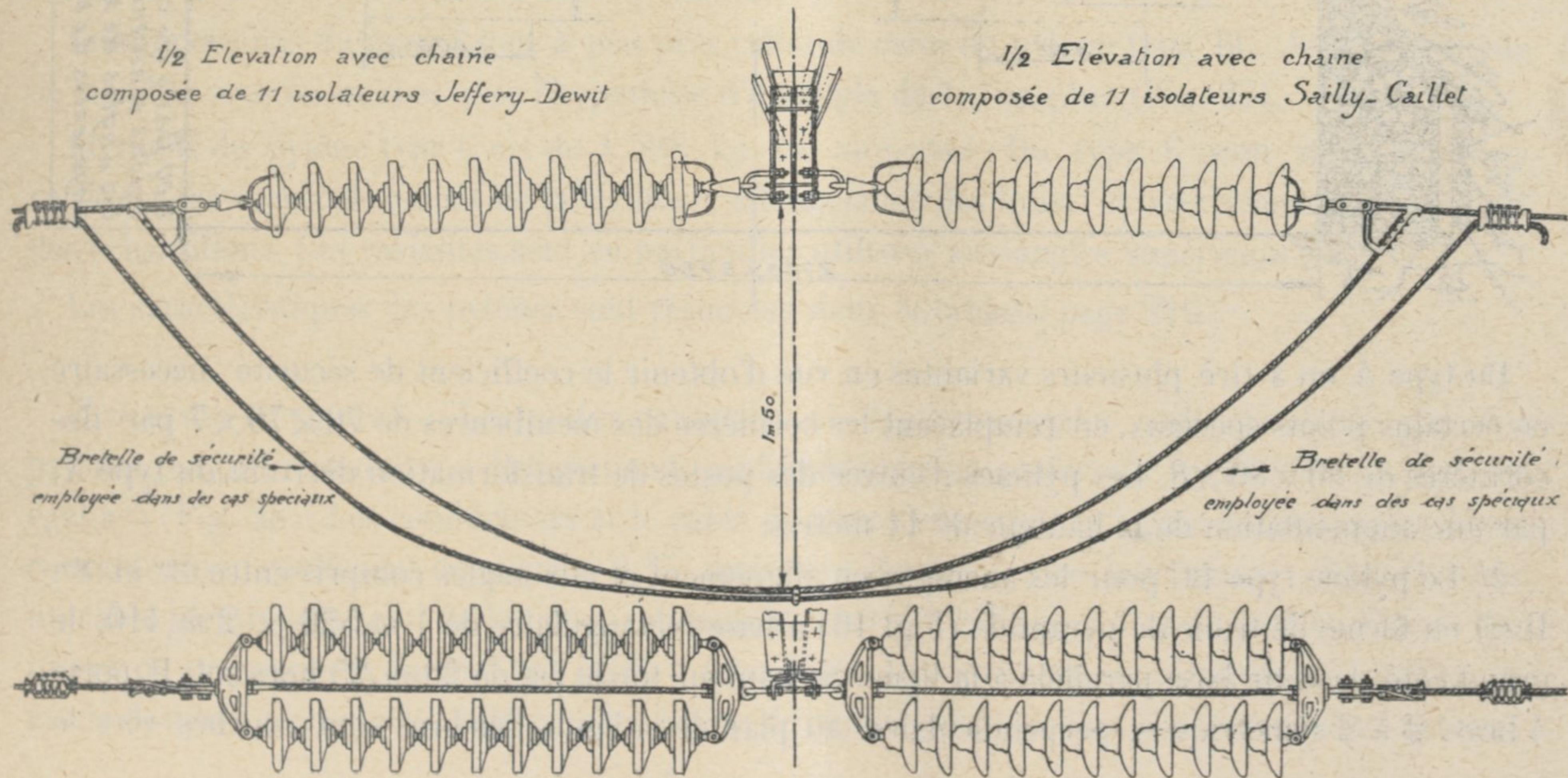


Fig. 24. — MONTAGE DE CHAINES AUX ANCRAGES.



Pylônes. — Les quelque 4.000 pylônes qui supportent les lignes à 150.000 volts dérivent de 3 types principaux.

1° Le pylône Type A ou « d'alignement » représenté par la figure 15. Il a la forme d'un tronc de pyramide à bases carrées, de 1 m, 50 de côté au ras du massif, et de 0 m, 25 de côté au sommet. Sa hauteur totale hors sol est de 20 m, 30. Le tronçon supérieur porte trois bras, perpendiculaires au tracé de la ligne, aux extrémités desquels sont suspendues les chaînes d'isolateurs. Les conducteurs sont écartés les uns des autres de 6 m, 6 m, et 3 m, 70.

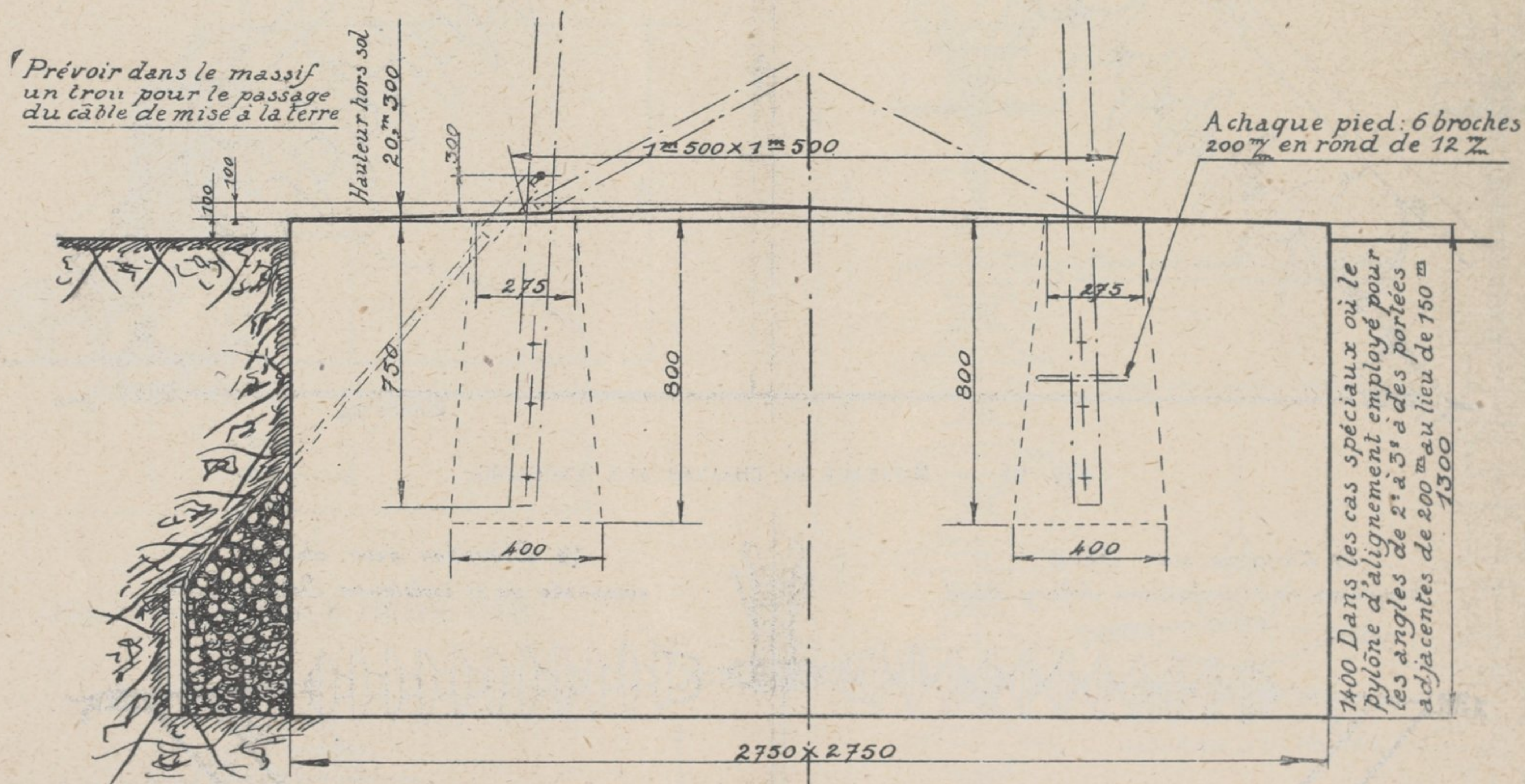
Les montants sont des cornières de 70×70×7 pour le tronçon inférieur, de 60×60×6 pour le tronçon moyen et de 50×50×5 pour le tronçon supérieur. Les croisillons sont en cornières de 50×50×5 pour la base, et de 40×40×4 pour les tronçons moyen et supérieur.

Le poids du pylône type A est de 1.103 kg en moyenne. Ce pylône est utilisé dans les alignements et aux angles inférieurs ou égaux à 3°.

Son coefficient de sécurité de construction est de 3,5.

Son massif est un parallélépipède rectangle de 2 m, 75 de côté et de 1 m, 30 de hauteur, avec coefficient de stabilité de 1 sans tenir compte de la butée des terres, avec vent administratif normal à la ligne (Fig. 25).

Fig. 25. — MASSIF DE FONDATION DU PYLONE TYPE A.



Du type A on a tiré plusieurs variantes en vue d'obtenir le coefficient de sécurité nécessaire en certains points spéciaux, en remplaçant les cornières des membrures de 70×70×7 par des cornières de 80×80×8. Les pylônes d'entrée des postes de transformation dérivent du type A, par une augmentation de la hauteur de 11 mètres.

2° Le pylône type BC pour les ancrages en alignement et aux angles compris entre 3° et 8°. Il est en forme de tronc de pyramide (Fig. 16) à base rectangulaire de 1 m, 520 × 2 m, 410, le grand côté de cette base parallèle à la ligne. Sa hauteur totale est de 20 m, 25 hors sol. Il porte 4 bras, 2 à 2 symétriques, perpendiculaires au plan de la ligne. Ces bras sont courbés vers le

bas afin d'obtenir une distance suffisante entre conducteurs et masse, malgré l'inclinaison des chaînes de suspension. Un bras supporte le câble de terre, qui dans les pylônes type A est fixé au sommet du pylône. Les 3 autres supportent les câbles de ligne au moyen de chaînes doubles obliques de 11 isolateurs chacune. En cas de rupture d'un câble ou d'une chaîne, la seconde chaîne forme ancrage.

Les montants sont des cornières de $90 \times 90 \times 9$ pour le tronçon inférieur, de $80 \times 80 \times 8$ pour le tronçon moyen et de $60 \times 60 \times 6$ pour le tronçon supérieur. Tous les croisillons sont en cornières de $50 \times 50 \times 5$.

Le poids du pylône type BC est de 1.833 kg. Son massif, en béton est trapézoïdal d'une hauteur de 1 m,900 et de bases ; $5 \text{ m} \times 2 \text{ m},500$, $3 \text{ m},500 \times 2 \text{ m},500$ (Fig. 26). Le coefficient de stabilité de ce massif dans le sens transversal est de 1 sans tenir compte de la butée des terres, dans l'hypothèse d'un angle de 8° et d'un vent administratif normal à la ligne. Dans le sens parallèle à la ligne le coefficient de sécurité est de 1 sans tenir compte de la butée des terres et dans l'hypothèse de la rupture de tous les conducteurs d'une portée.

Le type BC a donné naissance à deux variantes par renforcement des membrures jusqu'à $100 \times 100 \times 10$ et augmentation de hauteur de 3 m,50.

3° Le pylône type C (Fig. 17) utilisé pour ancrages avec angles de 8° à 15° . Les chaînes de suspension sont horizontales et la hauteur du pylône a été abaissée de ce fait à 17 m,30 environ hors sol. La base inférieure est rectangulaire de $2 \text{ m} \times 1 \text{ m},700$ et la base supérieure est carrée de 0 m,210 de côté. Membrures et croisillons ont les mêmes échantillons que ceux du pylône BC.

La base inférieure a son grand côté dans le sens de la ligne. Le tronçon supérieur porte 4 bras, horizontaux, perpendiculaires à la ligne et 2 à 2 symétriques. Un de ces bras supporte le fil de terre. Aux 3 autres sont fixées des chaînes doubles de 11 isolateurs chacune pour chaque câble. Ces câbles sont amarrés au moyen de pinces spéciales d'ancrage représentées Planche IV. Entre les pinces ils ont du mou tout en restant à distance suffisante du pylône.

Aux traversées de points spéciaux le conducteur est doublé par une bretelle de sécurité constituée par un câble de même section tenu de part et d'autre du pylône sur le conducteur à l'aide de serre-câbles d'arrêt bifilaires (Planche IV).

Les dimensions du massif sont à peu près celles de celui du pylône type BC. Ses coefficients de stabilité sont les mêmes avec l'hypothèse d'un angle de 15° en plus (Fig. 27).

Le poids du pylône type C est de 1.598 kg en moyenne. Du type C sont nées plusieurs variantes, avec accroissement de la hauteur, allongement des bras, et accroissement corrélatif des échantillons. Ces variantes sont en particulier utilisées aux angles supérieurs à 15° .

Les caractéristiques des pylônes sont résumées dans le tableau page 216.

Traversées de routes. — Les routes nationales et départementales sont encadrées par des pylônes, en principe du type d'alignement, renforcés pour présenter un coefficient de sécurité égal à 5 (Fig. 28). Les conducteurs et le câble de terre conservent la même tension qu'en ligne courante, avec coefficient de sécurité 3,25, mais sont doublés entre leurs points d'attache par un câble identique à celui de la ligne, solidement amarré à celle-ci, à 1 m de part et d'autre des pinces de suspension à l'aide d'une griffe à 4 boulons. Les pylônes sont munis de cadres de garde destinés à retenir les conducteurs en cas de rupture en les reliant électriquement à la terre.

Fig. 26. — MASSIF DE FONDATION DU PYLONE TYPE B C.

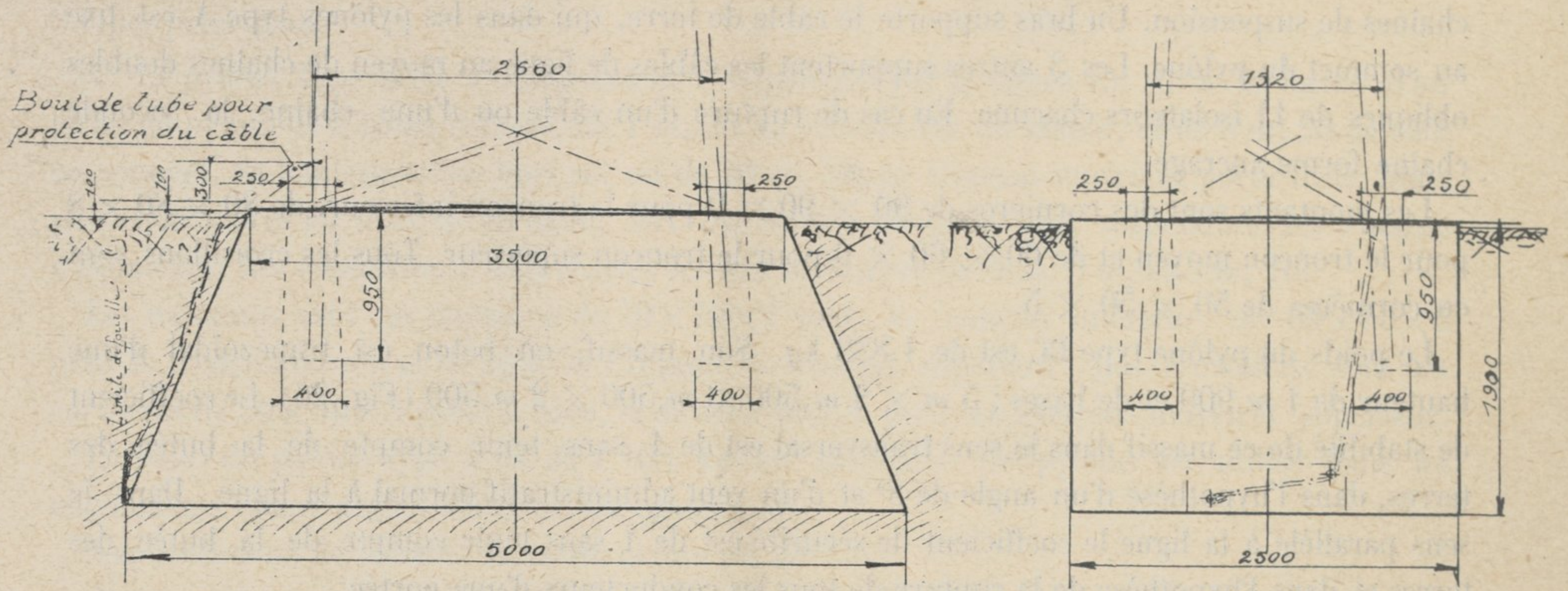


Fig. 27. — MASSIF DE FONDATION DU PYLONE TYPE C.

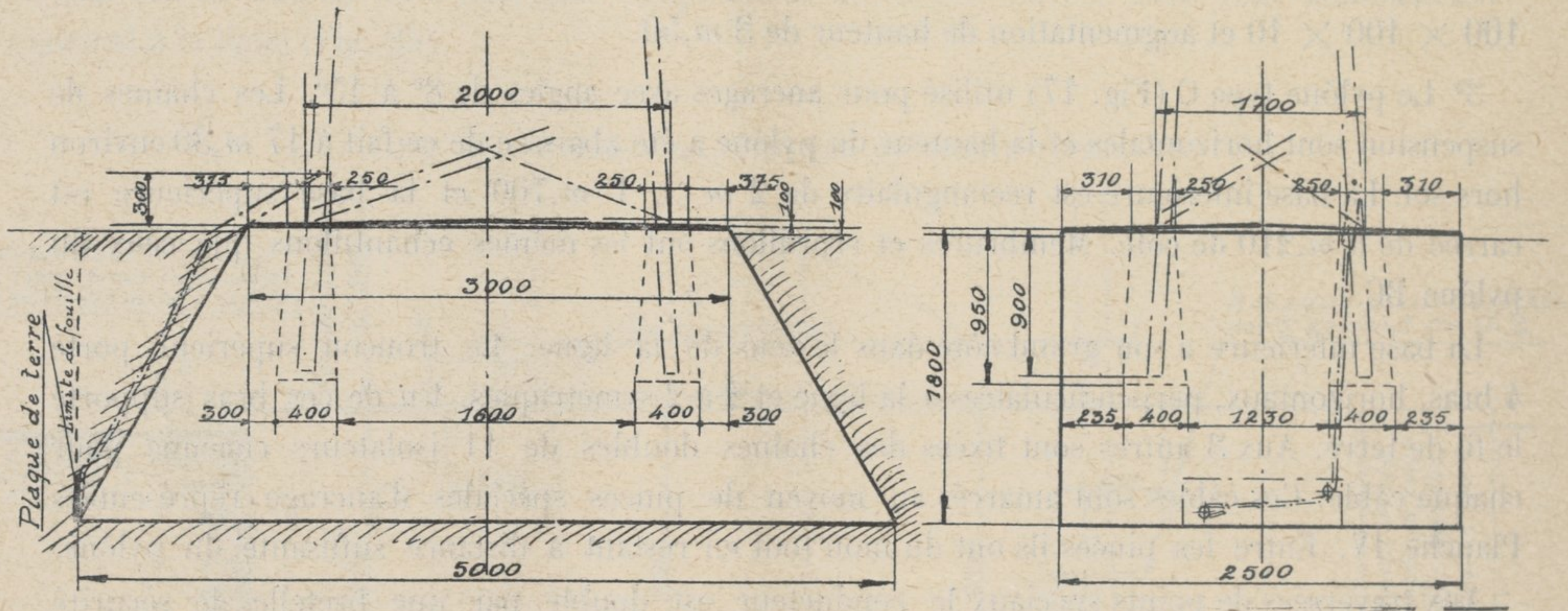
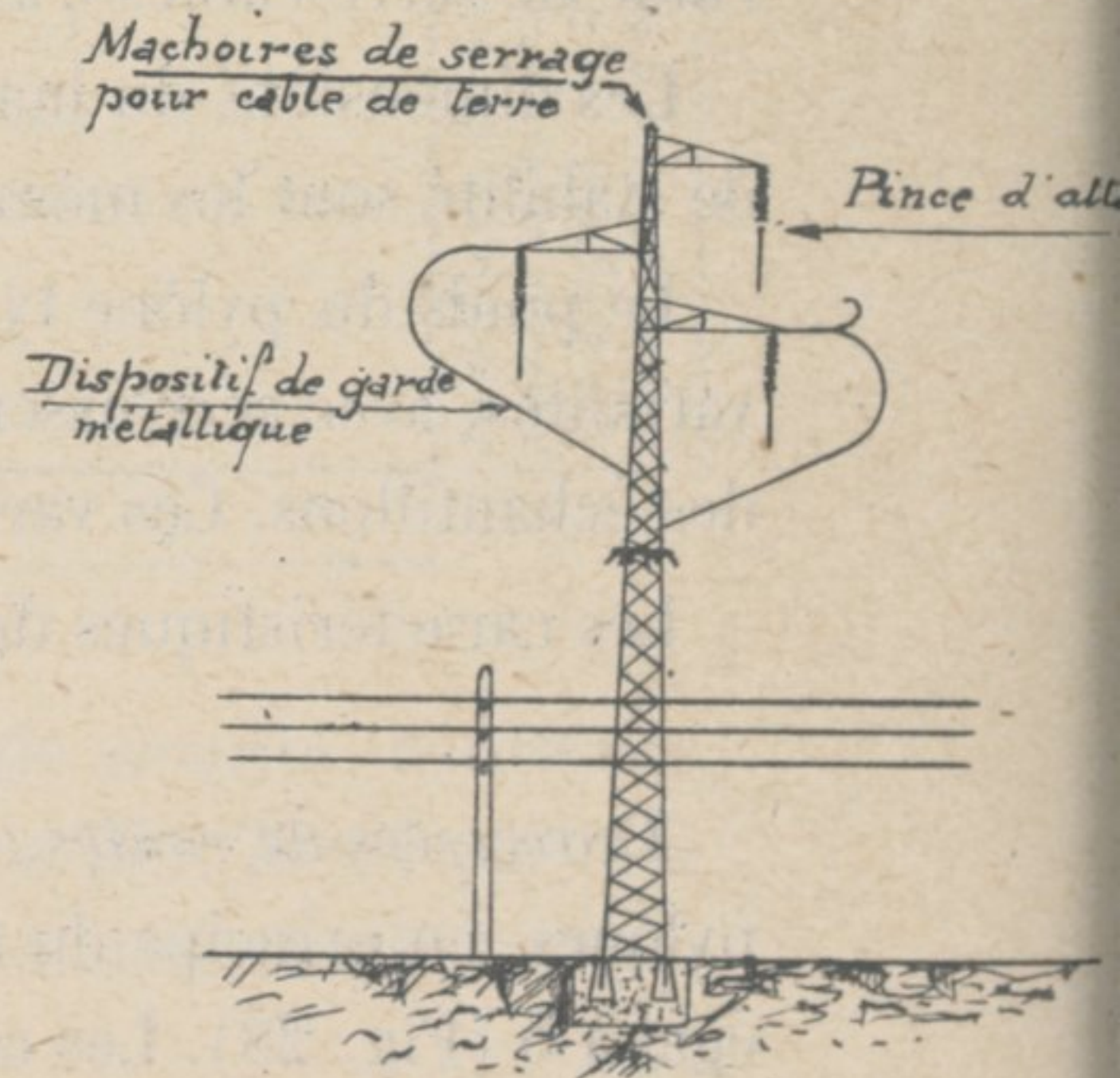
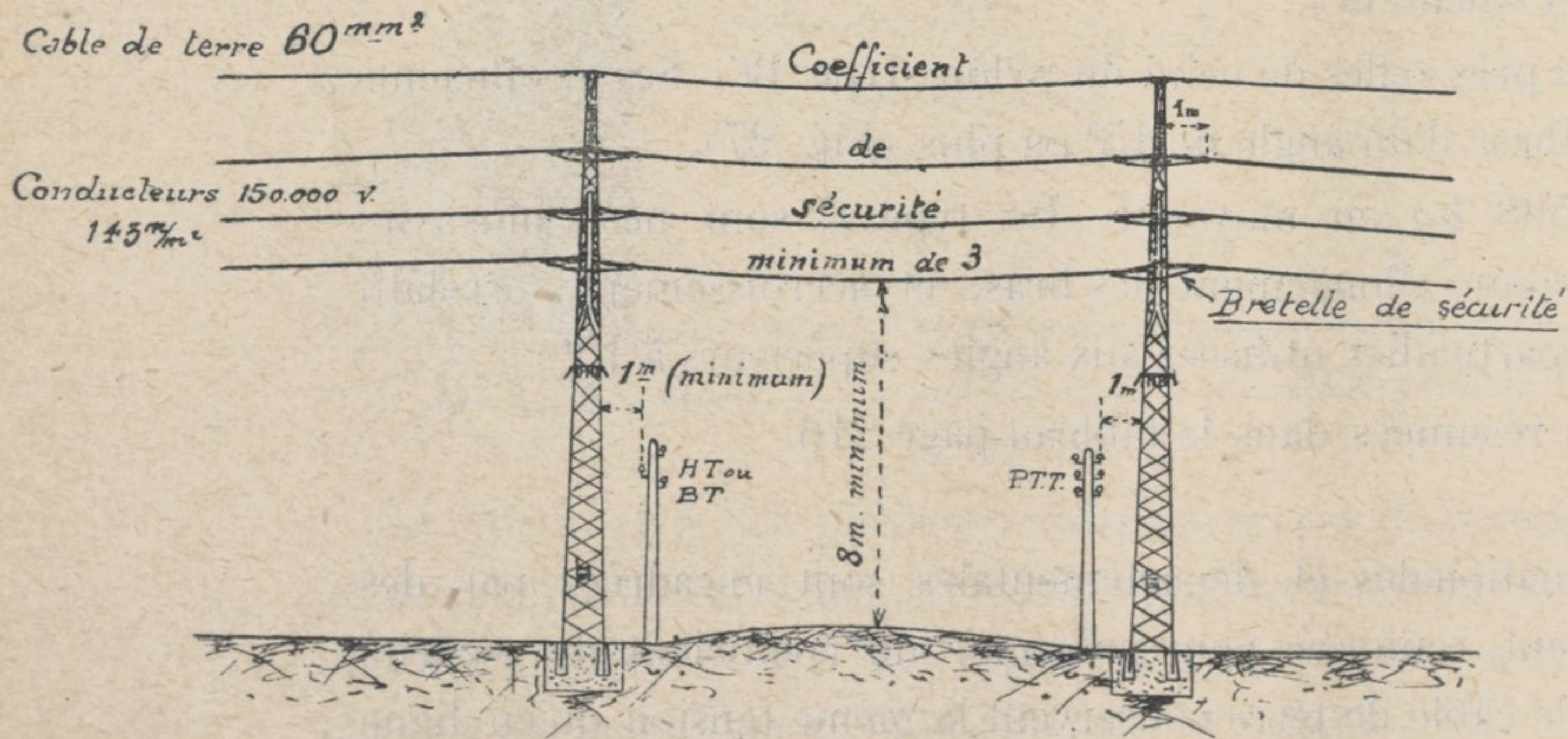


Fig. 28. — TRAVERSÉE DE LA ROUTE NATIONALE OU DÉPARTEMENTALE



Pylons : Coeff^t de sécurité = 5
 Massifs : Coeff^t de stabilité = 1
 (sans la poussée des terres)
 Câbles : Coeff^t de sécurité = 3

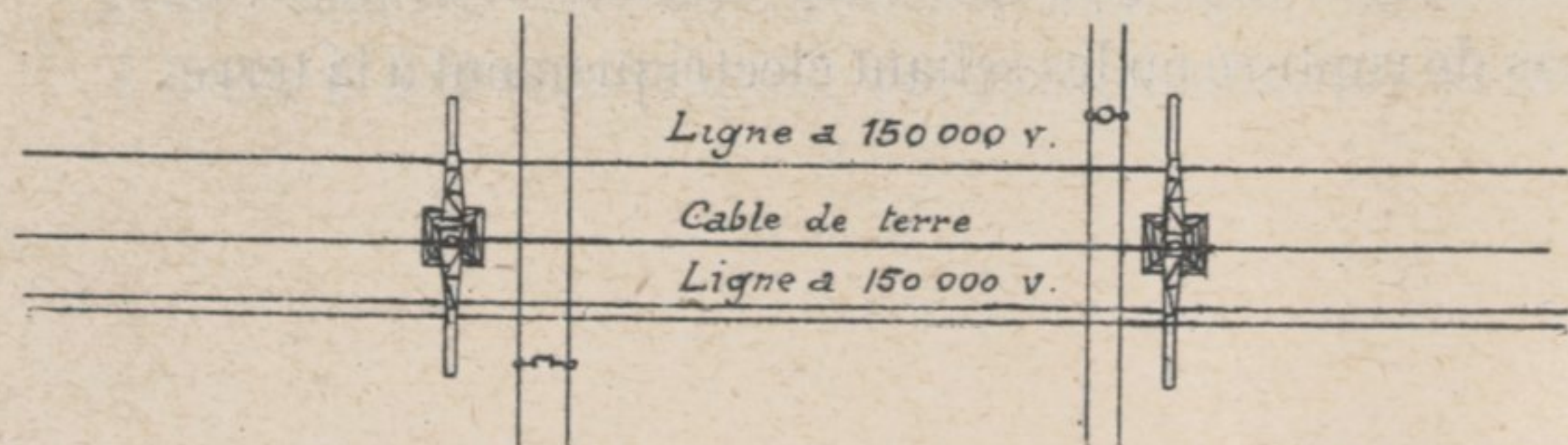
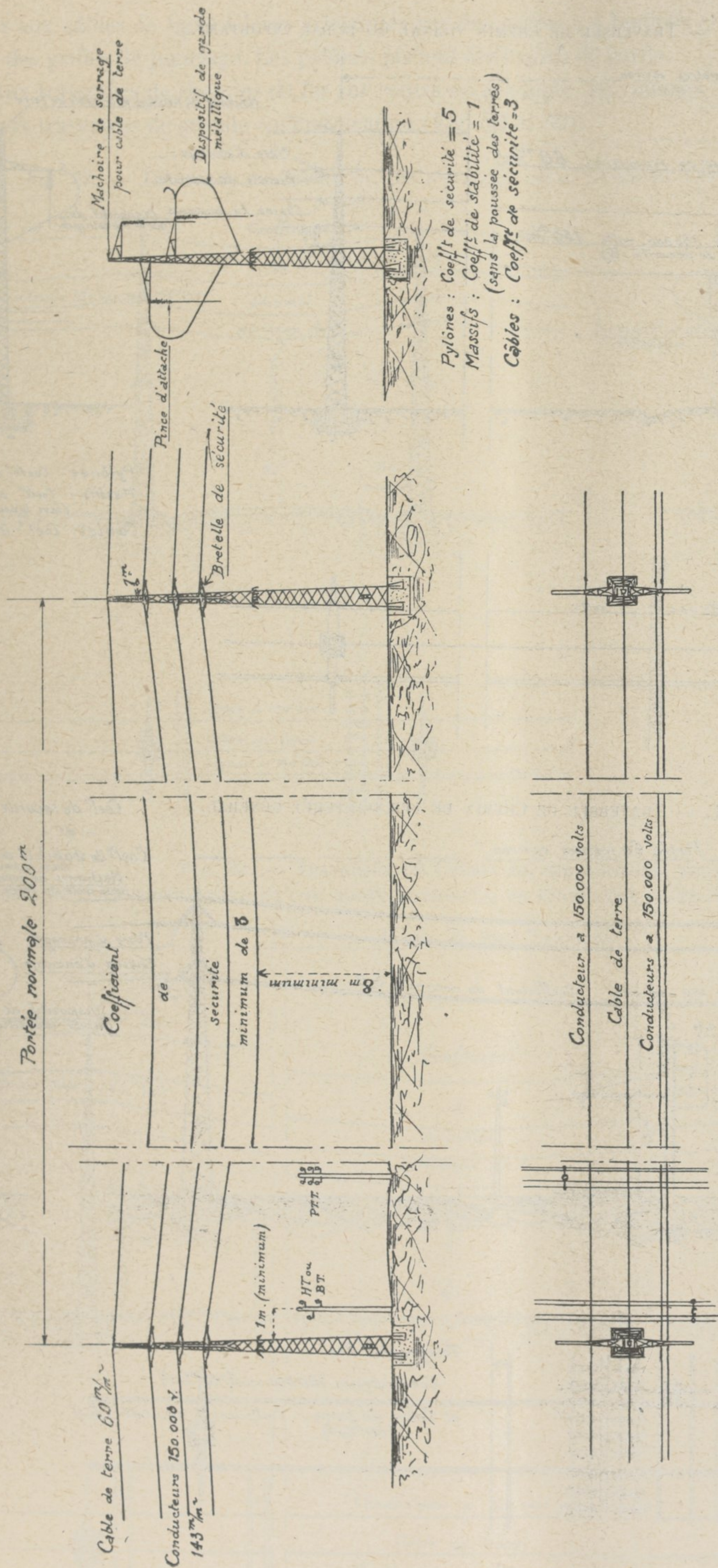


Fig. 29. — TRAVERSÉE DE CHEMIN DE GRANDE COMMUNICATION OU D'INTÉRÊT COMMUN.



Aux traversées de chemins de grande communication et d'intérêt commun les mêmes dispositions ont été adoptées mais les pylônes n'encadrent toutefois pas le chemin (Fig. 29). On a seulement cherché à placer un des pylônes le plus près possible du chemin.

Aucune disposition spéciale n'a été prise pour la traversée des chemins vicinaux et ruraux importants, si ce n'est que les pylônes ont été munis de cadres de garde et les conducteurs d'une bretelle de sécurité à leur point de suspension (Fig. 30).

Traversées de chemin de fer. — Aux traversées de chemin de fer d'intérêt général, les pylônes encadrent la voie et présentent un coefficient de sécurité de 5 au moins. Les câbles de ligne et de terre sont disposés en rectangle pour réduire le plus possible les efforts de torsion sur les pylônes (Fig. 31).

Ils sont en principe suspendus par deux chaînes inclinées pouvant tenir l'ancrage et doublés dans la traversée par des câbles identiques

Fig. 30. — TRAVERSÉE DE CHEMIN VICINAL OU RURAL IMPORTANT.

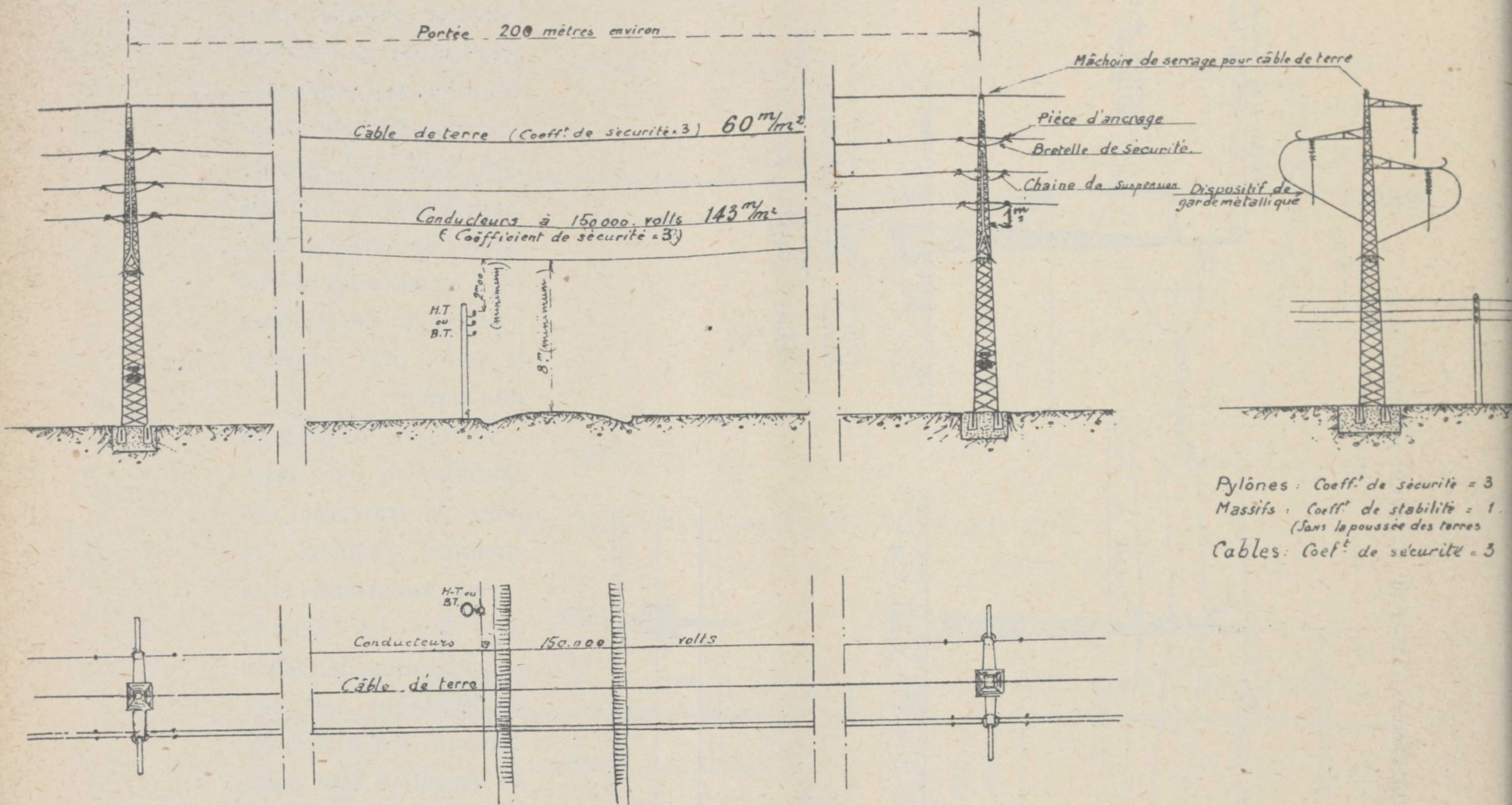
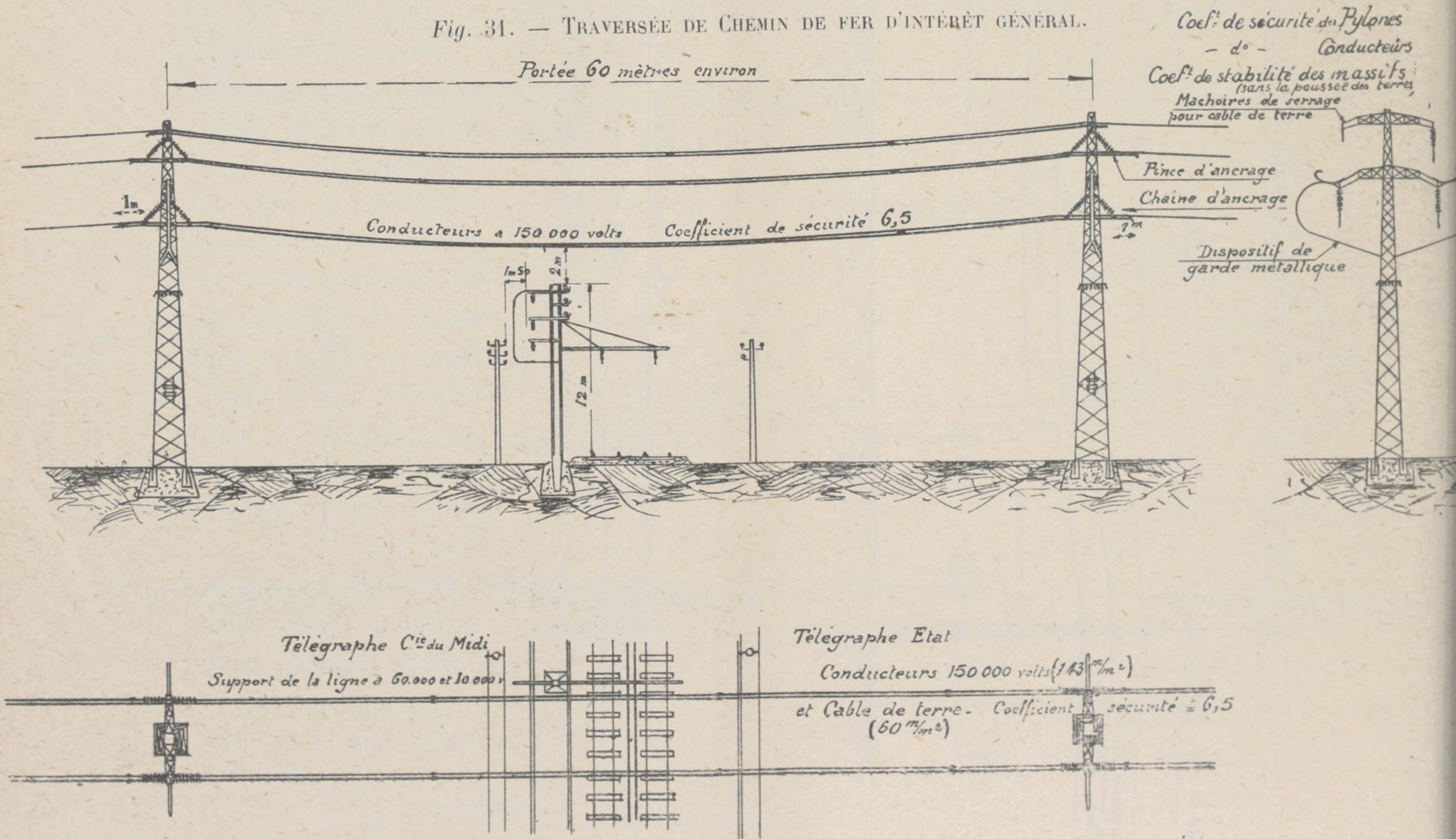


Fig. 31. — TRAVERSÉE DE CHEMIN DE FER D'INTÉRÊT GÉNÉRAL.



fixés aux câbles de ligne à leurs extrémités par des griffes à 4 boulons et, tous les 4 à 5 mètres, par des griffes de jumelage. Les pylônes portent des cadres de garde.

Aux traversées de chemins de fer sur routes on a adopté les mêmes dispositifs de sécurité qu'aux traversées de grande communication (Fig. 32 et 33).

Fig. 32. — TRAVERSÉE DE CHEMIN DE FER D'INTÉRÊT LOCAL LONGEANT UNE ROUTE NATIONALE.

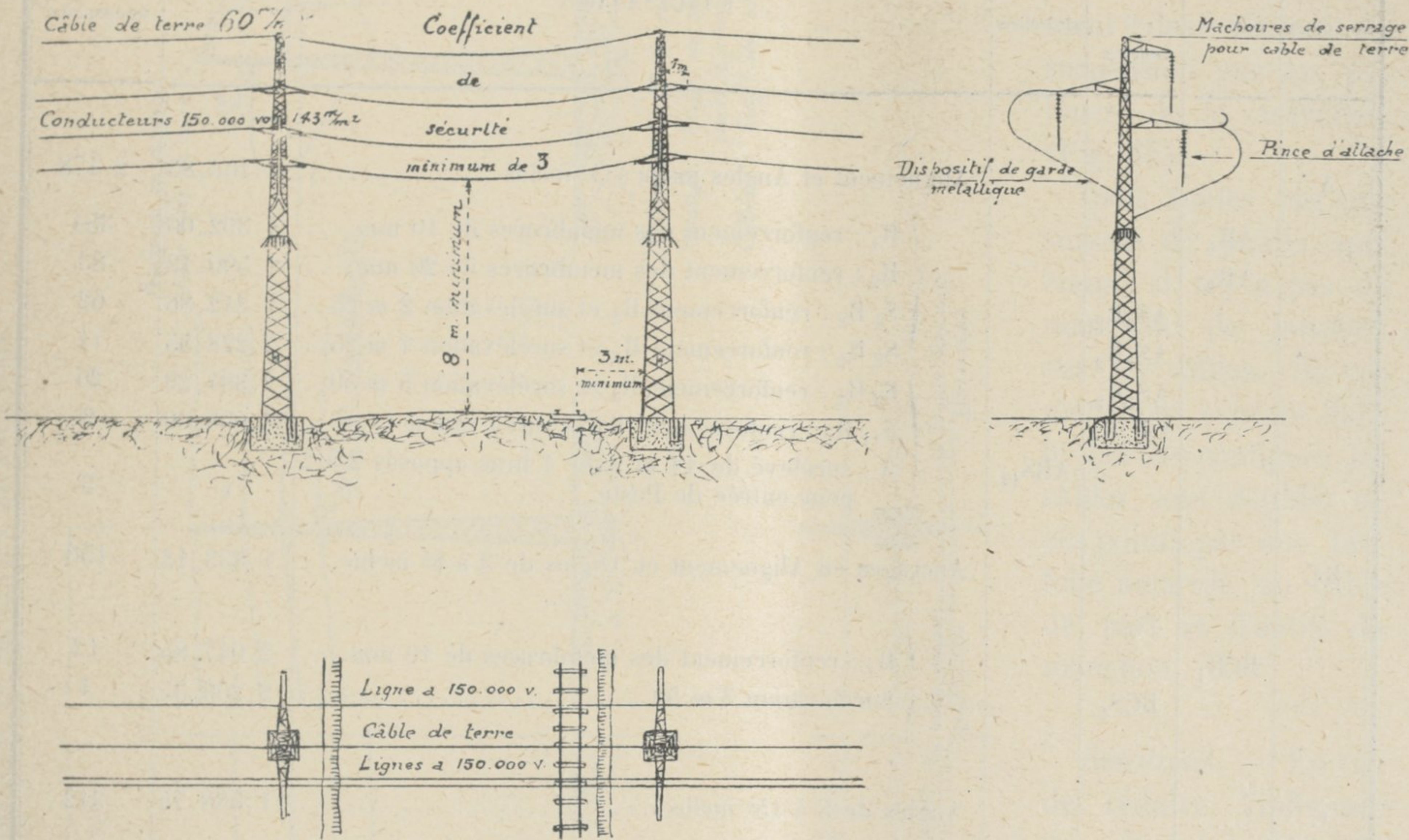
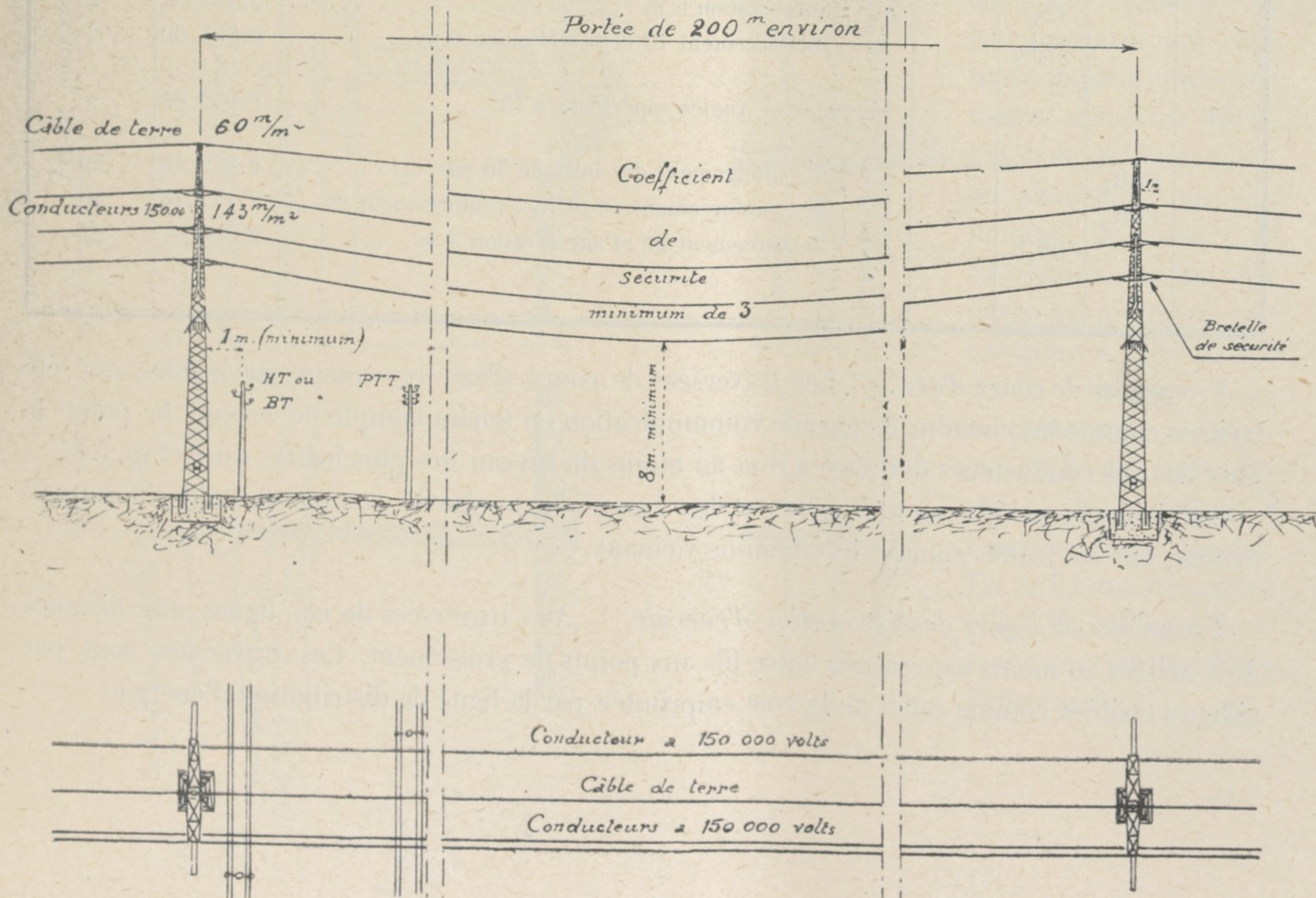


Fig. 33. — TRAVERSÉE DE CHEMIN DE FER D'INTÉRÊT LOCAL LONGEANT UNE ROUTE AUTRE QU'UNE ROUTE NATIONALE, OU ÉTABLI SUR PLATE-FORME NON SUR ROUTE.



LIGNES A 150.000 VOLTS

Caractéristiques des Pylônes (Types normaux et spéciaux).

TYPES normaux	TYPES renforcés	TYPES surélevés et renforcés	TYPES particuliers	UTILISATION	POIDS kg	NOMBRE nécessaire
A	AR ₁ AR ₂	AS ₁ R ₂ AS ₂ R ₂ AS ₃ R ₂ AS ₁₁ R ₂	ABS ₁₁	Alignement et Angles jusqu'à 3° inclus.....	1.103,85	2.478
				Traversées de points spéciaux. { R ₁ : renforcement des membrures de 10 mm....	1.392,00	354
				R ₂ : renforcement des membrures de 20 mm....	1.590,13	83
				S ₁ R ₂ : renforcement R ₂ et surélévation 2 m 25..	1.842,86	62
				S ₂ R ₂ : renforcement R ₂ et surélévation 4 m 25..	2.228,55	44
				S ₃ R ₂ : renforcement R ₂ et surélévation 5 m 50..	2.394,29	26
				S ₁₁ R ₂ : renforcement R ₂ et surélévation 11 m...	3.008,00	2
				A : surélevé de 11 m avec 4 bras opposés 2 à 2 pour entrée de Poste.....	»	3
BC	BCR ₁	BCS ₁		Ancrages en Alignement et Angles de 3 à 8° inclus...	1.833,13	150
				Traversées de points spéciaux. { R ₁ : renforcement des membrures de 10 mm....	2.047,85	12
				Surélévation 3 m 50.....	2.209,35	4
C	CR ₁ CR ₂	CS ₁ R ₂ CS ₆ CS ₆ R ₁		Angles de 8 à 15° inclus.....	1.588,75	342
				Traversées de points spéciaux. { R ₁ : renforcement 10.....	1.831,11	44
				R ₂ : renforcement 20.....	2.208,50	8
				Renforcement 20 et surélévation 3 m.....	2.771,41	23
				Surélévation 6 m.....	2.469,92	2
				Renforcement 10 et surélévation 6 m.....	2.765,00	2
CB	CBR ₁ CBR ₂	CBS ₁ R ₂		Ancrages et Angles supérieurs à 15°.....	1.672,64	»
				Traversées de points spéciaux. { B : allongement des bras de 70 cm.....	1.879,18	29
				R ₁ : renforcement 10 et R ₂ : renforcement 20...	2.177,16	40
				Renforcement 20 et surélévation 3 m.....	2.740,07	27

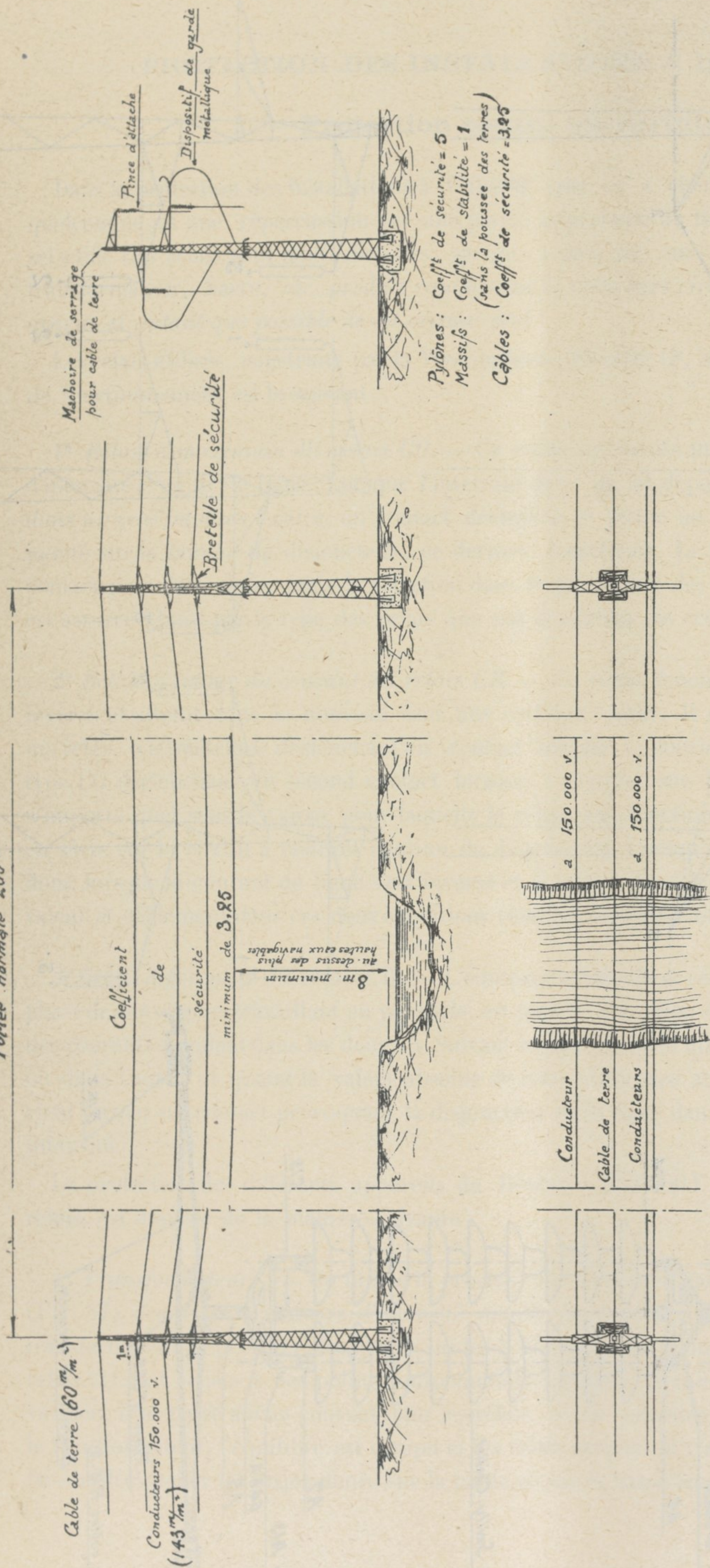
Traversées de cours d'eau. — Les traversées de cours d'eau et canaux navigables ont été traitées comme les chemins de grande communication en tenant compte de ce que le point le plus bas des conducteurs doit être à 8 m au moins du niveau des plus hautes eaux (Fig. 34).

Les rivières à navigation praticable, et les cours d'eau classés comme flottables éventuellement, ont été traités comme les chemins vicinaux.

Traversées de lignes de distribution d'énergie. — Aux traversées de ces lignes une distance de 2 mètres au moins est réalisée entre fils aux points de croisement. Ces traversées sont par ailleurs traitées comme celles de la voie empruntée par la ligne de distribution d'énergie.

Fig. 34. — TRAVERSÉE DE COURS D'EAU OU DE CANAUX DE NAVIGATION.

Portée normale 200^m



Traversées des lignes des P.T.T. — Ces traversées sont traitées comme celles des chemins de grande communication avec doublement des chaînes de suspension sur les pylônes de la traversée (Fig. 35).

Dans toutes ces traversées de points spéciaux, il n'y a pas de manchons de jonction sur les câbles. Si ces manchons existent dans les portées contiguës, les câbles sont doublés en ces points par une bretelle amarrée au câble de part et d'autre du manchon.

Rotations. — En vue de réduire l'influence des lignes à 150.000 volts sur les lignes voisines, les trois câbles effectuent chacun sur leur parcours une rotation complète entre deux postes successifs éleveurs, de sectionnement, ou abaisseurs, en permutant de chaînes de suspension sur les supports. La première permutation a lieu au $1/3$ de la distance entre 2 postes, la seconde aux $2/3$ de cette distance, la troisième à l'arrivée aux postes. Le schéma ci-après (Fig. 36) indique comment ces permutations s'effectuent.

Fig. 36. — ROTATIONS DES LIGNES A 150.000 VOLTS.

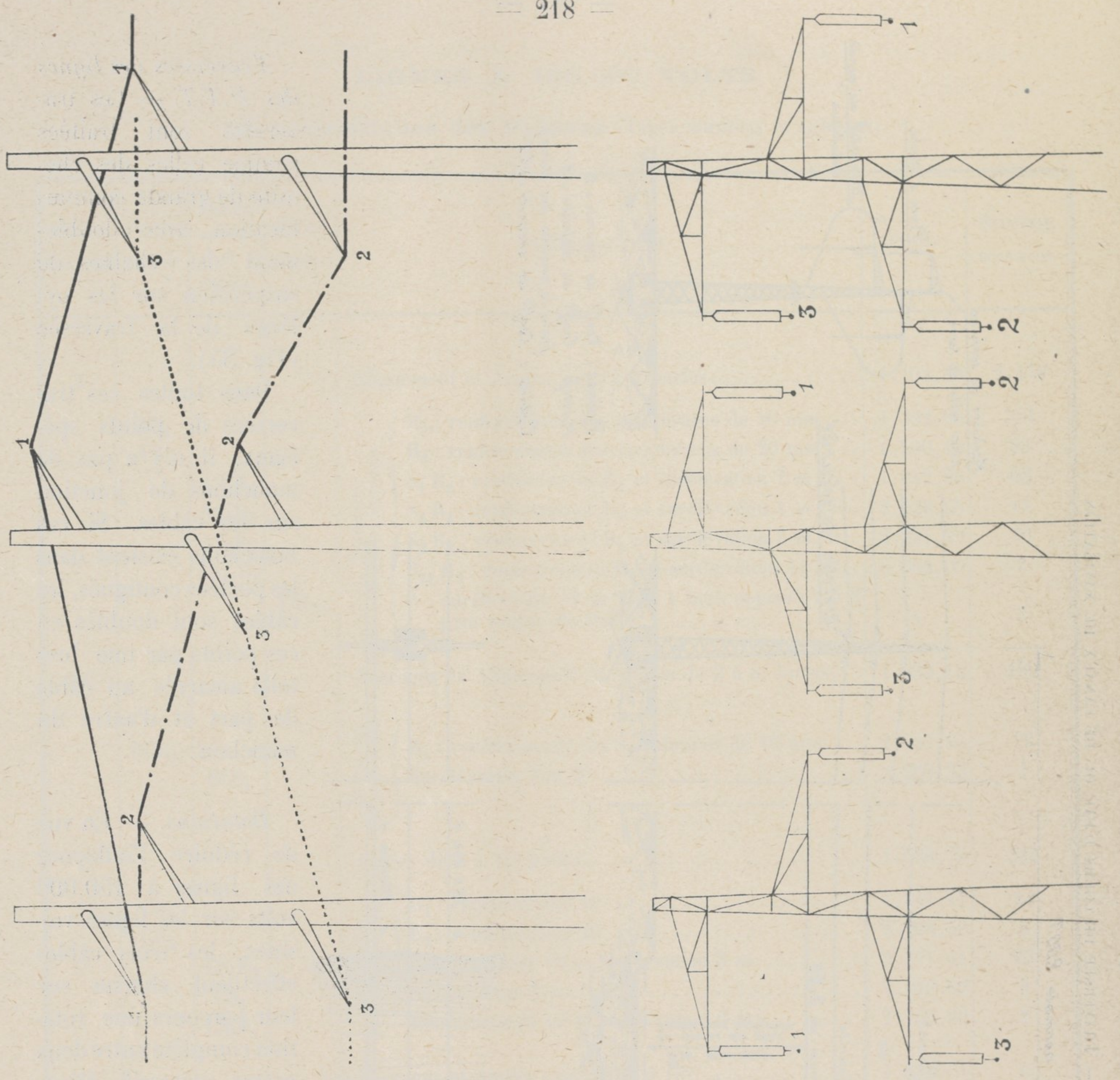
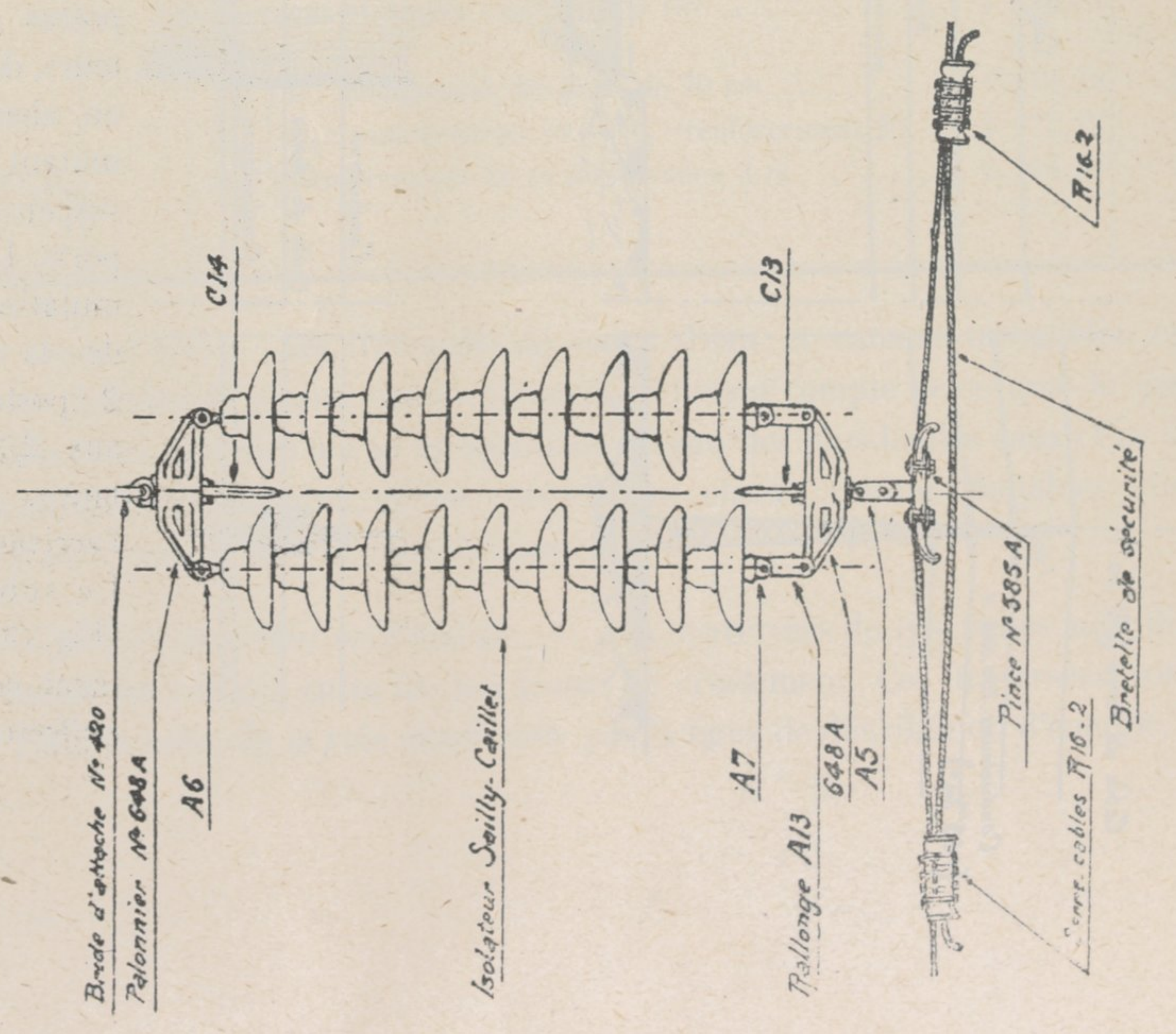


Fig. 35. — DOUBLEMENT DES CHAINES
AUX TRAVERSÉES DES LIGNES DES P. T. T.



PROTECTION DES INSTALLATIONS A 150.000 VOLTS.

A. — Protection contre les surintensités.

Dans la protection des installations à 150.000 volts on a cherché à éviter qu'une avarie quelconque ait une répercussion sur une partie importante du Réseau, par l'emploi de relais sélectifs. Ces relais sont ainsi disposés, qu'une avarie sur un organe bien défini : ligne, transformateur, barre, etc. *produit rapidement la mise hors circuit automatique de l'organe avarié, et autant que possible de cet organe seul.*

Les relais utilisés, construits par la Westinghouse Electric Co, sont de 3 types. Leur principe de fonctionnement est le suivant :

1° *Relais à maximum dit relais CO.* — Ce relais est monté aux bornes d'un transformateur d'intensité d'un fil de ligne. Lorsque l'intensité dans ce fil dépasse une certaine intensité, *dans un sens ou dans l'autre*, un contact déclenche et ferme un circuit à courant continu monté sur la bobine du disjoncteur : ce dernier fonctionne. Le temps de déclenchement du contact peut être réglé, mais la sélection dans la protection des installations à 150.000 volts est assurée plutôt par le type des relais que par le réglage de ces relais en temps.

2° *Relais à retour du courant dit relais CR.* — Ce relais fonctionne lorsque le courant est inversé et atteint dans le nouveau sens une certaine valeur. Il se compose de deux parties : un relais wattmétrique déclenchant un contact lorsque le courant s'inverse, et un relais du type CO déclenchant un second contact lorsque l'intensité sur le fil de ligne atteint, dans n'importe quel sens la valeur pour laquelle le relais doit fonctionner. Ces deux contacts sont en série sur le circuit à courant continu du disjoncteur. Lorsqu'ils sont tous les deux fermés ; donc lorsque le courant de ligne s'est inversé et a atteint dans le nouveau sens une certaine valeur et seulement dans ces deux conditions remplies simultanément le disjoncteur fonctionne.

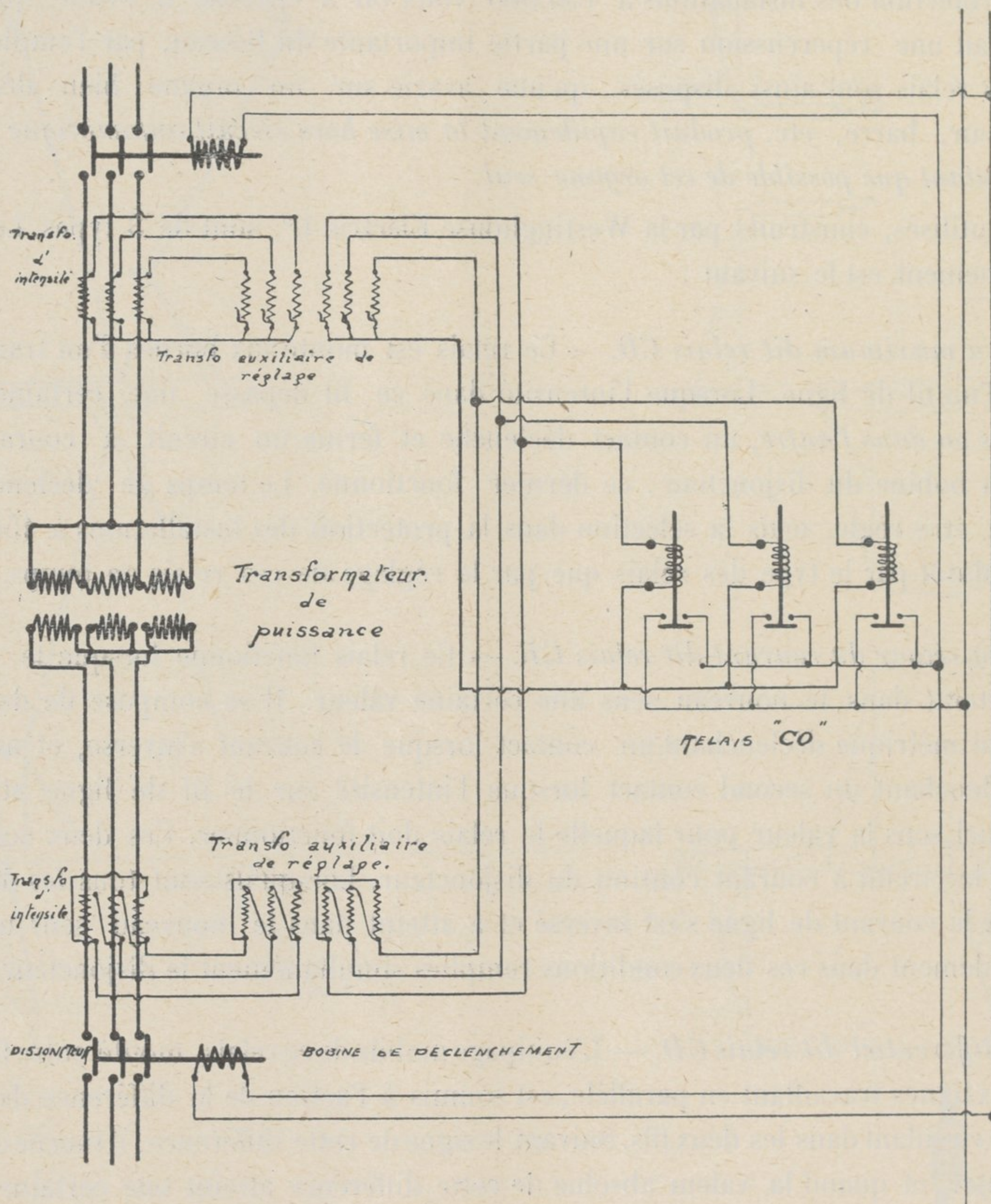
3° *Relais différentiel dit relais CD.* — L'équipage mobile de ce relais, monté entre fils de même phase de deux lignes travaillant en parallèle, est soumis à l'action de la différence des intensités des courants circulant dans les deux fils. Suivant le signe de cette différence, il tourne dans un sens ou dans l'autre, et quand la valeur absolue de cette différence atteint une certaine valeur, il vient fermer un contact provoquant la disjonction de la ligne dans laquelle passe la plus forte intensité.

La protection des différents appareils du Réseau à 150.000 V à l'aide de ces trois types de relais, est assurée de la manière suivante :

1° *Transformateurs.* — On utilise le procédé Merz-Price en faisant travailler en opposition (Fig. 37) des transformateurs d'intensité montés les uns sur 3 phases de la basse tension des transformateurs à protéger, les autres sur les 3 phases de la haute tension. Les 2 bornes des relais CO sont reliées à des points équipotentiels des deux circuits en opposition. Quand tout va bien, il ne passe aucun courant dans les relais. Si, au contraire, il se déclare un défaut dans le transformateur, l'équilibre est rompu et les relais mettent le transformateur hors-circuit en faisant déclencher les disjoncteurs sur la haute et sur la basse tension.

2° Lignes. — La protection des lignes à 150.000 V est assez délicate du fait de la complexité du Réseau comprenant des lignes simples et des lignes doubles, des bifurcations, enfin des Postes haute-tension jouant des rôles très différents.

Fig. 37. — PROTECTION DES TRANSFORMATEURS.



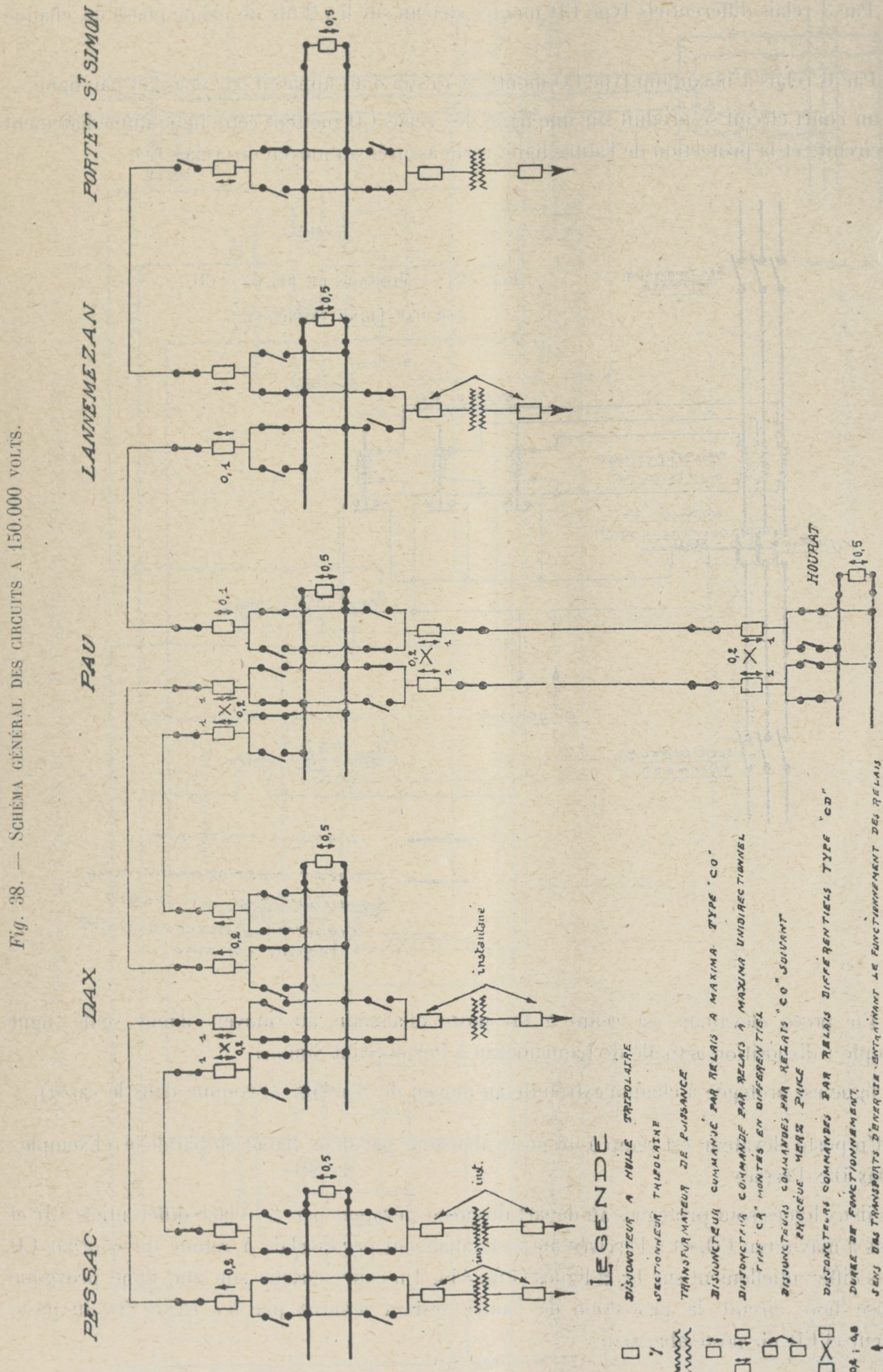
Les divers cas peuvent néanmoins rentrer dans les 4 suivants si on suppose le Réseau achevé (voir la figure 38).

a) Un poste élévateur est réuni à un autre poste élévateur par une seule ligne (exemple Pau à Lannemezan).

Des relais à maximum CO sont montés sur les 3 phases de la ligne à l'entrée dans chaque poste (Fig. 39). Un court circuit sur la ligne fait fonctionner les disjoncteurs à chaque extrémité et met la ligne hors circuit.

b) Un poste élévateur est réuni à un autre poste élévateur par une ligne double (exemple Hourat à Pau).

Les deux lignes sont protégées à chacune de leurs extrémités (Fig. 40).



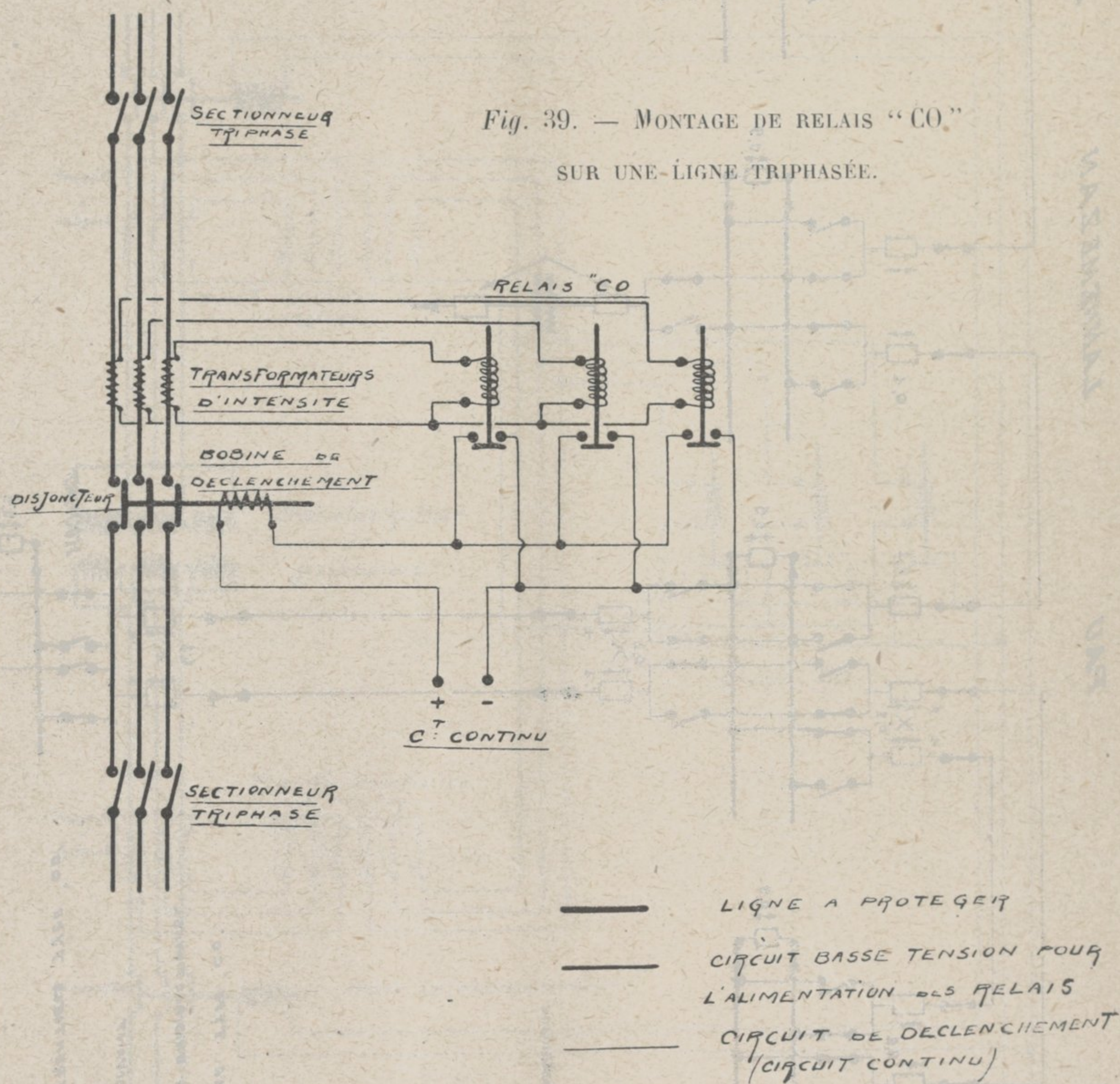
LEGENDE

- DISJONCTEUR A HUILE TRIPOLAIRE
- ⚡ SECTIONNEUR TRIPOLAIRE
- TRANSFORMATEUR DE PUISSANCE
- DISJONCTEUR COMMANDE PAR RELAIS A MAXIMA TYPE "CO"
- DISJONCTEUR COMMANDE PAR RELAIS A MAXIMA UNIDIRECTIONNEL TYPE "CA"
- DISJONCTEURS COMMANDES PAR RELAIS "CO" SUIVANT PROCEDURE VERRE PIGE
- DISJONCTEURS COMMANDES PAR RELAIS DIFFERENTIELS TYPE "CD"
- DURÉE DE FONCTIONNEMENT
- ↑ SENS DES TRANSPORTS D'ÉNERGIE ENTRAÎNANT LE FONCTIONNEMENT DES RELAIS

1° Par 3 relais différentiels type CD montés chacun sur les 2 fils de même phase de chaque ligne.

2° Par 6 relais à maximum type CO montés à raison d'un appareil par phase et par ligne.

Si un court circuit se produit sur une ligne, les relais CD mettent cette ligne immédiatement hors-circuit, et la protection de l'autre ligne reste assurée au moyen des relais CO.



c) Un poste éleveur est réuni à un poste abaisseur au moyen d'une seule ligne (Exemple : disposition actuelle de Lannemezan à Portet-Saint-Simon).

La ligne est protégée à chaque extrémité au moyen de 3 relais CO comme dans le cas a).

d) Un poste éleveur est réuni à un poste abaisseur par deux lignes en parallèle (Exemple : Pau-Dax-Dax-Pessac).

Les deux lignes sont protégées au départ du poste éleveur par 3 relais différentiels CD et 6 relais à maximum CO, et à l'arrivée au poste abaisseur par 6 relais à retour du courant CR montés différentiellement sur les 2 lignes (Fig. 41). Un court circuit sur une ligne provoque sa mise hors circuit, la protection de l'autre restant assurée par les relais CO du poste éleveur et CR du poste abaisseur.

Fig. 40. — PROTECTION DE 2 DÉPARTS DE LIGNE H T FONCTIONNANT EN PARALLÈLE.

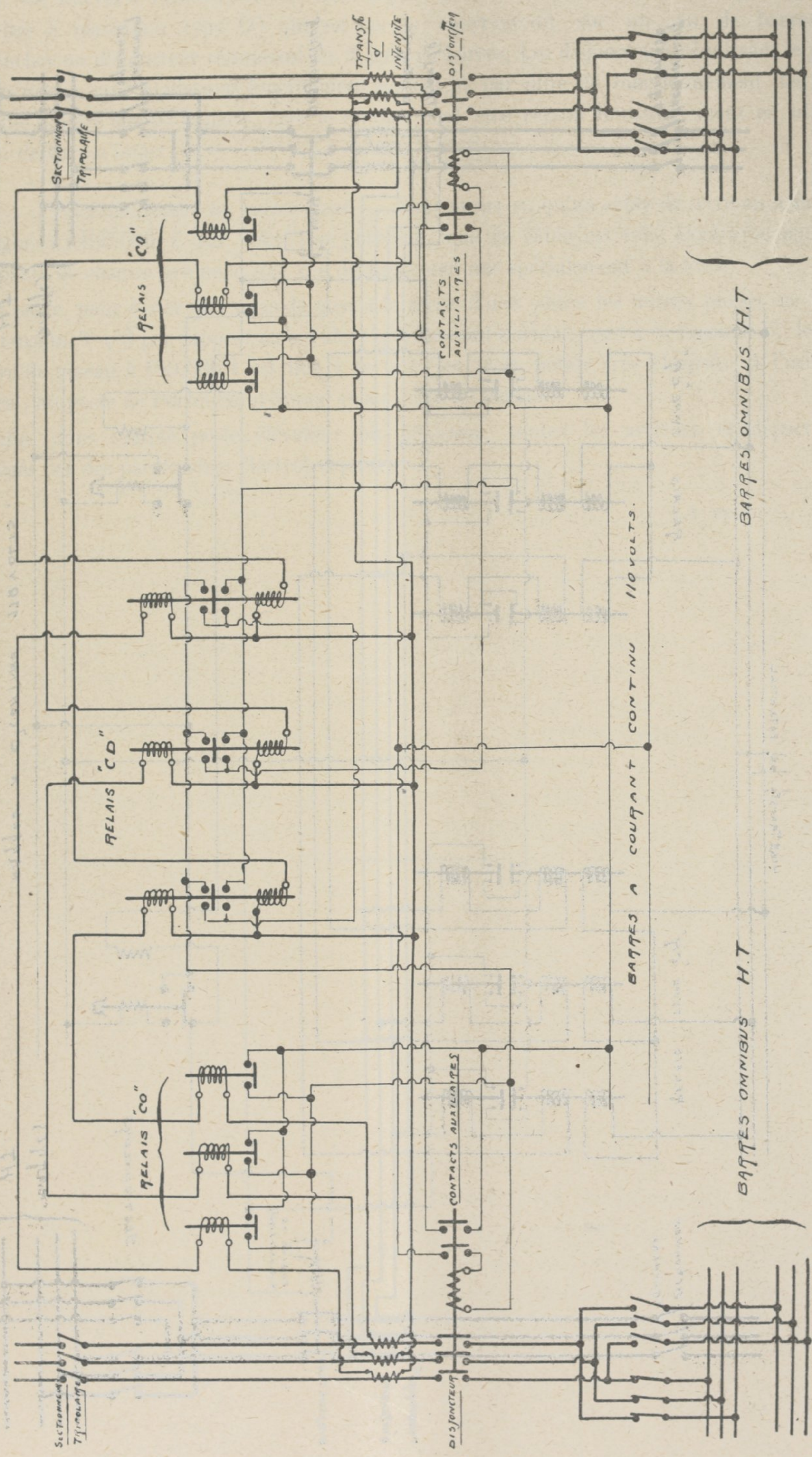
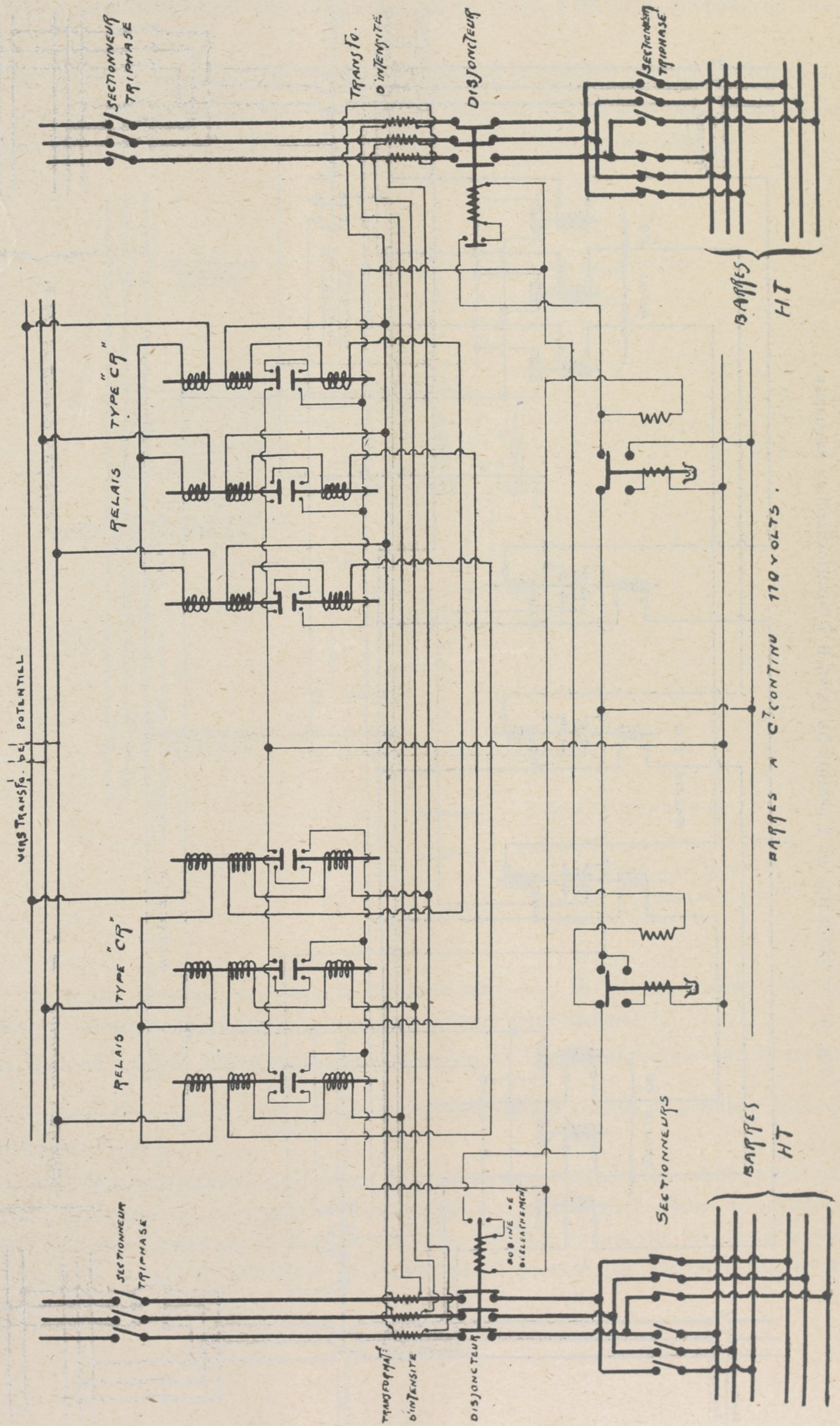


Fig. 41. — PROTECTION DE 2 ARRIVÉES DE LIGNE FONCTIONNANT EN PARALLÈLE.



III. — *Barres à 150.000 V.* — Les 2 jeux de barres à 150.000 V sont protégés par 3 relais à maximum type CO qui en cas de court-circuit sur un jeu de barres fait déclencher un disjoncteur réunissant les 2 jeux de barres. Les disjoncteurs réunissant le jeu de barres avarié aux installations fonctionnent également par suite du fonctionnement des relais sélectifs montés sur les départs, mais le service peut être rétabli immédiatement en utilisant le jeu de barres intact.

B. — *Protection contre les surtensions.* — Nous avons vu qu'un câble de terre en acier suit la ligne à 150.000 V sur tout son parcours, que ce câble est relié électriquement à la charpente de chaque pylône et que ces derniers sont mis spécialement à la terre.

En outre, pour éviter qu'en cas de mise à la terre d'une phase les autres phases ne soient à la tension $V\sqrt{3}$ par rapport au sol alors qu'elles sont normalement à la tension V, le point neutre du réseau à 150.000 V est mis à la terre en trois points très éloignés: à l'usine du Hourat, au poste de Portet-Saint-Simon et au Poste de Pessac.

Enfin, dans chaque poste élévateur ou abaisseur toutes les arrivées et départs sont protégés par des parafoudres électrolytiques.

(A suivre).

NOTE

SUR

l'Électrification des Chemins de Fer du Midi

PAR

M. P. LÉBOUCHER,

INGÉNIEUR EN CHEF

M. H. LEDOUX,

INGÉNIEUR PRINCIPAL

DES SERVICES TECHNIQUES DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DE LA COMPAGNIE DU MIDI.

(Pl. V à VII).

(Suite ⁽¹⁾).

CHAPITRE IV. — RÉSEAUX 60.000 VOLTS ET 10.000 VOLTS

L'alimentation des sous-stations de traction en courant triphasé 50 périodes par seconde, 60.000 volts, est assurée par un réseau qui longe les lignes électrifiées. Ce réseau est doublé d'un réseau à 10.000 volts, triphasé, 50 périodes par seconde, lequel sert au transport de l'énergie nécessaire à la signalisation et aux besoins des gares en force motrice et éclairage.

Sur certaines sections d'embranchements, des ententes avec les secteurs locaux en vue d'un échange d'énergie pourront dispenser de l'installation du réseau 60.000 volts. C'est ainsi que sur les embranchements Tarbes - Bagnères-de-Bigorre et Montrejeau - Bagnères-de-Luchon les sous-stations de Bagnères-de-Bigorre et de Cier-de-Luchon seront alimentées par les secteurs de ces régions. L'énergie ainsi empruntée sera restituée aux secteurs à Tarbes et à Montrejeau.

De même le réseau à 10.000 volts pourra ne pas exister sur certaines sections, si les dépenses d'établissement de ce réseau ne sont pas justifiées par les besoins en énergie de ces sections.

Le réseau à 60.000 volts est prévu pour recevoir directement la totalité de l'énergie produite par l'usine de Soulom, une partie de celle produite par les usines de l'Ossau, par l'usine d'Eget, par les usines de la Haute-Ariège (en projet), la totalité de l'énergie produite par les usines de la Tet (en projet) et par les postes abaisseurs de Dax, Pessac et Portet-Saint-Simon.

Pour des raisons de sécurité d'exploitation, le réseau à 60.000 volts est doublé entre les

(1) Voir *Revue Générale*, N^o de Mars 1923.

usines d'un même groupe (Ossau, Haute-Ariège, Têt), entre l'usine de Soulom et la sous-station de Lourdes, et entre l'usine d'Eget et le poste élévateur de Lannemezan.

Une seule avarie de ligne ne suffira pas, par suite, à mettre hors circuit une usine ou tout un groupe d'usines. Partout ailleurs les lignes 60.000 volts sont simples.

Elles sont constituées par trois conducteurs de cuivre de 100 mm^2 . Toutefois entre Montrejeau et Pau, elles sont constituées par les câbles aluminium de 83 mm^2 installés sur cette section avant la guerre pour l'équipement en monophasé. De même entre Arreau et Lannemezan la ligne, double, est constituée par des câbles d'aluminium de 131 mm^2 et une de ces lignes provient de l'équipement antérieur en monophasé.

La capacité de transport par ligne simple est de 20.000 kw en admettant un facteur de puissance égal à l'unité et une perte en ligne de 0,15 % par kilomètre.

Les lignes à 60.000 volts sont montées sur les mêmes poteaux ou portiques que les lignes caténaïres de prise de courant et que les feeders à 1.500 volts continu.

Les lignes à 10.000 volts, également montées sur les mêmes supports, sont constituées par trois conducteurs de cuivre de 5 mm de diamètre.

Entre Montrejeau et Pau les supports métalliques implantés avant la guerre pour l'équipement en monophasé ont pu être utilisés. Sur les sections de Toulouse-Montrejeau, Pau-Dax, Pau-Laruns, les supports sont en béton armé. A l'époque où l'équipement de ces sections fût arrêté, le prix élevé atteint par les fers profilés fit donner la préférence au béton armé. Il est vraisemblable que du fait de la baisse de prix des fers, la préférence reviendra dans la suite aux supports métalliques.

Les pylônes en béton des sections sus-visées ont été étudiés pour répondre aux exigences multiples et variées de l'équipement des lignes caténaïres qu'ils doivent supporter en plus des lignes 60.000 et 10.000 volts. Ils sont à section H et de trois types différents. Dans chaque type la forme extérieure des poteaux est la même et les efforts au sommet différents sont obtenus en faisant varier uniquement la composition de l'armature métallique.

Le tableau ci-après donne les caractéristiques générales des supports utilisés sur les sections Toulouse-Montrejeau et Pau-Dax.

	HAUTEUR totale en mètres	HAUTEUR hors sol en mètres	EFFORT au sommet en kg	Cube du massif de fondation en mètres cubes.
1 ^{er} type	12,75	11,25	400 à 2.600	3,6 à 11,6
2 ^e type.....	11,75	10,25	400 à 2.600	3,6 à 10,8
3 ^e type (ancrages).....	13,50	11,50	2.000 à 4.000	11 à 17,6

Les figures 42 et 43 indiquent la répartition des fers de l'armature des pylônes types 1 et 3.

La figure 44 représente l'armement d'un pylône en courbe intérieure de 300 mètres.

La figure 45 donne la photographie de la caténaire en courbe sur Montrejeau-Toulouse.

Les portées sont de 90 m en alignement et dans les courbes d'un rayon supérieur à 2.000 m, de 60 m dans les courbes d'un rayon compris entre 2.000 et 800 m, de 45 m dans les courbes de rayon inférieur à 800 mètres.

Fig. 45. — CATÉNAIRE EN COURBE.

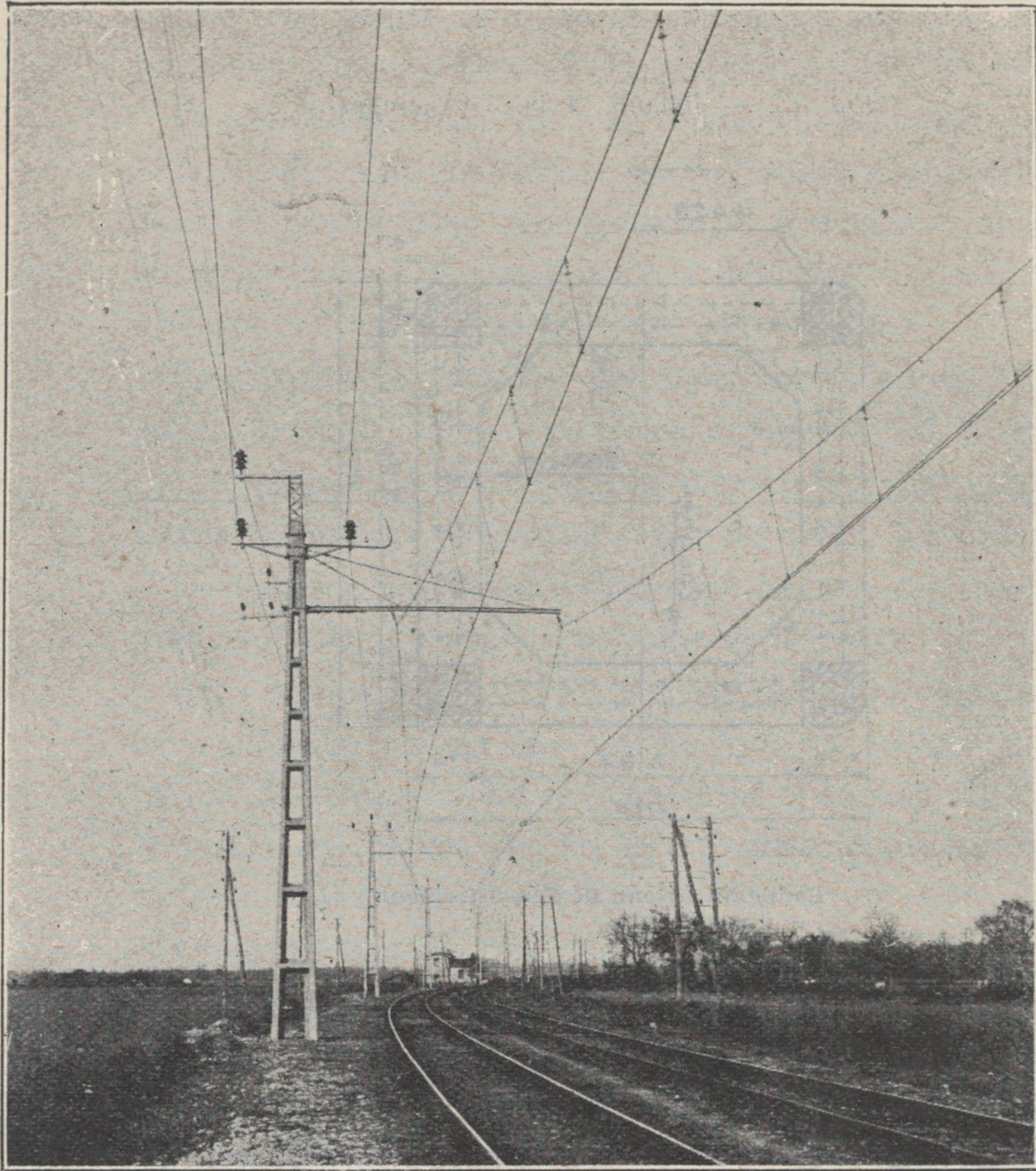


Fig. 46. — LIGNES A 60.000 VOLTS
ISOLATEUR COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRO-CÉRAMIQUE

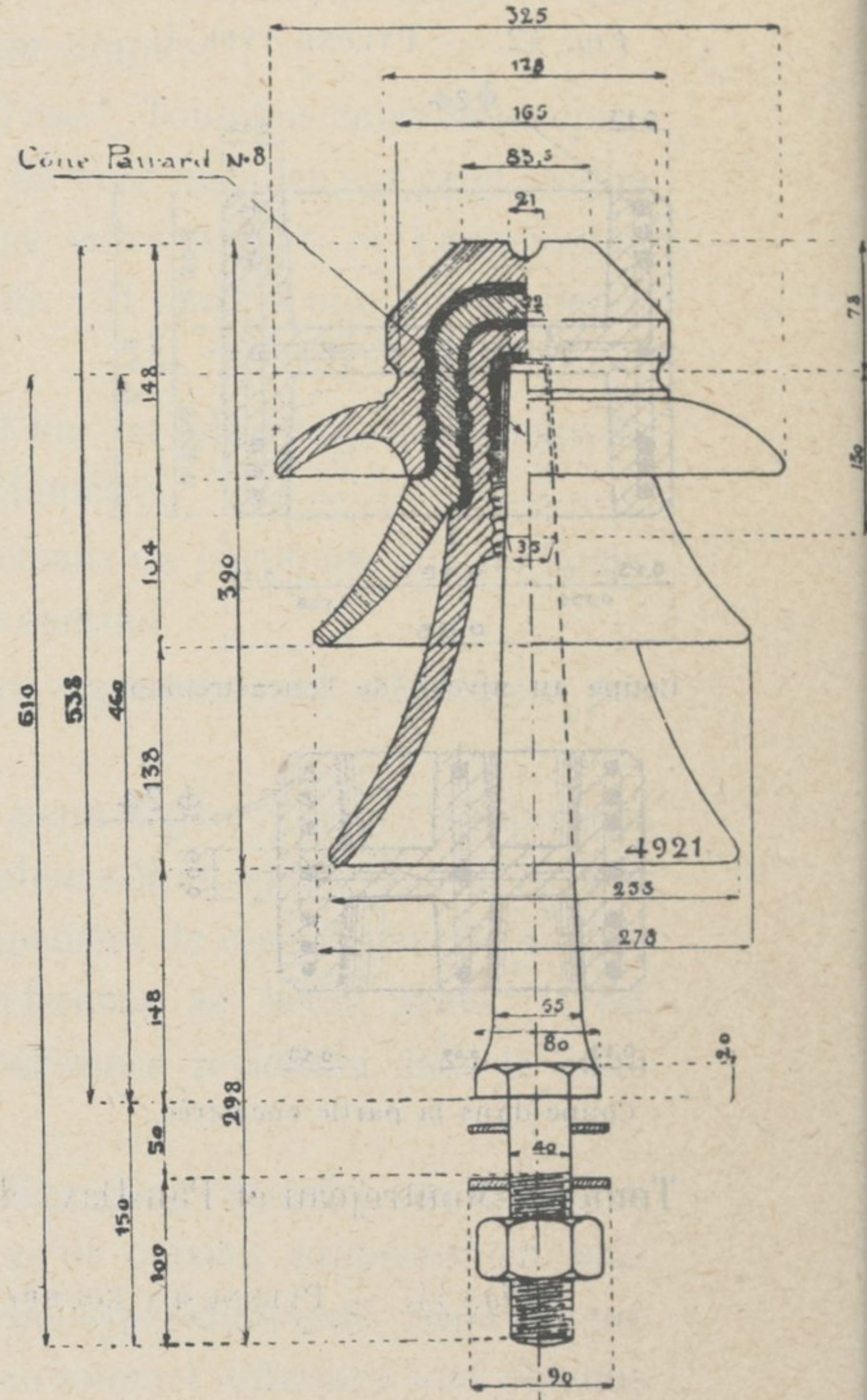


Fig. 47.

TYPE D'ISOLATEUR 10/13000^e ET 10/11000^e

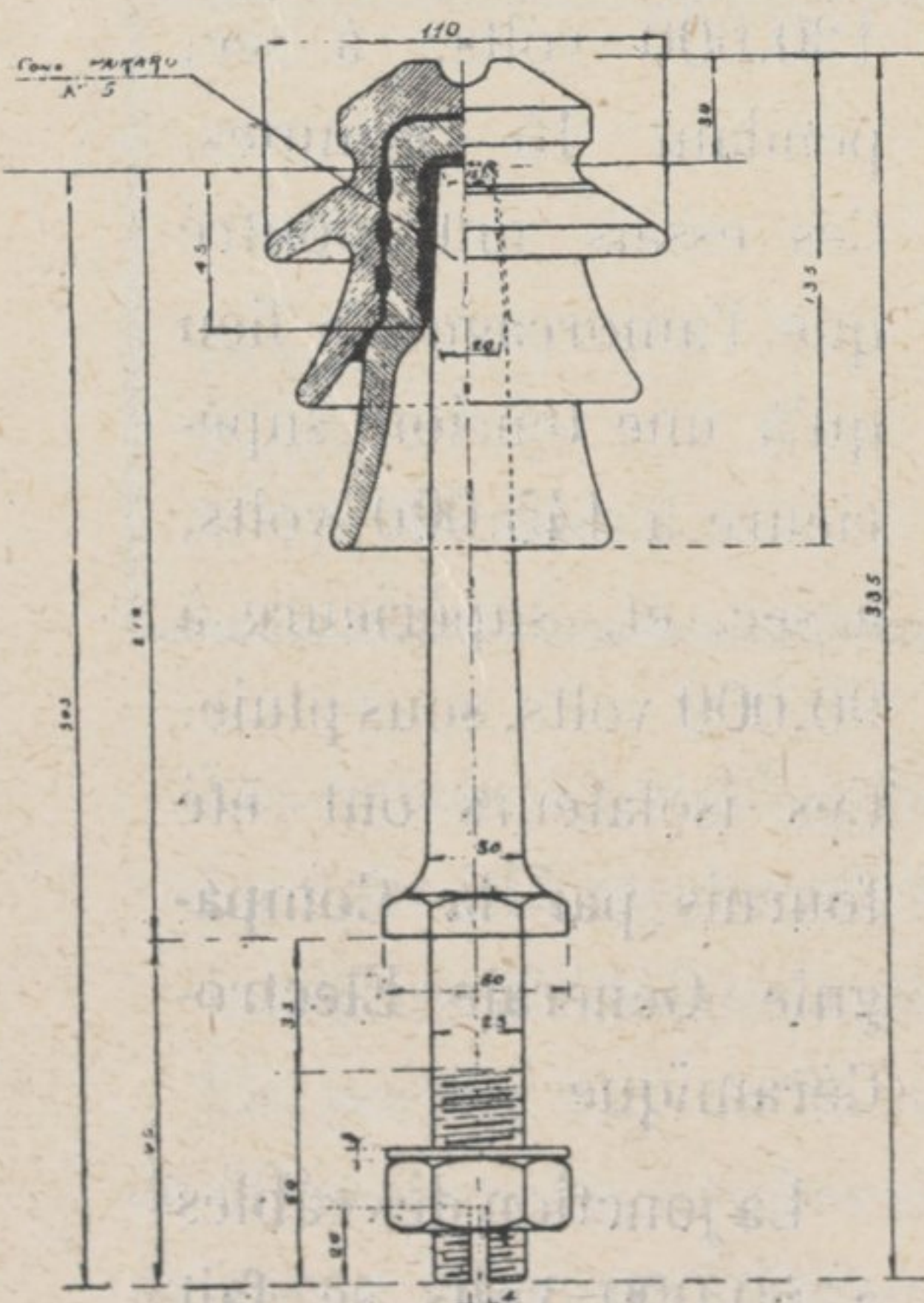
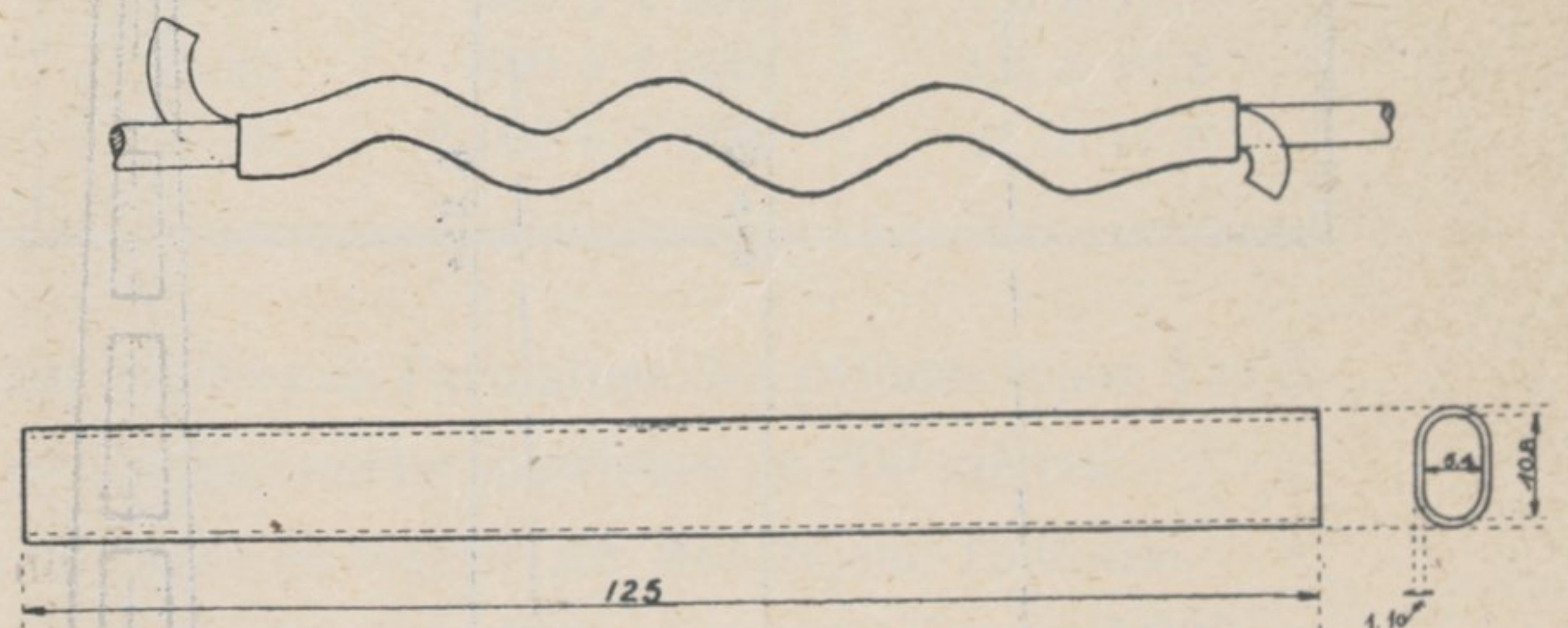


Fig. 48.

Manchon ovale pour jonction de fils 10.000^e



par manchons type Pairard, tout à fait analogue à ceux utilisés pour les lignes à 150.000 volts et dont il a été déjà parlé.

La ligne à 10.000 volts est montée sur isolateurs rigides en porcelaine, à l'extérieur du poteau par rapport à la voie. Ces isolateurs sont représentés figure 47. Lors de leur réception ils sont essayés à sec sous 40.000 volts. Leur tension d'amorçage est de 60.000 volts à sec et de 30.000 volts sous pluie.

La jonction des câbles à 10.000 volts se fait par manchons ovales type Pairard, représentés figure 48.

Les câbles à 60.000 volts et 10.000 volts sont à une hauteur minimum de 6 mètres au-dessus du sol. Cette hauteur est portée à 8 mètres aux passages à niveau. Il convient de noter que cette hauteur sera vraisemblablement, pour les lignes à venir, partout ramenée à 6 mètres en vertu d'une autorisation de dérogation.

En des points spéciaux, les pylônes en béton armé ont été remplacés par des pylônes métalliques.

Rotations. — En vue de réduire le plus possible l'influence électrostatique et électromagnétique des lignes à 60.000 et 10.000 volts sur les réseaux téléphoniques et télégraphiques voisins, des rotations de fils sont effectuées tous les 3 kilomètres à raison d'un tiers de tour par kilomètre.

CHAPITRE V. — SOUS-STATIONS DE TRACTION.

La puissance des sous-stations de traction et la distance entre sous-stations ont été déterminées par le trafic à assurer sur la section correspondante et le profil de cette dernière, en admettant une chute de tension maximum en ligne de 20 % en service normal, pour une section de feeders acceptable.

Les sous-stations sont en principe installées à proximité des gares. Cette solution conduit à une économie de main-d'œuvre en permettant de faire concourir le personnel de l'Exploitation au service des sous-stations.

La tension normale en charge aux barres des sous-stations est de 1.500 volts avec une tolérance de 5 % en plus.

La transformation du courant triphasé 60.000 volts, 50 périodes, en continu 1.500 volts se fait soit par commutatrices, soit par redresseurs à vapeur de mercure. L'utilisation de ces derniers appareils dans les sous-stations de Pau, Lourdes, Tarbes, Lannemezan et Montrejeau a permis de conserver les bâtiments construits lors de l'équipement en monophasé.

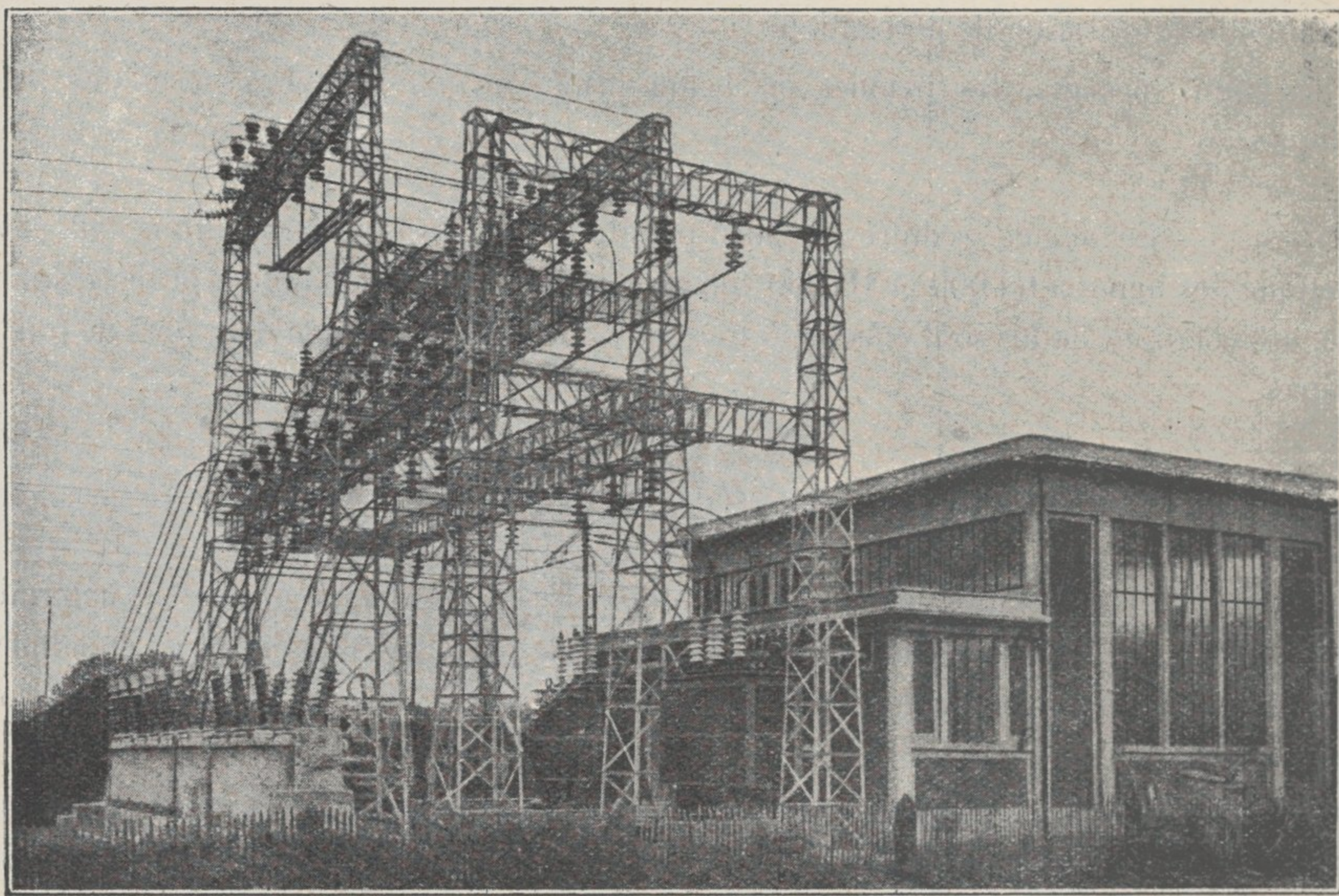
Les sous-stations à 60.000 volts, à l'exception des cinq précitées, sont toutes conçues suivant le même principe : haute tension à l'extérieur, basse tension à l'intérieur d'un bâtiment standard. La longueur de ce bâtiment varie avec le nombre de commutatrices installées, mais la coupe en travers reste la même. La figure 49 reproduit la photographie de la sous-station de Coarrazey-Nay à 3 groupes transformateur-commutatrice (un transformateur reste à installer).

Les sous-stations de Bagnères-de-Bigorre et de Cier-de-Luchon alimentées par des secteurs locaux, respectivement à 5.000 et 10.000 volts, sont du type intérieur.

Les sous-stations de traction réalisent des postes de coupure pour le Réseau à 60.000 volts. La planche V donne le schéma des connexions de la sous-station de Coarraze-Nay. L'alimentation est assurée des deux côtés, sauf bien entendu pour les sous-stations en bout d'embranchements en cul-de-sac. En cas d'avarie en un point d'une ligne à 60.000 volts, l'alimentation reste par suite assurée.

Le sectionnement des lignes à 60.000 volts se fait par des disjoncteurs construits par les Constructions Electriques de Delle. Ces disjoncteurs sont commandés directement par les agents en service dans les sous-stations ou automatiquement par relais comme nous le verrons quand

Fig. 49. — SOUS-STATION DE COARRAZE-NAY.



il sera parlé de la protection des installations à 60.000 volts. Ils sont tripolaires, du type extérieur dans l'huile. Prévus par une intensité normale de 300 ampères, ils peuvent couper jusqu'à 3.000 ampères. Chaque interrupteur unipolaire est à 6 ruptures en série.

Sur les barres à 60.000 volts sont branchées les dérivations conduisant aux transformateurs des groupes convertisseurs. Ces transformateurs, comme les disjoncteurs qui les protègent, sont du type extérieur.

Les groupes convertisseurs installés à l'intérieur du bâtiment sont de trois sortes :

- 1° Groupe formé d'un transformateur et de deux commutatrices à 750 volts en série.
- 2° Groupe formé d'un transformateur et d'une commutatrice à 1.500 volts directs.
- 3° Groupe formé d'un transformateur et de deux cylindres redresseurs à vapeur de mercure.

Nous allons décrire succinctement ces trois types.

1° *Groupe de 2 commutatrices à 750 volts, en série.* — Les deux commutatrices sont alimentées côté alternatif par le même transformateur. Ce dernier a deux enroulements secondaires, chaque enroulement alimentant une des commutatrices.

Montées en série côté continu, elles sont du type hexaphasé à caractéristique compound. Leur puissance en marche continue est de 750 kilowatts, à l'exception des groupes d'Arreau et de Soulom dont la puissance en marche continue est de 500 kilowatts.

Leurs dimensions ont été déterminées pour pouvoir supporter une surcharge de 50 % pendant deux heures sans échauffement de plus de 55° au-dessus de l'ambiante dans aucune de leurs parties, et une surcharge de 200 % pendant 5 minutes sans aucun dommage.

Le démarrage se fait sous tension réduite pour les machines fournies par les Etablissements Schneider et par les Forges et Ateliers de Constructions Electriques de Jeumont. Les machines fournies par la Compagnie Française Thomson-Houston sont munies d'un dispositif de démarrage dit « auto-synchronisant » par moteur en bout d'arbre. La mise en marche est réalisée par la simple manœuvre d'un inverseur ou de deux interrupteurs.

Les rendements garantis par les constructeurs sont les suivants :

Charge	4/4	3/4	2/4
Rendements : Machines Jeumont	93,8	93,5	92,5
— — Thomson.....	94,5	93,5	91
— — Schneider.....	93	92	90

Ces commutatrices sont établies de façon que la tension continue puisse être augmentée ou diminuée de 5 % de la tension normale (787 V,5) en agissant simplement sur l'excitation.

La tension continue reste sensiblement constante pour toutes les charges comprises entre la marche à vide et la marche avec surcharge de 100 %. Des bobines de self sont dans ce but intercalées entre transformateur et commutatrices. Ces bobines de compoundage sont du type ordinaire, à refroidissement naturel dans l'huile et sont capables de supporter les mêmes surcharges que les commutatrices. Les machines Jeumont et Schneider sont munies d'amortisseurs Leblanc.

Les transformateurs sont du type extérieur à refroidissement naturel dans l'huile. Ils comportent des prises supplémentaires permettant d'obtenir un rapport de transformation supérieur ou inférieur de 5 % au rapport de transformation normal. Les transformateurs Jeumont sont capables de fournir en marche continue une puissance minimum de 1.600 kva. Cette puissance est de 1.700 kva pour les transformateurs Thomson-Houston qui possèdent en outre un enroulement de 25 kva pour les services auxiliaires des sous-stations et de 1.140 kva pour les transformateurs Schneider. Ces transformateurs supportent les mêmes surcharges que les commutatrices. Les rendements garantis par les constructeurs sont les suivants :

Charges.....	4/4	3/4	2/4
Rendements : Transf. Jeumont avec $\cos \varphi = 1$	98,6	98,7	98,7
— — Thomson avec $\cos \varphi = 1$	98,2	»	97,5
— — Thomson avec $\cos \varphi = 0,8$	97,9	»	97,1
— — Schneider avec $\cos \varphi = 1$	98,8	97,8	97,8

2° *Groupes d'une commutatrice à 1.500 volts directs.* — Les commutatrices à 1.500 volts directs établies pour une fréquence de 50 périodes installées par la Compagnie des Chemins de fer du Midi sont les premiers spécimens réalisés jusqu'à ce jour de ce type de machines. Elles sont un remarquable résultat des progrès réalisés en ces toutes dernières années dans la construction des machines électriques. Ces machines offrent sur les groupes de 2 commutatrices à 750 volts en série les énormes avantages d'une plus grande simplicité dans la construction du transformateur et d'une réduction notable de l'importance de l'appareillage.

Les premières, d'une puissance de 750 kw, ont été livrées par la Compagnie Électro-Mécanique. Les suivantes, de 500 kw, le seront par les Ateliers de Constructions Électriques de Jeumont pour les sous-stations de Bagnères de Bigorre et de Cier de Luchon.

Les Constructions Électriques de France sont également prêtes à construire de telles machines.

Nous croyons intéressant de donner quelques renseignements au sujet des commutatrices à 1.500 volts de la Compagnie Électro-Mécanique, les premières livrées.

Commutatrices de la Cie Électro-Mécanique. — Du type hexaphasé à excitation shunt, ces machines sont munies d'une excitatrice séparée rendant l'excitation indépendante de la charge et offrant l'avantage en cas de variation de la tension alternative primaire, de surexciter ou de sous-exciter la machine, lui fournissant ou absorbant ainsi le courant déwatté nécessaire pour agir dans une certaine mesure en sens inverse de la variation de la tension primaire. Le rhéostat d'excitation permet de régler la tension de la commutatrice à une valeur quelconque entre 1.500 et 1.600 volts.

La chute de tension entre la marche à vide et la marche à pleine charge (750 kw) n'excède pas 5 %.

Ces commutatrices sont de dimensions telles qu'elles peuvent supporter sans échauffement nuisible des surcharges de 50 % pendant deux heures et de 200 % pendant 5 minutes.

Elles sont à 8 pôles ce qui correspond à une vitesse de 750 tours-minute.

La haute tension employée a nécessité des écartements relativement grands entre les parties sous courant et la masse. Les photographies de ces machines, reproduites figures 50 et 51 permettent en particulier, de voir l'écartement appréciable des bagues entre elles et la masse. Cette haute tension a également conduit à donner au collecteur des dimensions spéciales. De ce fait et en raison de la vitesse périphérique très grande à réaliser, la construction de ce collecteur offrait des difficultés particulières.

Le démarrage est obtenu à l'aide d'un moteur asynchrone triphasé monté en bout d'arbre et alimenté à 1.250 volts par le transformateur de la commutatrice, à rotor bobiné et couplage ouvert, tournant au synchronisme à 1.000 tours-minute. Ce moteur accouplé élastiquement à la commutatrice ne figure pas sur les photographies données. Le démarrage dure de 1 minute à 1 minute 1/2.

La commutatrice est munie d'un dispositif à force centrifuge destiné à la mettre hors circuit en cas d'emballement dépassant de 15 % la vitesse normale.

La machine est calculée pour marcher en récupération et rendre au réseau une puissance pouvant atteindre 75 % de la puissance normale. Les commutatrices de ce type installées à

Fig. 50. — COMMUTATRICE DE LA COMPAGNIE ÉLECTRO-MÉCANIQUE 750 kw 1.500 v. DIRECTS
(Côté alternatif).

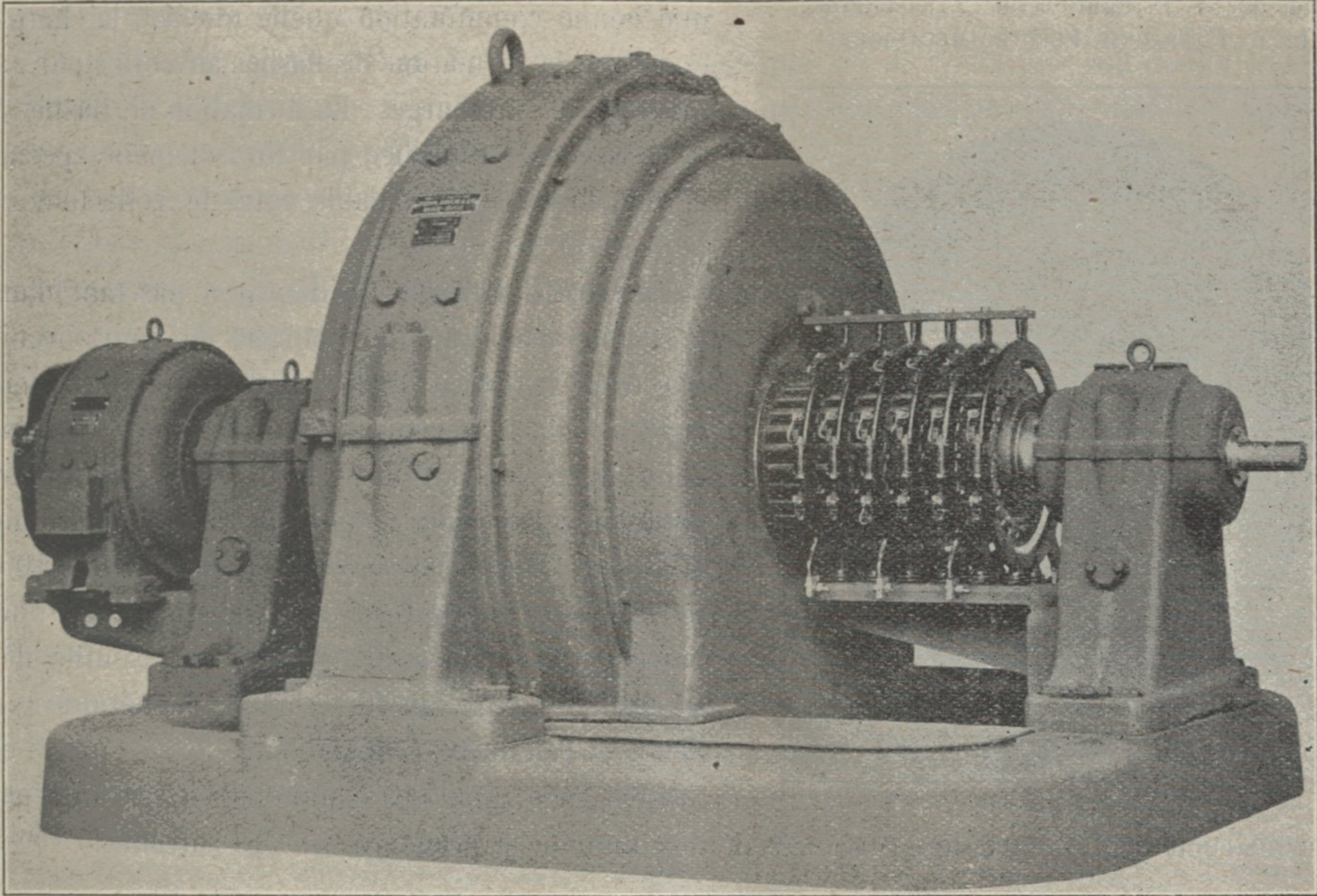
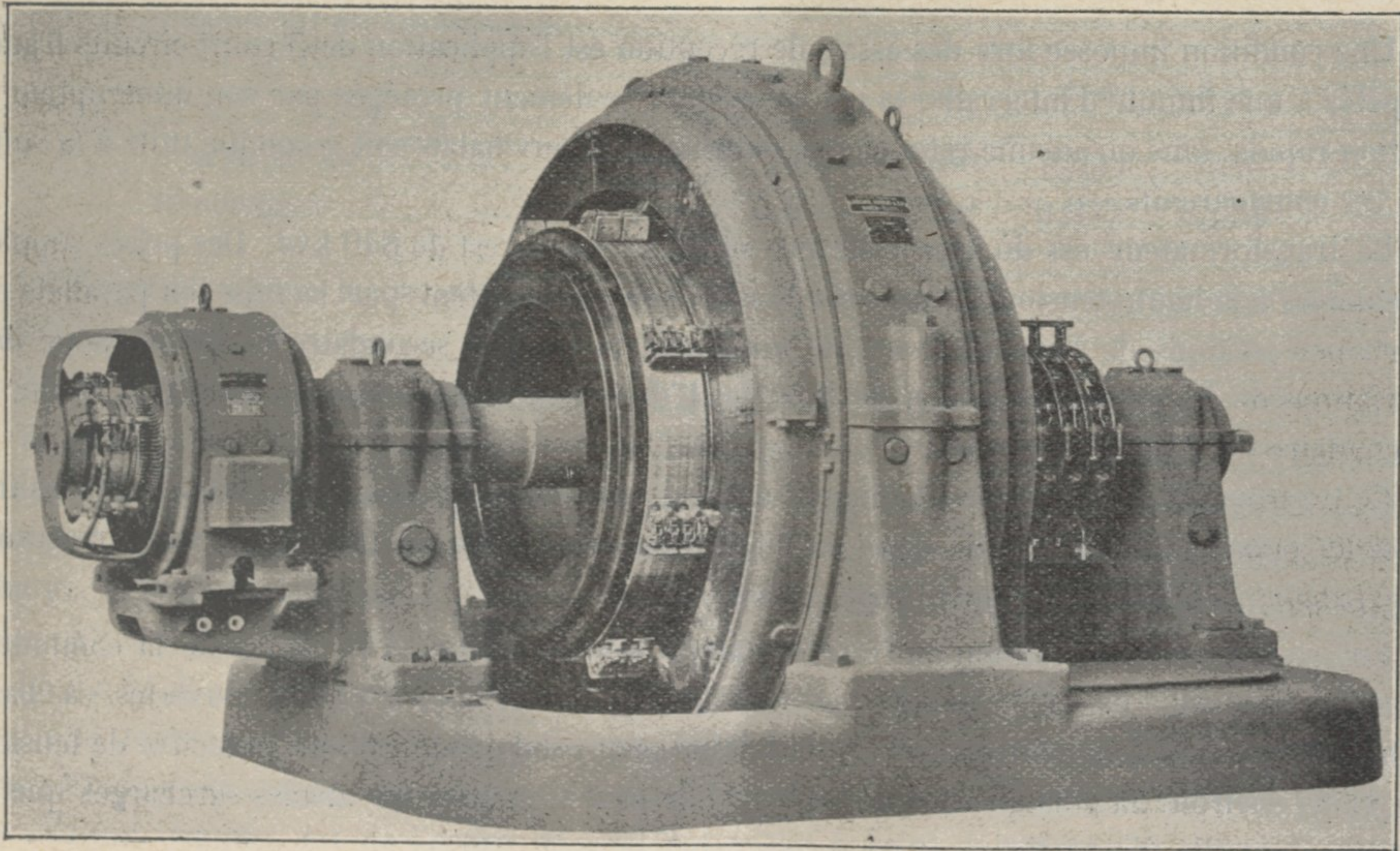
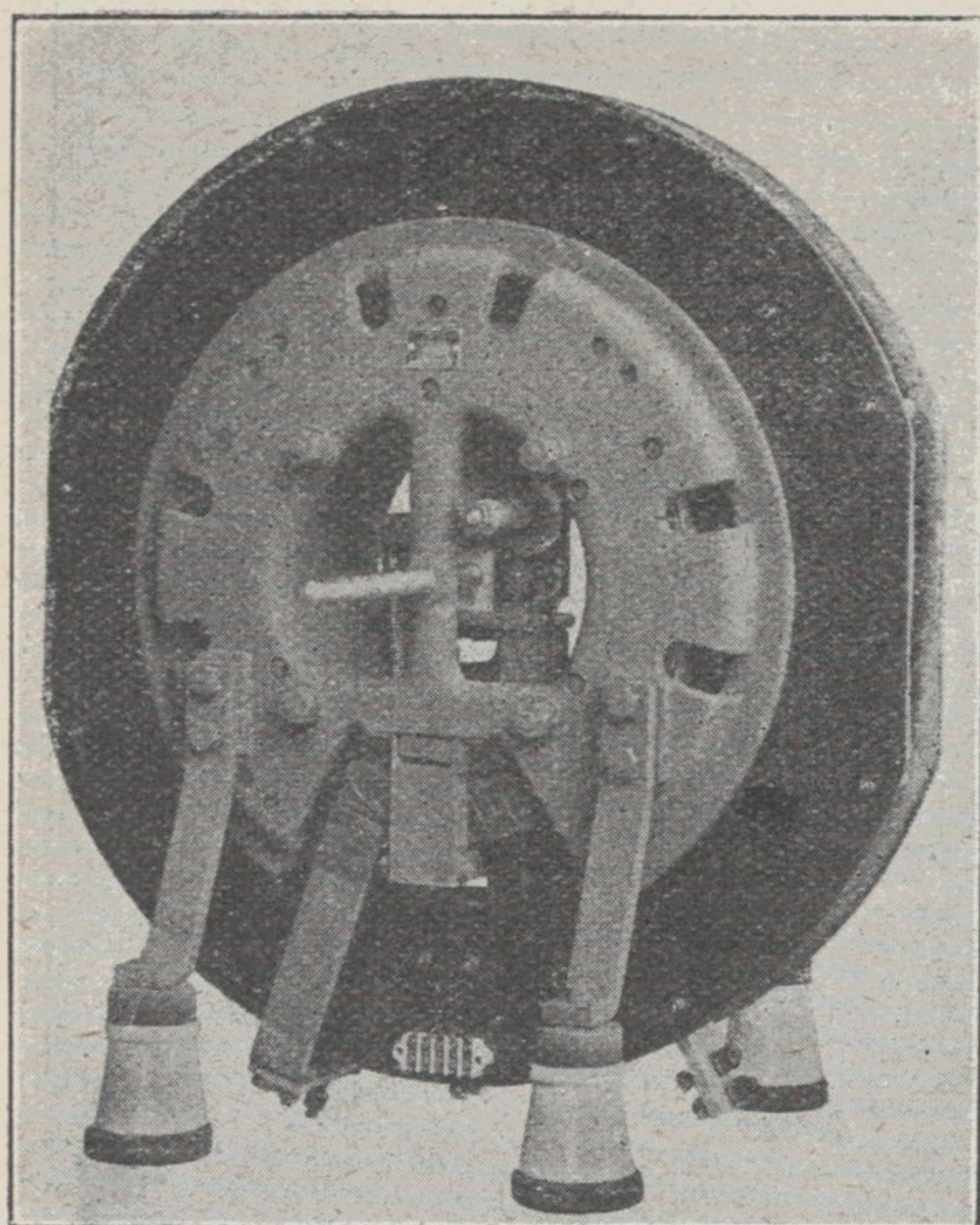


Fig. 51. — COMMUTATRICE DE LA COMPAGNIE ÉLECTRO-MÉCANIQUE. 750 kw 1.500 v. DIRECTS
(Côté continu).



Tournay et Coarraze-Nay doivent marcher en parallèle avec les redresseurs à vapeur de mercure des sous-stations voisines et leur caractéristique a été établie en conséquence.

Fig. 52. — INTERRUPTEUR EXTRA-RAPIDE DE LA COMPAGNIE ÉLECTRO-MÉCANIQUE.



Des pôles auxiliaires de commutations assurent une bonne commutation quelle que soit la charge et évitent la formation de flashes au collecteur au moment des surcharges. La formation de flashes à la masse est empêchée par un isolement spécial et une distance convenable entre le collecteur et la masse.

La cause des flashes résidant non pas tant dans la valeur maximum du courant de court-circuit que dans la durée de ce court-circuit, un interrupteur à action rapide est monté côté courant continu en vue de limiter cette durée. Cet interrupteur dont nous donnons la photographie (Fig. 52), déclenche automatiquement en $1/100^e$ de seconde. La rupture de l'arc a lieu dans l'air entre deux écrans isolants. L'arc est soufflé dès sa production par un fort champ magnétique qui l'étale et l'éteint très rapidement.

Les rendements des commutatrices garantis par le constructeur et obtenus lors des essais de réception de la première sont les suivants :

Charge.....	6/4	4/4	3/4	2/4
Rendements garantis.....	95,1	94,4	93,7	91,7
Rendements obtenus.....	96,1	95,1	94	93,7

Une condition imposée lors des essais de réception est l'application de 5 court-circuits francs répétés à une minute d'intervalle, la machine étant seulement protégée par son interrupteur à action rapide, sans qu'aucune retouche au collecteur ou aux balais soit reconnue utile à la suite de ces court-circuits.

Le transformateur est du type extérieur et sa puissance est de 840 kva. Des prises supplémentaires à la haute tension, placées sur le couvercle, permettent par la mise en parallèle de certaines portions de l'enroulement, de maintenir la tension secondaire constante pour des variations de la tension primaire de 2,5 %. L'enroulement primaire est monté en étoile, le secondaire est à phases ouvertes.

Ce transformateur est à refroidissement naturel dans l'huile et est muni de tous les dispositifs récents pour maintenir l'huile dans les meilleures conditions de fonctionnement : réservoir d'expansion, robinetterie pour filtrage, etc...

Les six bornes basse tension du transformateur sont connectées aux bagues de la commutatrice en passant par une bobine de self du type intérieur, à phases ouvertes, à bain d'huile et à refroidissement naturel. Cette bobine peut produire une chute inductive de tension de 12 % environ. Sa puissance est de 90 kva. Elle peut supporter les mêmes surcharges que le groupe dont elle fait partie.

3° *Groupes de redresseurs à vapeur de mercure.* — Ces groupes ont été livrés par la Compagnie Électro-Mécanique. Chaque groupe comprend un transformateur et deux cylindres redresseurs à 6 anodes montés en dodécaphasé. La planche VI donne le schéma du montage des trois groupes de la sous-station de Lourdes.

La puissance de chaque groupe en marche indéfinie est de 1.200 kw, soit de 600 kw par cylindre, à la tension de 1.575 volts. Ils peuvent supporter une surcharge de 50 % rendant deux heures et de 200 % pendant cinq minutes.

Le transformateur est à bain d'huile avec refroidissement naturel du type pour montage à l'intérieur. Le primaire est connecté en étoile et le secondaire est dodécaphasé avec quatre ponts neutres sortis de la cuve pour l'insertion des bobines de self d'absorption.

Les cylindres sont refroidis par circulation d'eau forcée dans une enveloppe les entourant. La réfrigération des anodes est assurée par rayonnement. En cas de température exagérée des cylindres, un dispositif d'alarme actionne une sonnerie électrique et agit ensuite sur le disjoncteur côté continu.

Le vide dans les cylindres est obtenu par une pompe rotative à huile menée par moteur asynchrone triphasé alimenté sous 200 volts, fréquence 50. Ce vide est parfait par une pompe statique à mercure. Un indicateur de vide permet à chaque instant de contrôler le vide régnant dans les cylindres. L'étanchéité est assurée par des joints de mercure et d'amiante.

Les cylindres sont en tôle d'acier de première qualité et d'une homogénéité parfaite. Cet acier doit offrir une grande résistance à l'action oxydante et corrosive de l'eau de réfrigération.

Les rendements propres des redresseurs obtenus aux essais de réception en usine ont été les suivants :

Charge.....	<u>6/4</u>	<u>4/4</u>	<u>2/4</u>	<u>1/4</u>
Rendements.....	0,969	0,972	0,974	0,97

Les rendements globaux des groupes transformateur-redresseurs obtenus aux essais de réception en usine ont été les suivants :

	<u>6/4</u>	<u>4/4</u>	<u>2/4</u>	<u>1/4</u>
Charge en kw.....	1.800	1.200	600	600
Rendements.....	0,95	0,952	0,947	0,932

La figure 53 donne la caractéristique en charge d'un groupe transformateur-redresseurs relevée au cours d'essais.

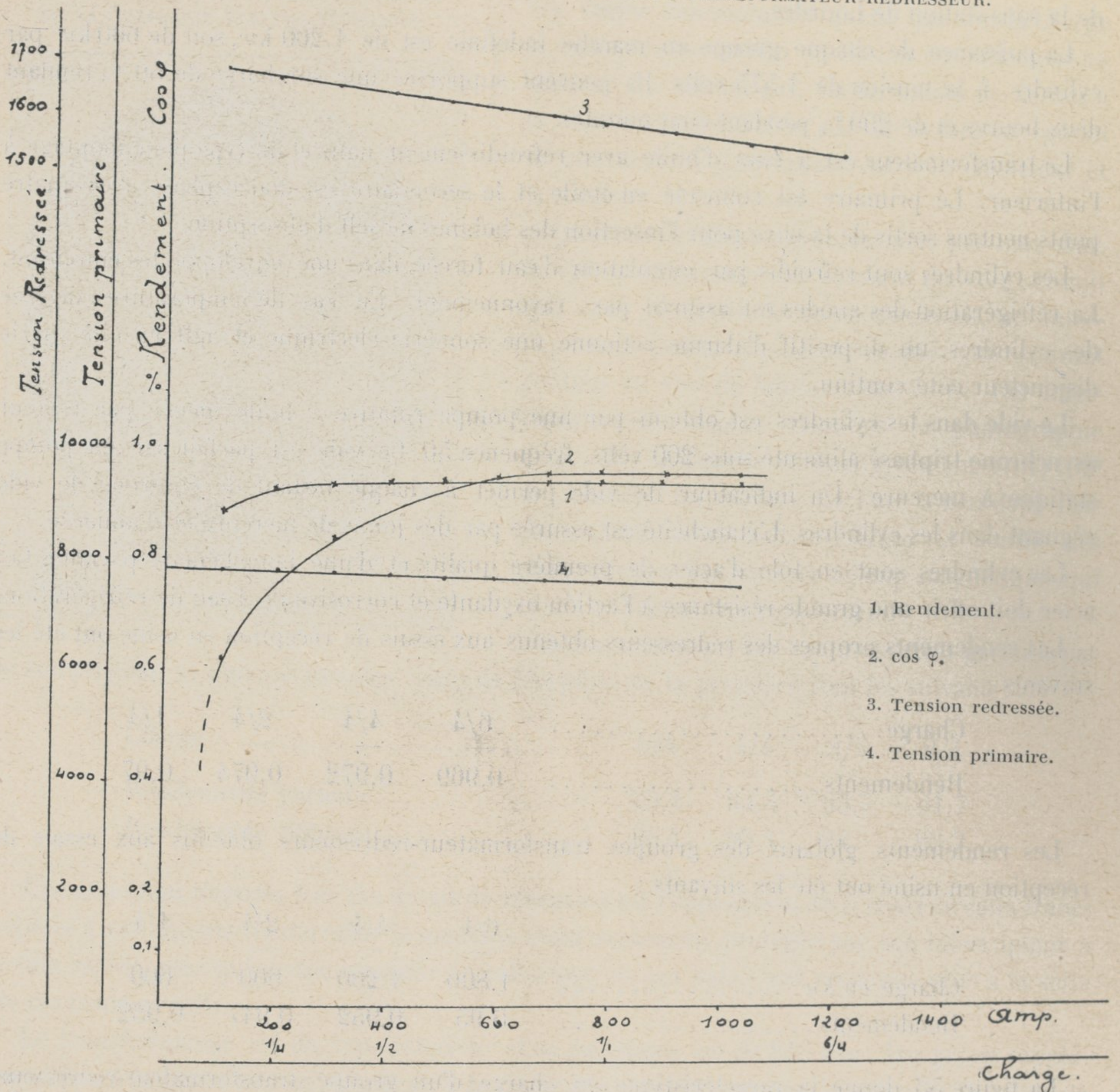
Le vide dans les cylindres variait de 0,002 à 0,03 millimètre de mercure.

En passant de la pleine charge à 10 % de la charge, soit de 1.200 kw à 120 kw, l'augmentation de tension du courant redressé ne dépasse pas 7 %. Cette variation est linéaire depuis la charge de 120 kw jusqu'à une surcharge de 200 %. La courbe jointe donne en fonction de la charge, la tension redressée et le rendement. Au-dessous de la charge de 10 %, la caractéristique cesse d'être linéaire et se relève plus rapidement.

La fig. 54 donne un relevé oscillographique effectué au cours des essais, le redresseur débitant sur une résistance liquide. Le coefficient d'ondulation du courant redressé, quotient de l'amplitude de la composante alternative qui se superpose au courant continu par la valeur de ce courant continu, est de l'ordre de 7 % supérieur à celui débité par les commutatrices à

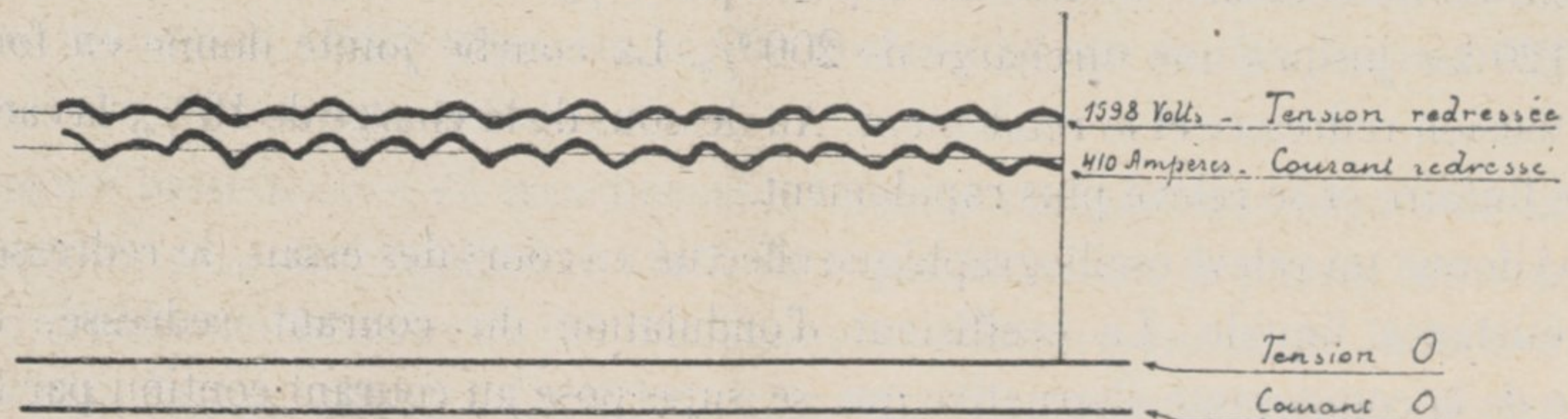
1.500 volts directs des sous-stations de Tournay et Coarraz-Nay, fonctionnant en parallèle avec les redresseurs.

Fig. 53. — CARACTÉRISTIQUE EN CHARGE D'UN GROUPE TRANSFORMATEUR-REDRESSEUR.



Lors des essais de réception en usine les redresseurs ont supporté 10 court-circuits francs, répété à 1 une minute d'intervalle sans en souffrir. Chaque groupe est protégé par un interrupteur

Fig. 54. — RELEVÉ OSCILLOGRAPHIQUE EFFECTUÉ SUR UN REDRESSEUR AU COURS D'ESSAIS.

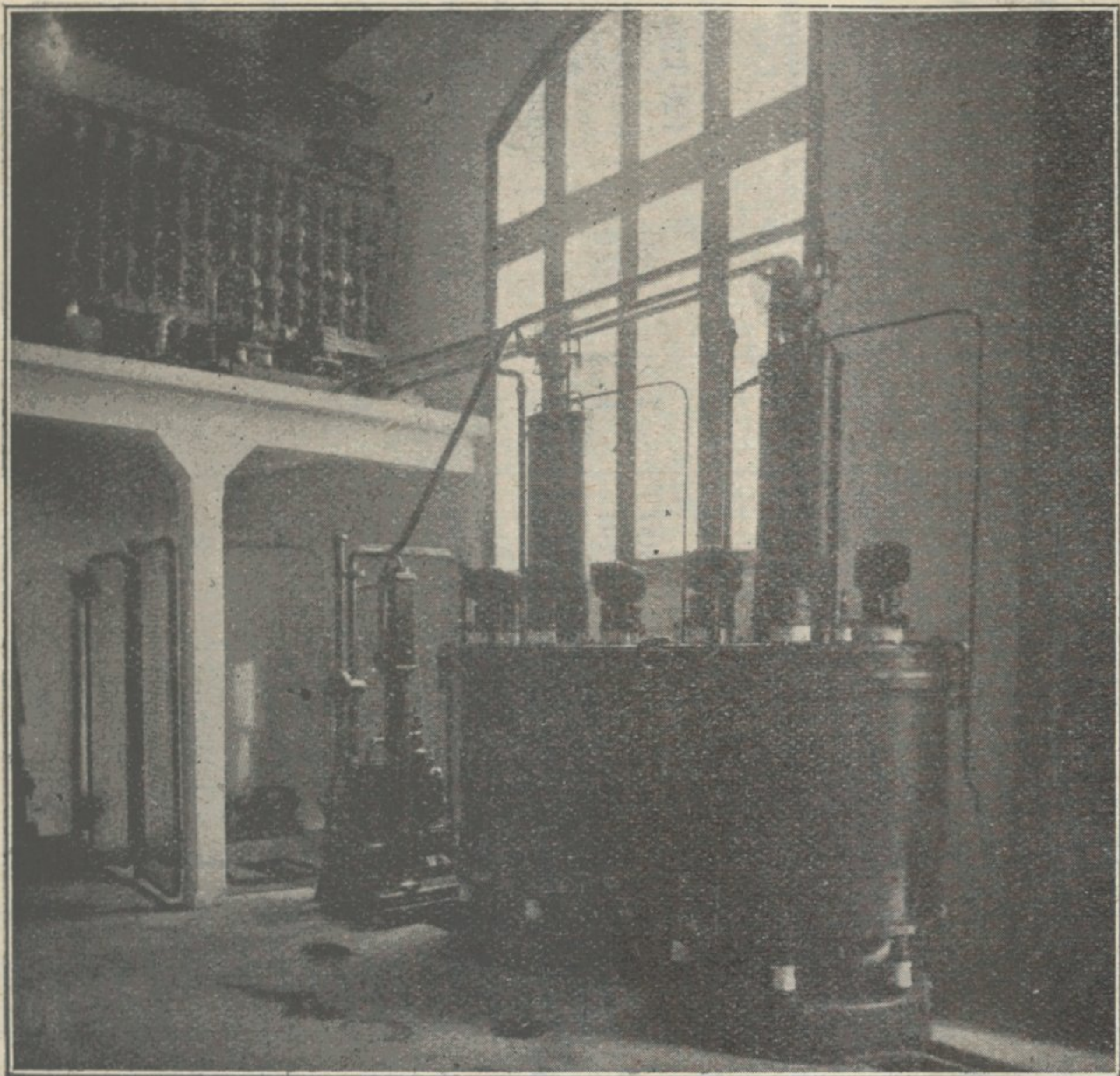


extra rapide identique à celui utilisé pour les commutatrices à 1.500 volts directs.

La facilité d'installation des redresseurs a permis d'utiliser les bâtiments déjà construits, avant la guerre, pour le montage des sous-stations monophasées. Leur emploi a permis de ce fait de réaliser une économie importante. En outre, du fait de leur simplicité de service, de leurs frais d'entretien réduits, de leur rendement élevé à toutes charges, de leur insensibilité aux court-circuits, ces appareils sont particulièrement intéressants pour un service de traction. Les

Fig. 55.

SOUS-STATION DE LOURDES. — GROUPE DE DEUX CYLINDRES REDRESSEURS.



seules machines rotatives, pompes à vide et groupe d'amorçage fonctionnent au plus quelques minutes par jour.

La figure 55 reproduit la photographie du groupe de deux cylindres en cours de montage à la sous-station de Lourdes. Sur la gauche des cylindres on remarque les pompes à vide, et sur une plateforme en maçonnerie, les réfrigérants d'eau de circulation et la pompe de circulation.

L'appareillage courant continu des sous-stations est de types normaux.

Les sous-stations ne possèdent pas d'ateliers de réparations. Les réparations

importantes de même que les opérations de filtrage et de séchage d'huile des transformateurs et disjoncteurs, seront effectuées dans les ateliers des postes 150.000/60.000 volts.

Toutefois le traitement des huiles pourra, si nécessaire, être effectué sur place à l'aide d'un wagon spécial amené à pied-d'œuvre et muni des installations nécessaires : réservoirs, filtre-presses, pompe, etc.

Les manutentions dans les sous-stations se font à l'aide de lorrys, sur voie normale raccordée aux voies de la gare proche, et à l'aide de palans.

Le tableau ci-après donne la distance entre sous-stations sur la section Toulouse-Dax et indique l'armement de chacune d'elles ainsi que l'armement des sous-stations d'embranchement.

Les profils des lignes sont donnés planche VII avec indication des emplacements des sous-stations et des sections de feeders.

SOUS-STATIONS DE LA LIGNE DAX-TOULOUSE ET EMBRANCHEMENTS

SOUS-STATIONS] et distance entre SOUS-STATIONS	GROUPES DE TRACTION					TRANSFORMATEURS 60.000/10.000 volts pour l'alimentation du circuit 10.000 volts			SERVICES AUXILIAIRES		
	NATURE D'UN GROUPE	Nombre	Puissance installée kws	Tension d'alimen- tation	FOURNISSEUR	Puissance unitaire kva	Nombre	Puissance totale kva	COURANT TRIPHASE 200/115 VOLTS		Courant continu
									MODE DE PRODUCTION		
DAX 30 km.	2 commut. de 750 kws en série...	3	4.500	60.000	Thomson	250	2	500	1 transformateur 10.000/200/115 1 enroulement tertiaire de 25 kva par transformateur principal.....	200	360
PUYOO 28 km.	2 commut. de 750 kws en série...	2	3.000	60.000	d°	250	1	250		75	
LACQ 25 km.	2 commut. de 750 kws en série...	1	1.500	60.000	Jeumont	»	»	»	1 transformateur 560/200/115.....	11	100
PAU 16 km.	2 redresseurs de 600 kws.....	3	3.600	60.000	Electro-Méc.	3.600	1	3.600	1 transformateur 10.000/200/115....	40	100
COARRAZE-NAY 12 km.	1 commut. de 750 kws à 1.500 V.	3	2.250	60.000	d°	»	»	»	1 transformateur 10.000/200/115....	15	150
LOURDES..... 21 km.	2 redresseurs de 600 kws.....	3	3.600	60.000	d°	»	»	»	1 transformateur 10.000/200/115....	40	100
TARBES..... 18 km.	2 redresseurs de 600 kws.....	3	3.600	60.000	d°	3.600	1	3.600	1 transformateur 10.000/200/115....	40	100
TOURNAY... 18 km.	1 commut. de 750 kws à 1.500 V.	4	3.000	60.000	d°	»	»	»	1 transformateur 10.000/200/115....	15	150
LANNEMEZAN 17 km.	2 redresseurs de 600 kws.....	4	4.800	60.000	d°	250	2	500	2 transformateurs 10.000/200/115 de 120 kva.....	240	280
MONTREJEAU 23 km.	2 redresseurs de 600 kws.....	3	3.600	60.000	d°	500 250	2 1	1.000 250		120	
LABARTHE... 24 km.	2 commut. de 750 kws en série...	1	1.500	60.000	Thomson	»	»	»	1 enroulement tertiaire de 25 kva au transformateur principal.....	25	100
CAZÈRES..... 22 km.	2 commut. de 750 kws en série...	1	1.500	60.000	d°	250	1	250	1 enroulement tertiaire de 25 kva au transformateur principal.....	25	100
LONGAGES... 32 km.	2 commut. de 750 kws en série...	1	4.500	60.000	Jeumont	»	»	»	1 transformateur 560/200/115.....	11	100
EMPALOT	2 commut. de 750 kws en série...	3	4.500	60.000	d°	1.800	1	1.800	1 transformateur 560/200/115.....	18	100
ARREAU	2 commut. de 500 kws en série...	1	1.000	60.000	Schneider	»	»	»	1 transformateur 560/200/115.....	10	100
SOULOM	2 commut. de 500 kws en série...	1	1.000	10.000	d°	»	»	»	Services auxiliaires de l'usine.....	»	»
BAGNÈRES	1 commut. de 500 kws à 1.500 V.	2	1.000	5.000	Jeumont	»	»	»	1 transformateur 5.000/200/115.....	16	80
LUCHON	1 commut. de 500 kws à 1.500 V.	2	1.000	10.000	d°	»	»	»	1 transformateur 10.000/200/115....	16	80
PUCHOTZ	1 commut. de 200 kws à 1.200 V.	3	1.000	10.000	d°	»	»	»	1 transformateur 10.000/500/112....	10	80
BAGNÈRES	1 commut. de 200 kws à 1.200 V.	3	1.000	2.000	Jeumont	»	»	»	1 transformateur 2.000/500/112....	10	80

NOTE

SUR

l'Électrification des Chemins de Fer du Midi

PAR

M. P. LÉBOUCHER,

INGÉNIEUR EN CHEF

M. H. LEDOUX,

INGÉNIEUR PRINCIPAL

DES SERVICES TECHNIQUES DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DE LA COMPAGNIE DU MIDI.

(Pl. VIII).

(Suite ⁽¹⁾).CHAPITRE VI. — PROTECTION DES INSTALLATIONS A 60.000 VOLTS
CONTRE LES SURINTENSITÉS ET CONTRE LES SURTENSIONS**Protection contre les surintensités.**

Comme nous l'avons vu, les lignes simples constituant le réseau à 60.000 volts, réunissent entre eux les postes à haute tension et alimentent sur leur parcours, lequel longe la voie ferrée, les sous-stations de traction. De certaines de ces dernières partent des lignes, également à 60.000 volts, et destinées à l'alimentation d'embranchements.

La planche VIII donne le schéma des installations à 60.000 volts entre Toulouse et Dax.

La protection de ces installations a été réalisée en vue de limiter le plus possible les conséquences d'une avarie en un point quelconque. Une avarie survenant sur une ligne ou dans une sous-station est immédiatement localisée par le jeu automatique de disjoncteurs mettant hors circuit la partie avariée. Pour ce faire, les disjoncteurs sont commandés par des relais sélectifs de trois types différents :

1^o Relais à maximum unidirectionnels Westinghouse type « CR » pour la commande des disjoncteurs installés sur les arrivées ou départs de lignes.

(1) Voir *Revue Générale*, n^{os} de Mars et de Mai 1923.

2° Relais à maximum montés directement sur les disjoncteurs pour la commande des disjoncteurs protégeant les transformateurs de puissance.

3° Relais à maximum Westinghouse type « CO » pour la commande des disjoncteurs installés sur les jeux de barres des sous-stations.

Le principe des relais « CR » et « CO » a été exposé au cours de l'étude de la protection des installations à 150.000 volts et nous n'y reviendrons pas. Nous nous bornerons à rappeler que les relais « CR » ne fonctionnent que pour un sens de courant et au bout d'un temps réglable, alors que les relais « CO », également réglables en temps, limitent l'intensité du courant quel que soit le sens de transport d'énergie.

Dans l'étude de la protection, chaque centre de distribution : poste haute tension 150.000/60.000, et chaque centre d'utilisation : sous-station de traction, a été traité comme centre producteur d'énergie et on a limité sur chacun des départs d'un tel centre la puissance qui peut être demandée à ce centre.

Ceci posé, le choix des relais, leur montage et leur réglage sont faits d'après les principes ci-après :

a) Le fonctionnement en temps des relais « CR » des sous-stations comprises entre deux centres de distribution A et B est réglé de telle sorte que le disjoncteur de chacune de ces sous-stations, placé sur l'arrivée de l'énergie en provenance du centre A, déclenche d'autant plus vite que la sous-station est située plus près de ce poste A. De même les disjoncteurs placés sur les arrivées 60.000 volts côté B fonctionnent d'autant plus lentement qu'ils sont plus éloignés de B.

b) Les relais « CR » situés sur les départs 60.000 volts des lignes d'embranchement sont réglés pour fonctionner dans tous les cas avant les autres relais « CR » ou « CO » des sous-stations munies de ces départs.

c) Les relais « CO » sont réglés pour fonctionner toujours avant les relais « CR » de la même sous-station (à l'exception cependant des relais « CR » installés sur les départs alimentant les sous-stations d'embranchements, comme il vient d'être dit au paragraphe précédent).

d) Les relais directs commandant les disjoncteurs qui protègent les transformateurs de puissance sont réglés pour fonctionner instantanément et par suite avant tout autre type de relais.

e) Dans les sous-stations à deux jeux de barres on branche autant que possible, sur chacun des deux jeux, le même nombre de groupes d'utilisation d'énergie, de départs ou d'arrivée haute tension. La sélection est en quelque sorte complétée par cette mesure ; en cas d'avarie la moitié des groupes d'utilisation reste de ce fait en service.

Nous allons envisager les diverses avaries qui peuvent se produire et étudier dans chaque cas le fonctionnement de la protection.

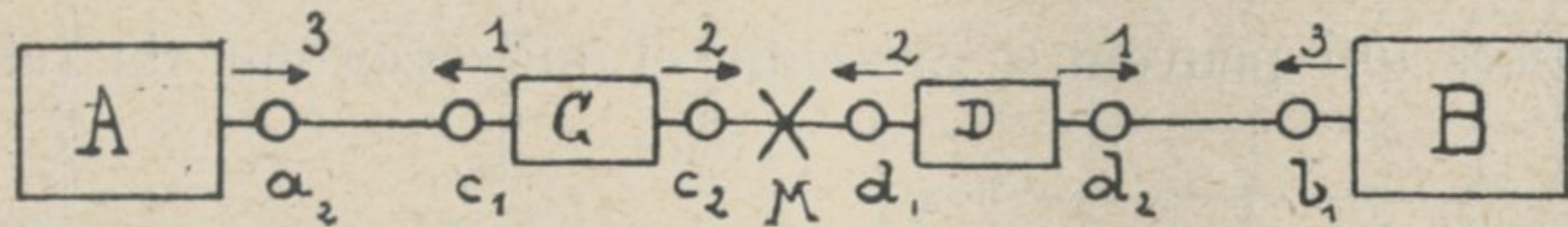
1°. Avarie sur une ligne de transport à 60.000 volts.

Si une telle avarie se produit entre deux sous-stations, les disjoncteurs situés aux extrémités de cette portion de ligne déclenchent seuls sous l'action des relais « CR » qui les commandent. Supposons par exemple une avarie survenant entre les deux sous-stations C et D intercalées entre les deux centres de distribution (Postes HT) A et B (Fig. 56). Les relais « CR » a_2 , c_1 , c_2 , d_1 , d_2 , b_1 , fonctionnent pour un sens du courant indiqué par les flèches et sont réglés pour

fonctionner au bout de temps respectifs dans les mêmes rapports de durées que les nombres 3, 1, 2, 2, 1, 3.

Un court-circuit en M produit un afflux de courant de A vers M et le relais c_2 , réglé pour le

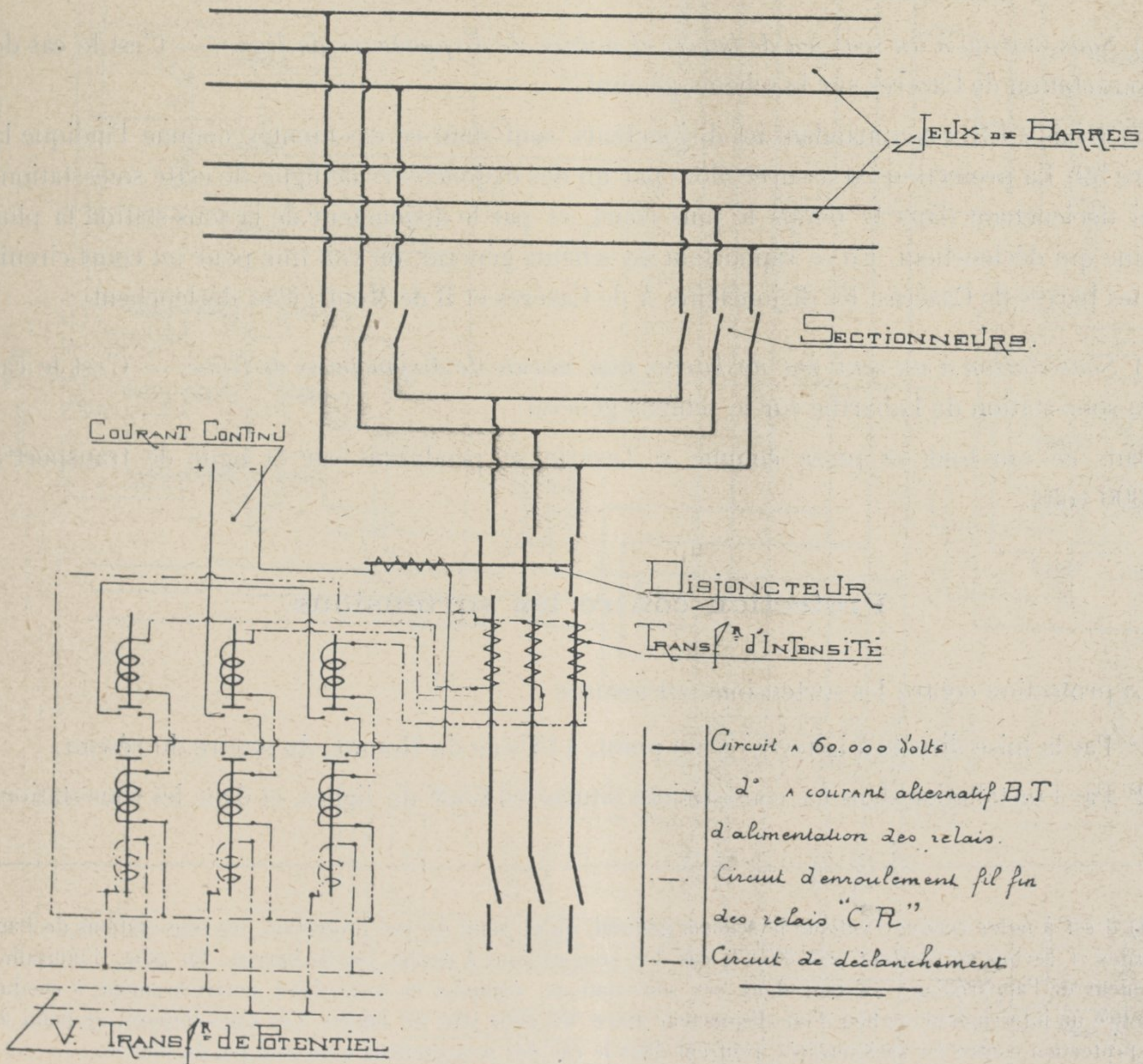
Fig. 56.



temps le plus court et pour cette direction de courant, déclenche le premier. De même l'afflux de courant de B vers M produit le déclenchement du relais d_1 . Le fonctionnement de ces deux relais met hors circuit la portion de ligne avariée et elle seule.

La Figure 57 indique le montage des relais « CR » pour protection d'une arrivée ou d'un départ.

Fig. 57. — MONTAGE DES RELAIS « CR » POUR PROTECTION D'UNE ARRIVÉE OU D'UN DÉPART.



2°. Avarie à l'intérieur d'une sous-station.

Si l'avarie se produit sur un transformateur de puissance, ce transformateur est immédiatement mis hors circuit par le disjoncteur qui le protège et qui est commandé par relais directs.

Si l'avarie se produit sur les barres à 60.000 volts, il convient d'examiner séparément chacun des trois cas particuliers qui peuvent se présenter et qui ressortent du schéma général de la planche VIII.

a) *Sous-station à deux jeux de barres (1).* — C'est le cas par exemple de la sous-station de Puyô. La protection est assurée alors comme l'indique la figure 58.

Le jeu de barres avarié est mis hors circuit par le fonctionnement :

1° D'abord du disjoncteur situé entre les deux jeux de barres et qui déclenche le premier sous l'action du relais « CO » qui le commande.

2° Puis du disjoncteur situé sur le départ de la sous-station voisine qui est reliée au jeu de barres intéressé par l'avarie.

b) *Sous-station à un seul jeu de barres et munie de disjoncteurs de ligne.* — C'est le cas de la sous-station de Cazères sur le schéma général.

Les relais « CR » commandant les disjoncteurs sont dans ce cas montés comme l'indique la figure 59. La protection est assurée alors par un des disjoncteurs de ligne de cette sous-station, celui déclenchant dans le temps le plus court, et par le disjoncteur de la sous-station la plus voisine qui déclenche. En se rapportant au schéma général, on voit que pour un court-circuit sur les barres de Cazères, les disjoncteurs A de Cazères et B de Montréjeau déclenchent.

c) *Sous-station à un seul jeu de barres non munie de disjoncteurs de ligne.* — C'est le cas de la sous-station de Labarthe sur le schéma général.

Dans ce cas tout se passe comme si l'avarie se produisait sur la ligne de transport à 60.000 volts.

Protection contre les surtensions.

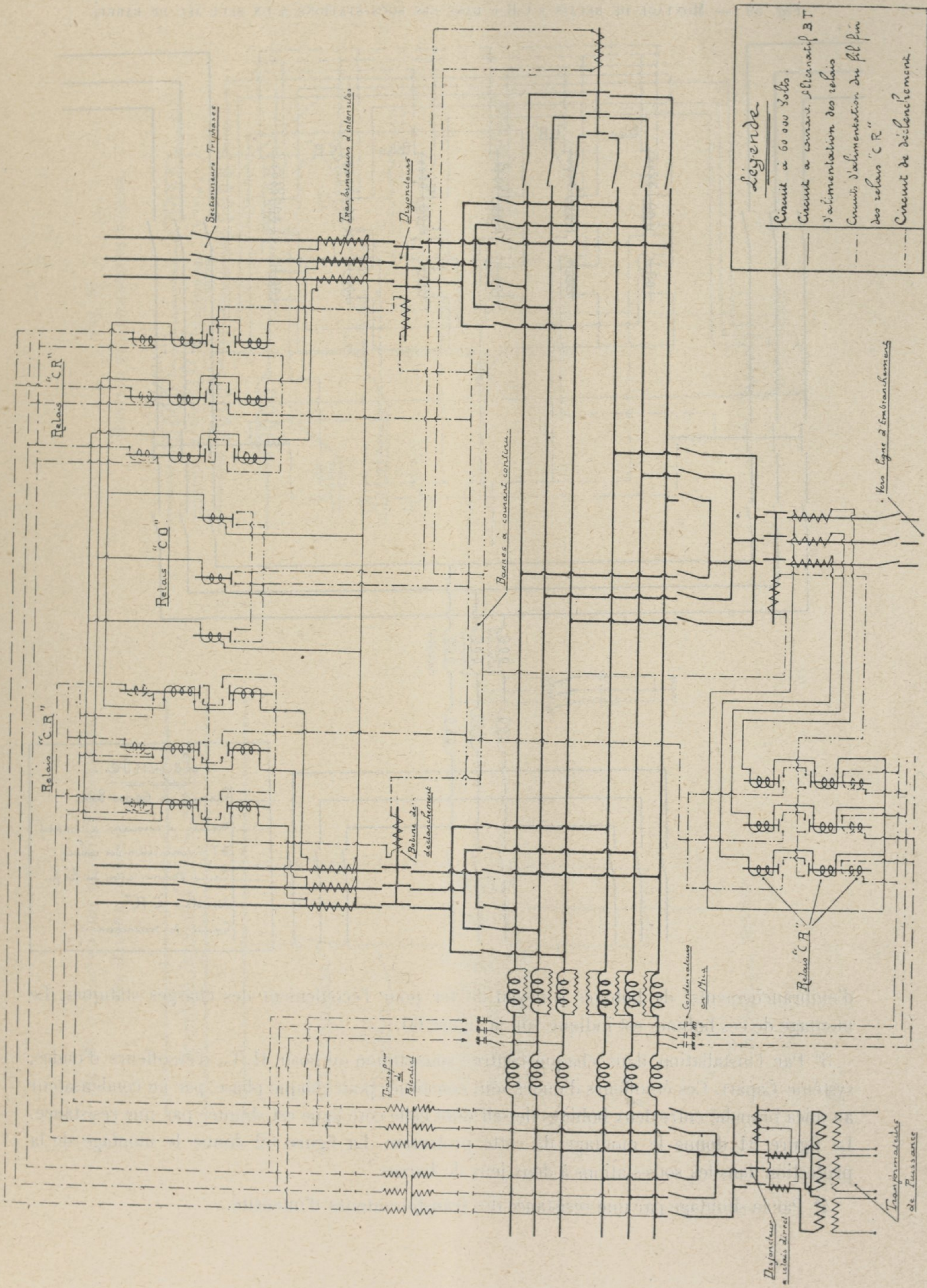
La protection contre les surtensions est assurée :

1° Par la mise directe à la terre en un point, à l'Usine du Hourat, du neutre du réseau.

2° Par l'installation dans les sous-stations situées en bout de lignes, et dans les sous-stations

(1) Il est à noter comme l'indique le schéma général, qu'au point de vue protection, les sous-stations de Pau, Lourdes et Tarbes ne rentrent pas dans le cas des sous-stations à double jeu de barres. En effet, l'utilisation au mieux de l'appareillage existant dans ces sous-stations, équipées en monophasé antérieurement, a conduit à mettre un interrupteur au lieu d'un disjoncteur entre les deux jeux de barres. Ces sous-stations, au point de vue protection contre les surintensités, rentrent dans le cas des sous-stations à un seul jeu de barres.

Fig. 58. — PROTECTION D'UNE SOUS-STATION A DEUX JEUX DE BARRES.



Légende

— Circuit à 60 ou 50 Hz.

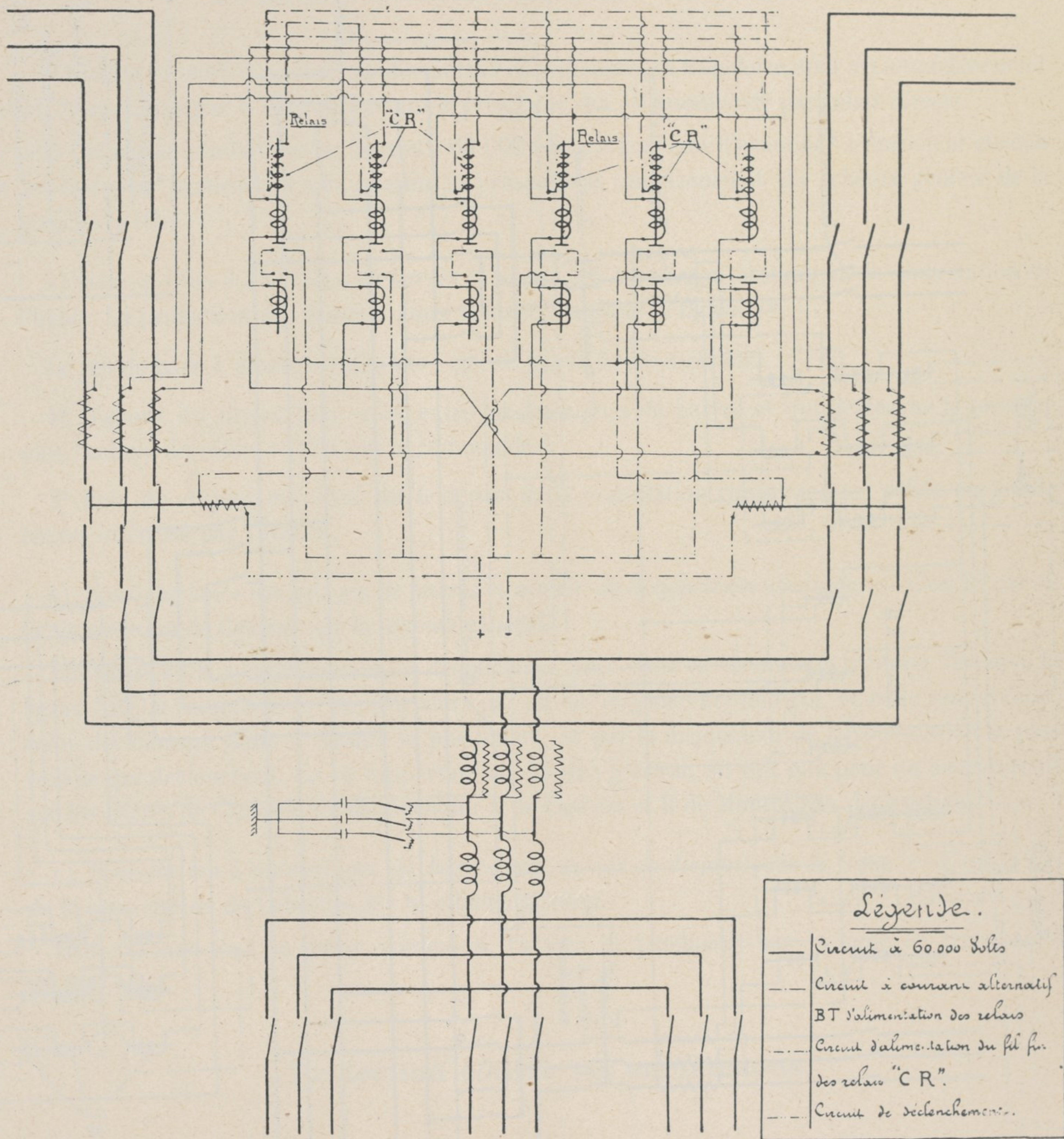
- - - Circuit à cour. alternatif 50 Hz

· · · Alimentation des relais

- · - Alimentation du fil fin des relais "C R"

- · - Circuit de déclenchement.

Fig. 59. — MONTAGE DE RELAIS « C R » DANS LES SOUS-STATIONS A UN SEUL JEU DE BARRES.



d'embranchements, de bobines à noyau de fer pour l'écoulement des charges statiques. Le montage de ces bobines est indiqué sur la figure 60.

3° Par l'installation dans chaque centre : sous-station ou poste H. T., d'étouffeurs d'ondes, système Capart. Ces étouffeurs d'ondes sont constitués pour chaque phase, par un condensateur au mica branché entre deux bobines de self dont celle côté ligne est shuntée par une résistance. La figure 61 donne le montage de cette protection. La figure 62 donne le montage de la protection dans les sous-stations à deux jeux de barres.

4° Par le shuntage par une résistance des transformateurs d'intensité.

Fig. 60. — MONTAGE DES BOBINES D'ÉCOULEMENT
DES CHARGES STATIQUES.

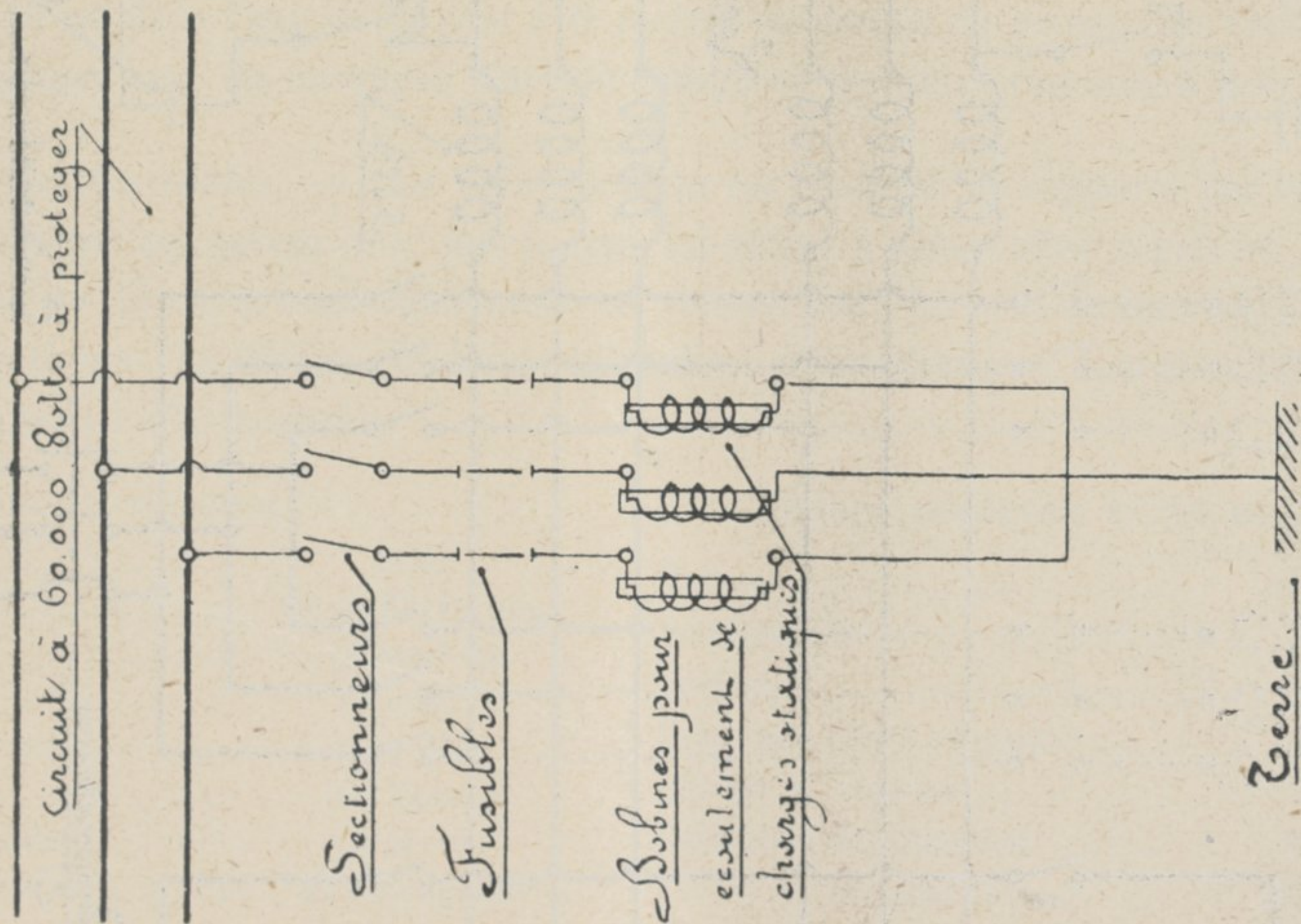


Fig. 61.
MONTAGE DES ÉTOUFFEURS D'ONDES.

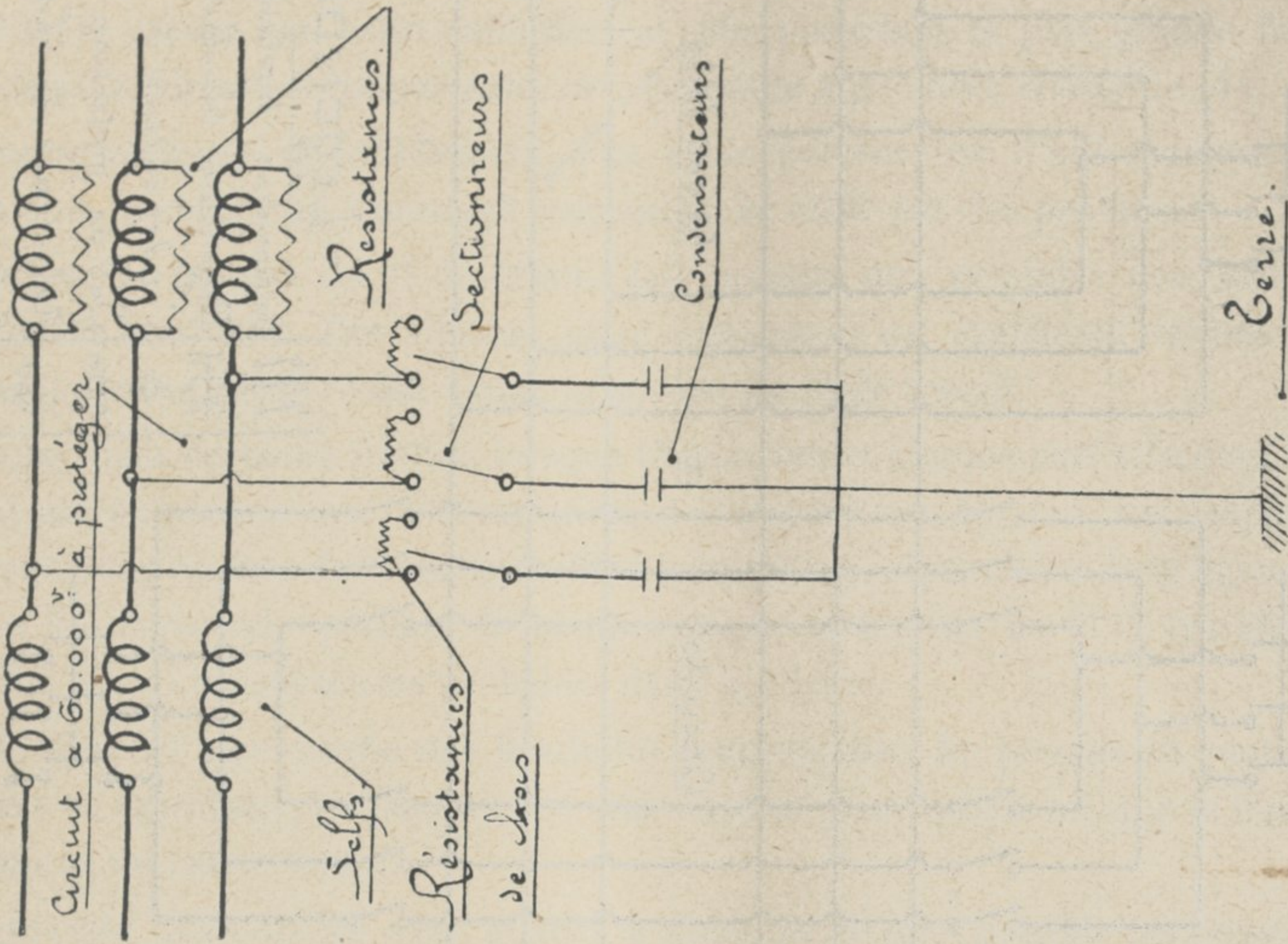
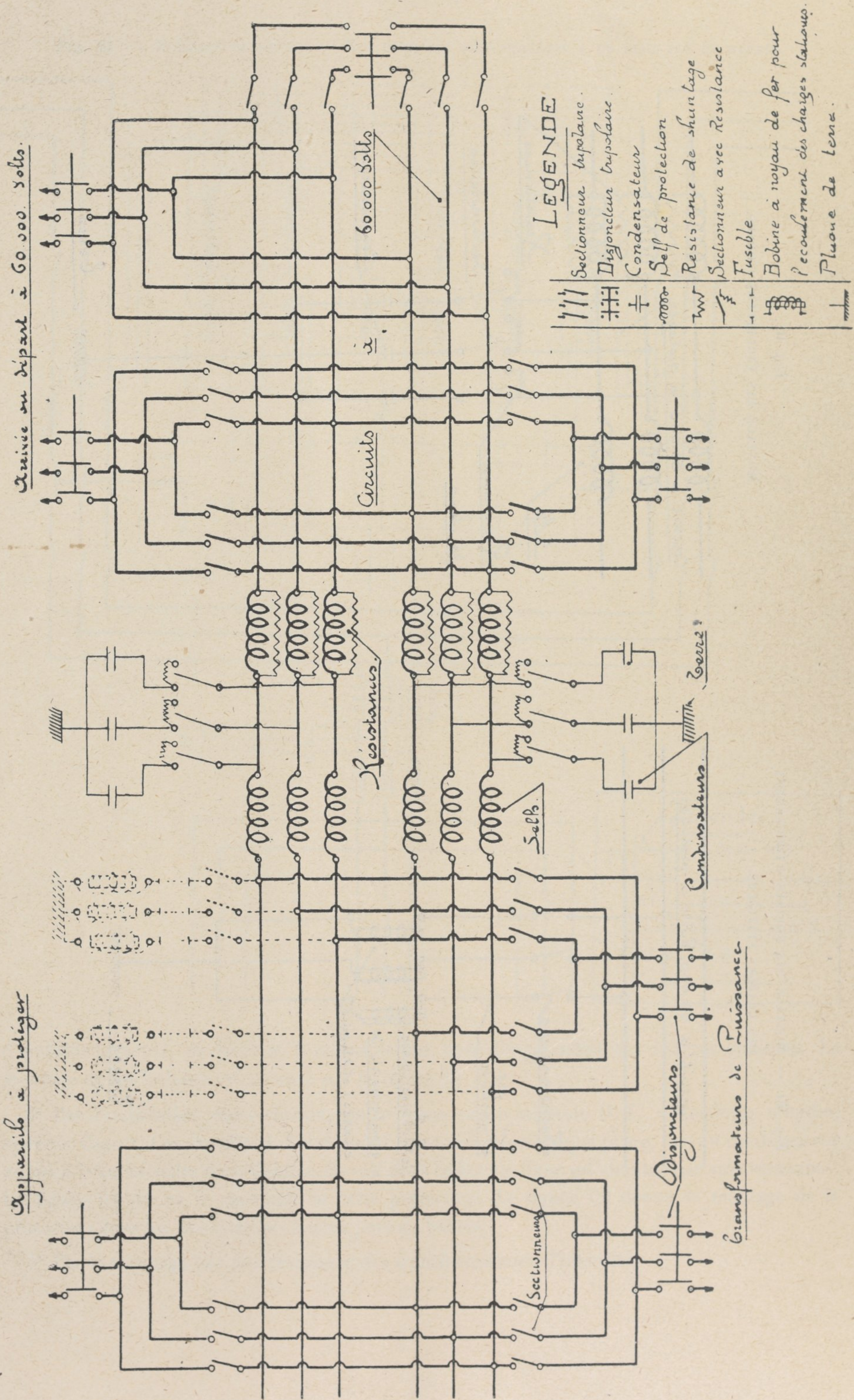


Fig. 62. — PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS D'UNE SOUS-STATION A DEUX JEUX DE BARRES.



CHAPITRE VIII. — CATENAIRES.

Le choix de la Compagnie des Chemins de fer du Midi s'est porté sur une caténaire du type incliné, pour la seule raison que cette caténaire est celle possédant la plus grande flexibilité et qu'elle offre de plus, chose très importante, une flexibilité à peu près constante (1).

Une telle ligne se compose essentiellement d'un câble porteur fixé d'une manière absolue aux supports et d'un fil de travail librement suspendu à ce câble par des pendules.

Dans les courbes, la tension du fil de travail fait prendre aux pendules une inclinaison, fonction du rayon de la courbe. Par ailleurs, cette inclinaison est également variable avec la température puisque cette dernière fait varier la tension du fil de travail.

Il en résulte que, dans certaines limites, lorsque les courbes et alignements alternent régulièrement, la ligne est autocompensée aux variations de température. En fait, sur Toulouse-Dax et embranchements, la présence des courbes suffit à assurer la compensation de la ligne, et sans qu'il soit besoin de dispositifs spéciaux de compensation, la tension du fil de travail restera suffisante aux plus hautes températures probables dans la région.

Avec une telle ligne on a en courbe une flexibilité remarquable. Au passage du pantographe la ligne se soulève en entraînant les pendules et cela d'autant plus facilement que la tension du fil de travail diminue en même temps.

Dans l'étude de cette caténaire on s'est attaché à diminuer le plus possible les points durs : jonctions de câbles, sectionnements, aiguillages, etc. Les dispositifs réalisés offrent en particulier le minimum de poids compatible avec une bonne résistance. Les passages en des points spéciaux : tunnels, ponts, etc., ont été étudiés de très près, en vue de conserver une bonne flexibilité à la ligne et d'assurer une bonne tenue du pantographe sur cette dernière, sans décollements ni heurts.

Le fil de travail est dans l'axe de la voie à 6 mètres au-dessus du niveau des rails, sauf bien entendu aux passages sous les ouvrages d'art où cette cote peut être ramenée à 4 m 65.

Caractéristiques des câbles. — Le câble porteur est en acier et supporte par les pendules un porteur auxiliaire en cuivre dur, jonctionné lui-même à intervalles réguliers à l'aide de griffes spéciales, au fil de travail également en cuivre dur. Le porteur auxiliaire et le fil de travail sont identiques. La figure 63 donne la section de ces derniers. Les caractéristiques de ces câbles et fils sont celles ci-après :

PORTEUR PRINCIPAL		PORTEUR AUXILIAIRE ET FIL DE TRAVAIL	
Nature.....	acier	Nature.....	cuivre dur HC
Nombre de brins.....	19 de 23/10 mm	Conductibilité.....	98 %
Section.....	78 mm ² 94	Section.....	100 mm ²
Diamètre apparent.....	41 mm, 5	Poids par mètre courant.....	0 kg, 890
Poids par mètre courant.....	0 kg 650,	Charge de rupture.....	38 kgmm ²
Charge de rupture.....	100 kgmm ²	Coefficient de dilatation.....	16 × 10 ⁻⁶
Coefficient de dilatation.....	13 × 10 ⁻⁶	— d'élasticité.....	12.800 kgmm ²
Coefficient d'élasticité.....	22.000 kgmm ²		

(1) Le lecteur pourra trouver dans la *Revue Générale d'Electricité*, numéros du 30 Juillet 1921 et suivants, une étude de M. Leboucher sur les caténaires en général et sur la caténaire inclinée en particulier.

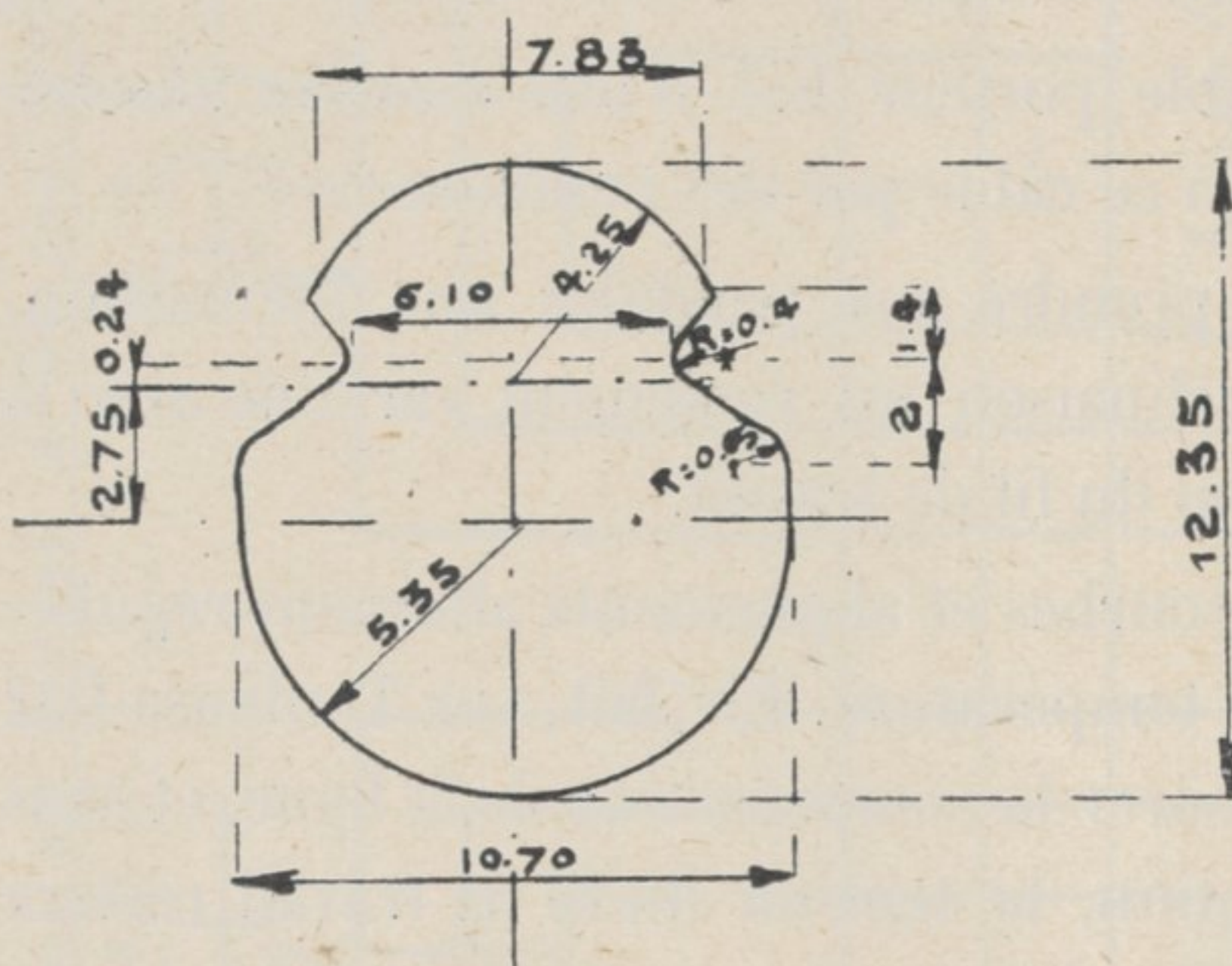
Les portées sont de :

90 mètres en alignement et dans les courbes de rayon supérieur ou égal à 2000 mètres.

60 mètres dans les courbes de rayon variant de 2000 à 800 mètres compris.

45 mètres dans les courbes de rayon compris entre 800 et 300 mètres.

Fig. 63. — SECTION DU FIL DE TRAVAIL.



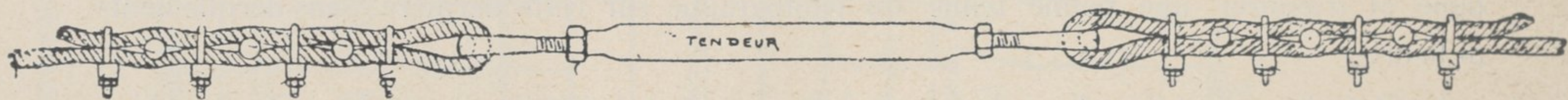
Tensions de pose. — La tension de pose du câble porteur à $+ 15^\circ$, sans vent, est de 1350 kg. En alignement et pour la portée de 90 mètres la flèche correspondante est de 2 mètres.

La tension de pose du porteur auxiliaire et du fil de travail à $+ 15^\circ$, sans vent, est de 700 kg.

Jonction des câbles et fils. — Les jonctions du porteur principal se font à l'aide d'un tendeur sur les œillets duquel le câble forme boucle. L'extrémité de la boucle est fixée au câble à l'aide de 4 cavaliers et de 3 rivets comme le montre la figure 64.

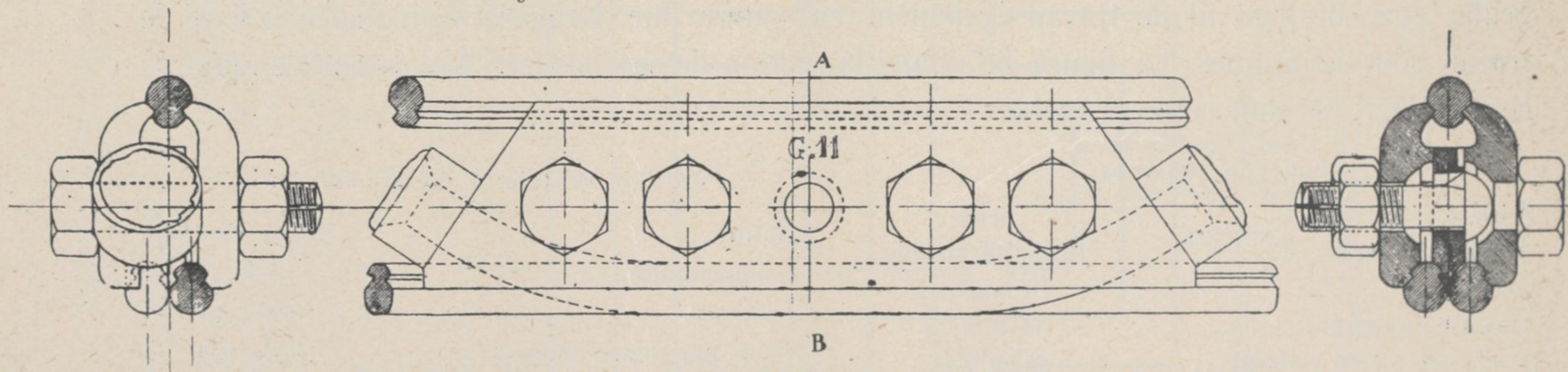
Les jonctions du fil de travail et celles du porteur auxiliaire s'effectuent à l'aide d'une griffe constituée par trois joues assemblées par des boulons et portant des rainures épousant

Fig. 64. — JONCTIONS DU CÂBLE PORTEUR PRINCIPAL.



exactement la forme du fil rainuré. L'extrémité du fil vient se loger dans un dé en acier formant cuvette, dans lequel elle est matée (Fig. 65).

Fig. 65. — GRIFFE DE JONCTION DU FIL DE TRAVAIL.

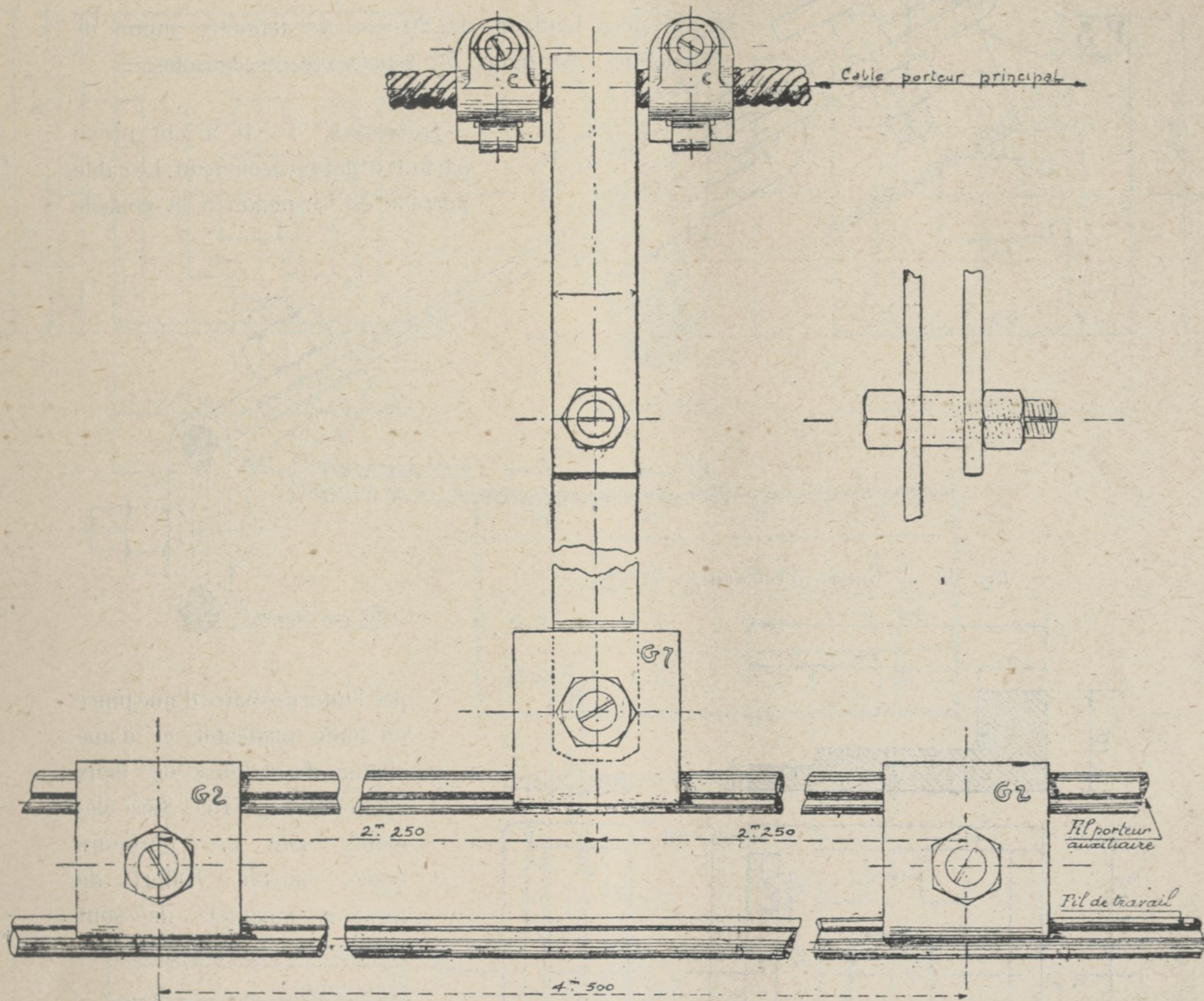


Pendules. — Les pendules sont constitués par des fers plats de 25 mm de largeur et de 5 mm d'épaisseur (Fig. 66). Ils sont espacés tous les 9 mètres en alignement et tous les 4 m 50 en courbe. En alignement, les pendules sont arrêtés sur le câble porteur par des cavaliers d'arrêt représentés sur la figure 66. En courbe, ils sont suspendus par une pince et une manille (Fig. 67). Cette manille est d'ailleurs remplacée par une chaînette pour les pendules voisins des consoles, de manière à augmenter la flexibilité en ces points.

Griffes. — Les griffes sont en fonte malléable. Elles sont de différents types :

1° Les griffes type G. 7, dites d'alignement, (représentées Fig. 68) destinées à supporter le porteur auxiliaire (caténaire double) ou le fil de travail (caténaire simple) en alignement.

Fig. 66. — PENDULE.



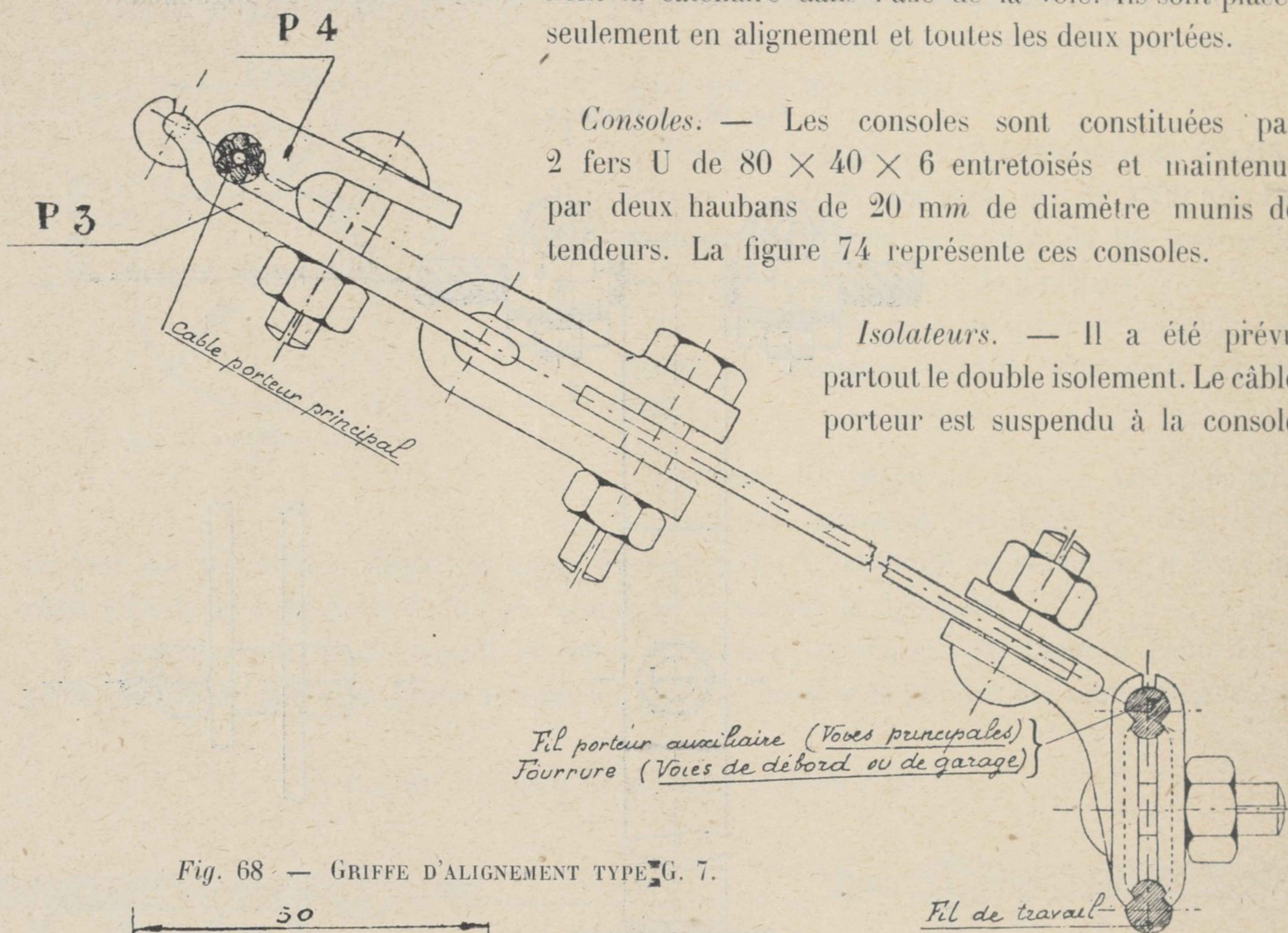
2° Les griffes type G. α , dites de courbes, (représentées Fig. 69) terminées par une patte présentant des inclinaisons différentes (10, 30, 60 degrés) suivant les courbes, de telle façon que le porteur auxiliaire et le fil de travail restent toujours sur la même verticale.

3° Les griffes intermédiaires, type G. 2, placées entre les pendules en alignement, et suspendant au porteur auxiliaire le fil de travail (voir Fig. 70).

4° Les Griffes, type G. 1, pour antibalançants (représentées Fig. 71), et munies de 2 oreilles.

Elles sont reliées par l'intermédiaire de ressorts à une chaîne de 2 isolateurs suspendue à la console support de la caténaire (voir Fig. 72 et 73).

Fig. 67. — PENDULES EN COURBE.

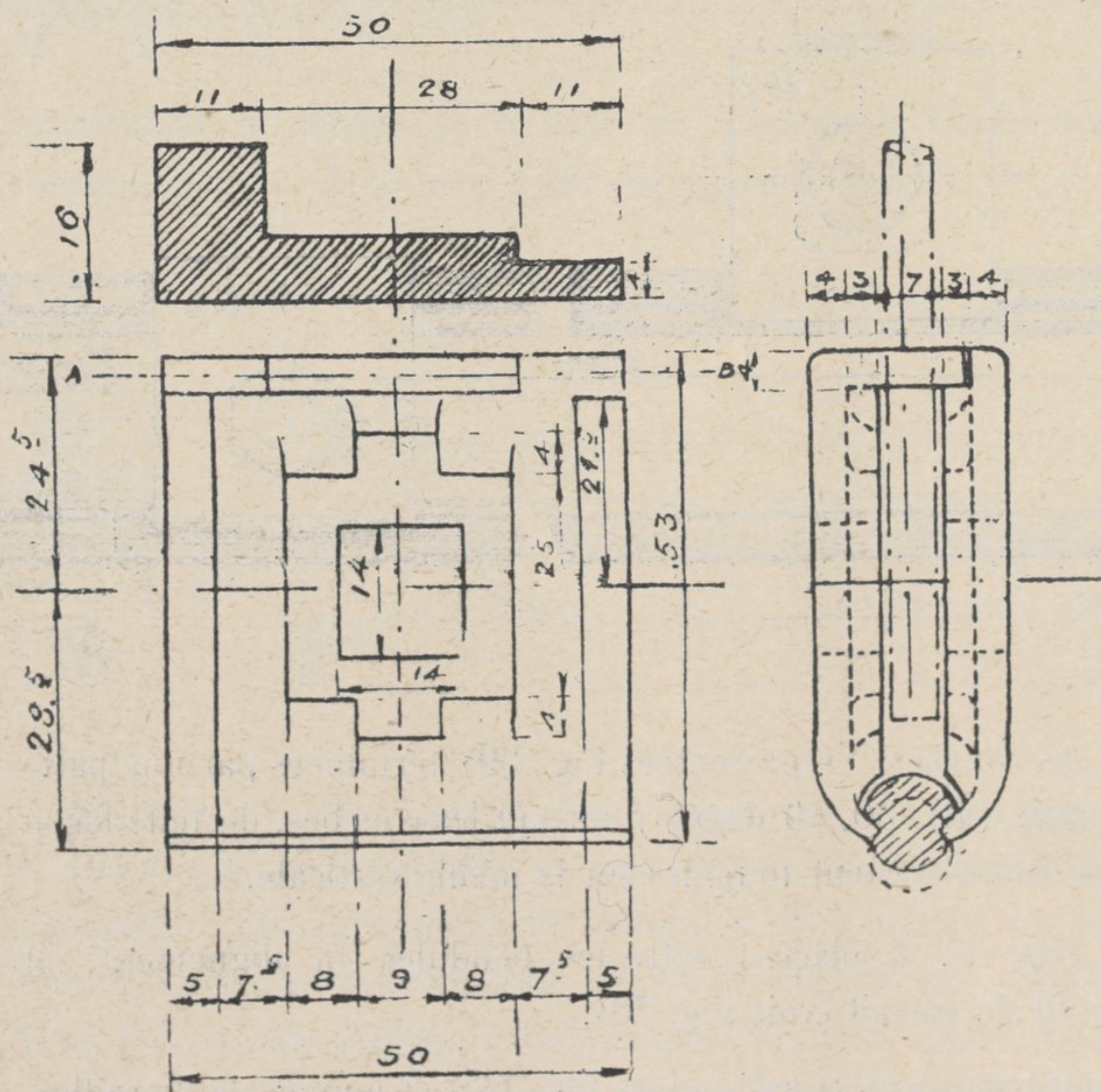


Ces ressorts absorbent l'action du vent et maintiennent la caténaire dans l'axe de la voie. Ils sont placés seulement en alignement et toutes les deux portées.

Consoles. — Les consoles sont constituées par 2 fers U de $80 \times 40 \times 6$ entretoisés et maintenus par deux haubans de 20 mm de diamètre munis de tendeurs. La figure 74 représente ces consoles.

Isolateurs. — Il a été prévu partout le double isolement. Le câble porteur est suspendu à la console

Fig. 68 — GRIFFE D'ALIGNEMENT TYPE G. 7.



par l'intermédiaire d'une pince en fonte malléable et d'une chaîne d'isolateurs de deux éléments (Fig. 75). Ces éléments sont de plusieurs types, suivant l'effort de traction auxquels ils sont soumis. Ils sont dimensionnés pour tenir :

- 2 tonnes en alignement
- 4 tonnes en courbe
- 7,6 tonnes aux ancrages.

Caténaires dans les gares. — L'équipement des caténaires dans les gares est réalisé à l'aide

Fig 69. — GRIFFES DE COURBES.

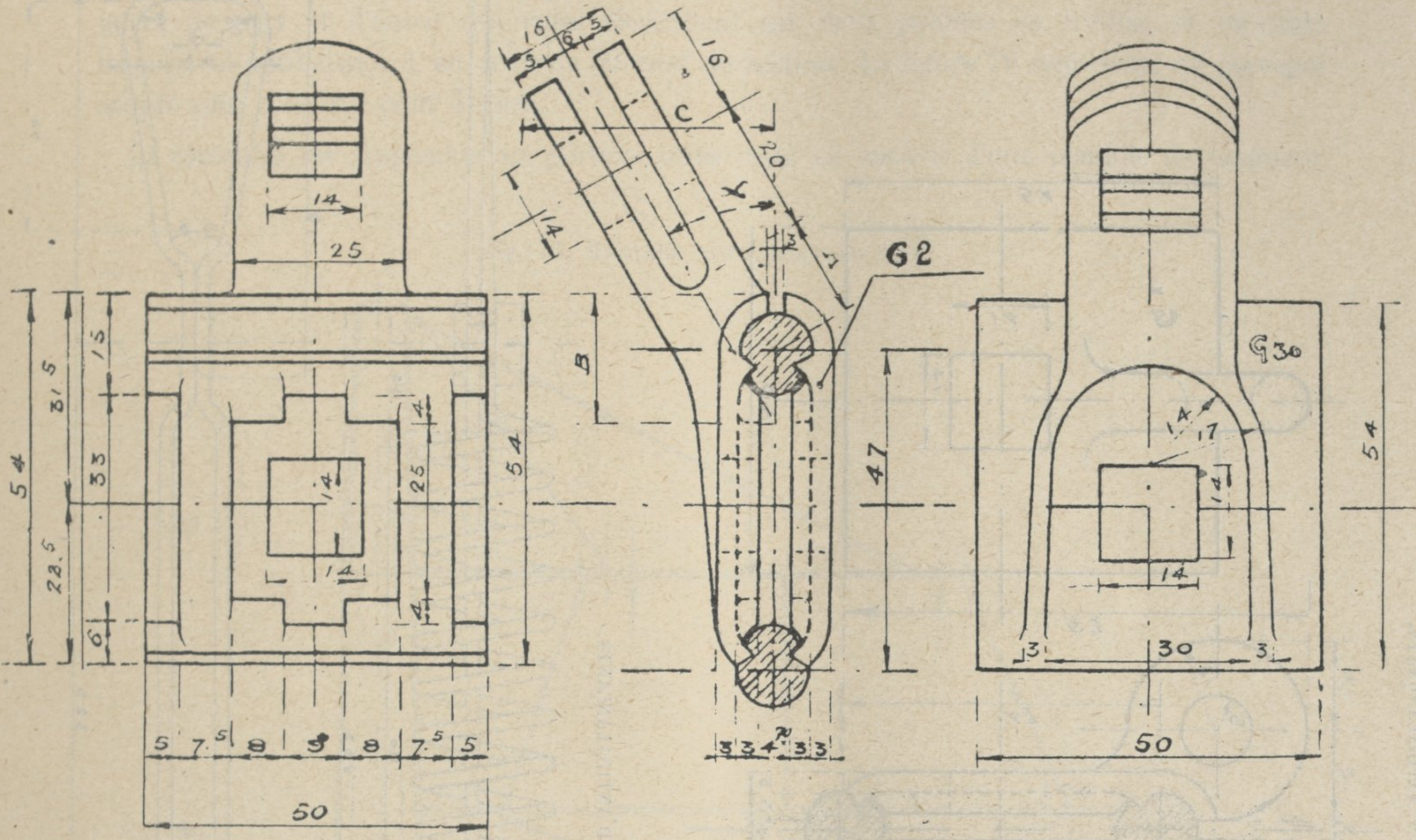
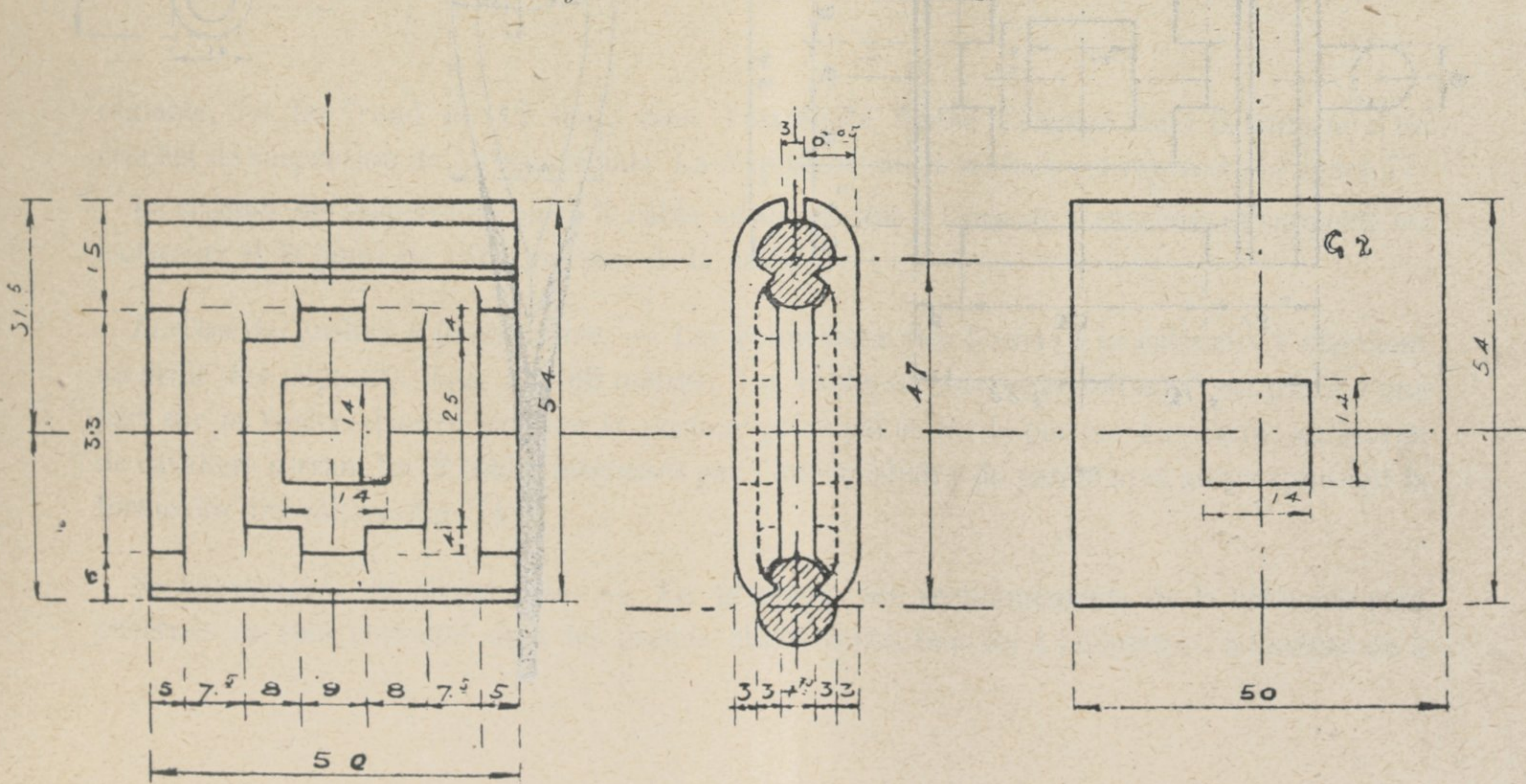


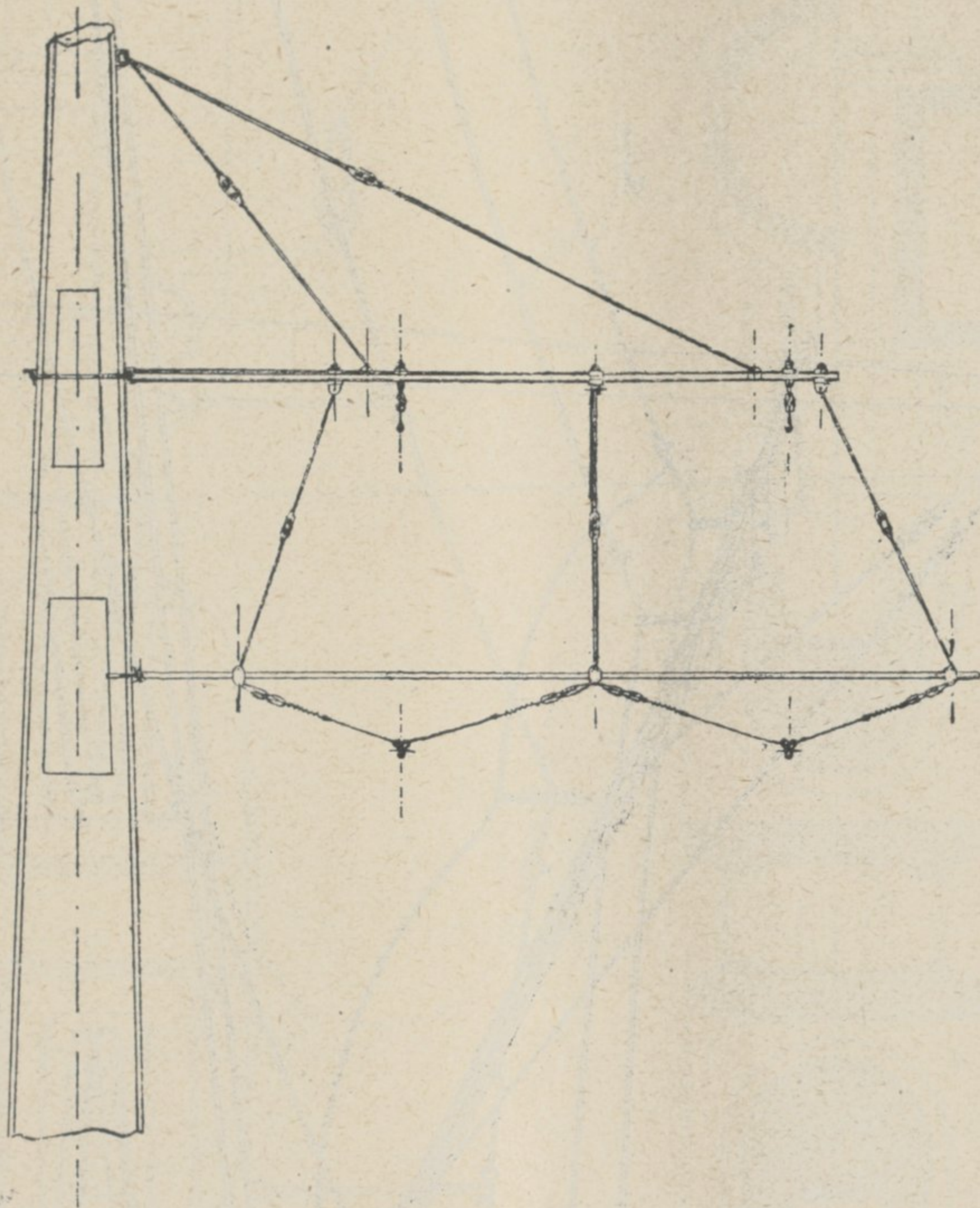
Fig. 70. — GRIFFES INTERMÉDIAIRES.



de portiques souples constitués par un câble porteur transversal en acier de 80 mm^2 de section ancré de part et d'autre des voies électrifiées sur deux pylônes en treillis, et un câble transversal antibalçant en acier de 50 mm^2 de section. La figure 76 représente un portique souple ainsi constitué pour 4 voies.

La caténaire est suspendue au porteur transversal au moyen d'une pendule de longueur

Fig. 73. MONTAGE DES ANTIBALANÇANTS.



réglable, en fer rond de 12 mm , dont l'extrémité filetée s'engage dans la lanterne d'un crochet de suspension de forme spéciale. La disposition ainsi réalisée est représentée figure 77.

Le crochet de suspension pince le câble antibalçant à l'aide de 2 cavaliers et supporte les isolateurs et la pince du câble porteur de la caténaire.

Liaison des feeders à la caténaire. — Les connexions des feeders à la caténaire s'effectuent au droit des supports, tous les 180 mètres. Un câble en cuivre de 100 mm^2 est pincé d'une part sur le feeder, d'autre part sur le porteur principal et sur le porteur auxiliaire, au moyen de cavaliers serrant les 2 câbles intéressés par l'intermédiaire de patins avec gorge épousant la forme des dits câbles (Fig. 74).

Sectionnements en pleine voie. — En principe, les sectionnements de la caténaire sont effectués en voie courante dans les grands alignements, tous les 4 kilomètres, à l'amont ou à

Fig. 74. — CONSOLE

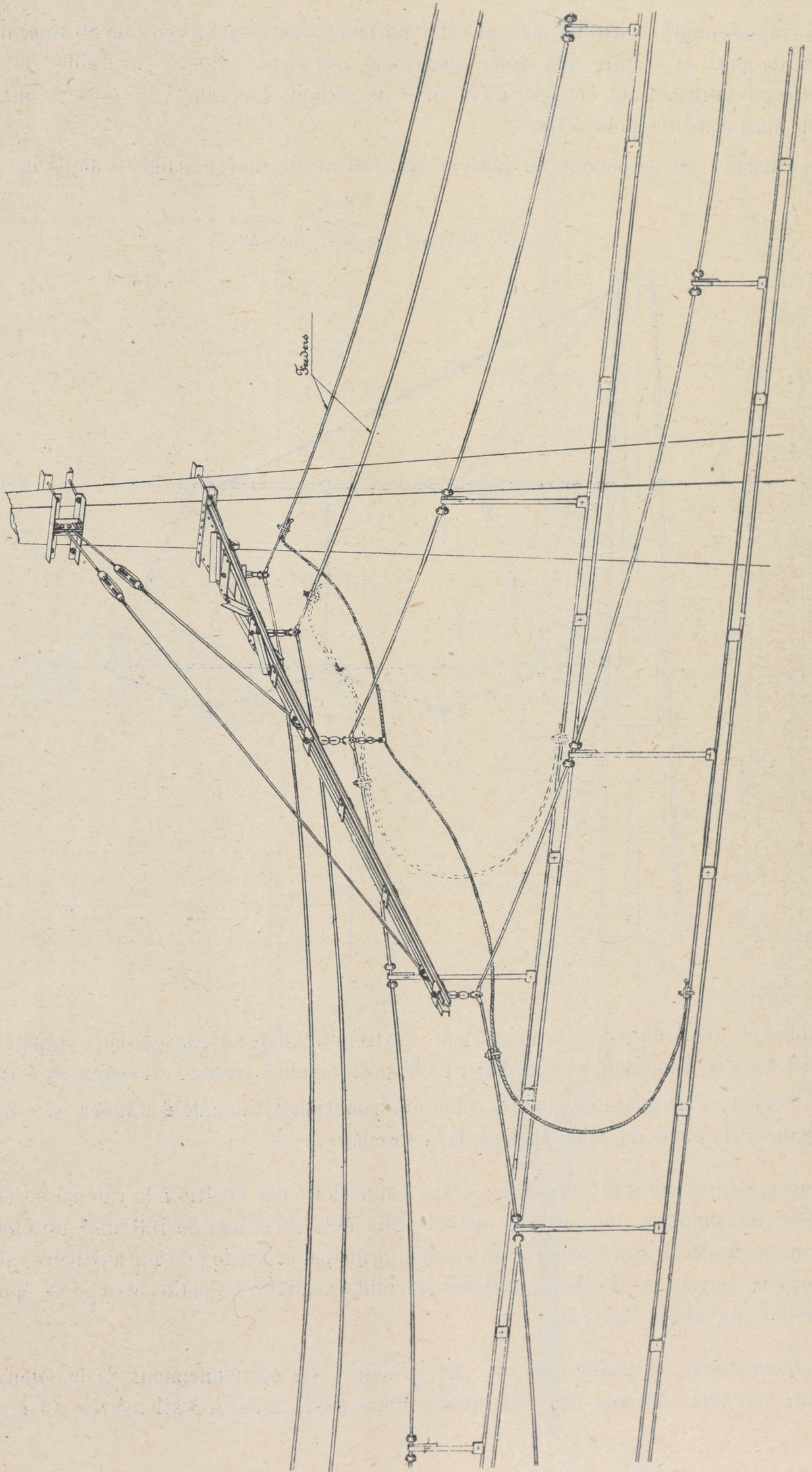


Fig. 75. — SUSPENSION DU CABLE PORTEUR.

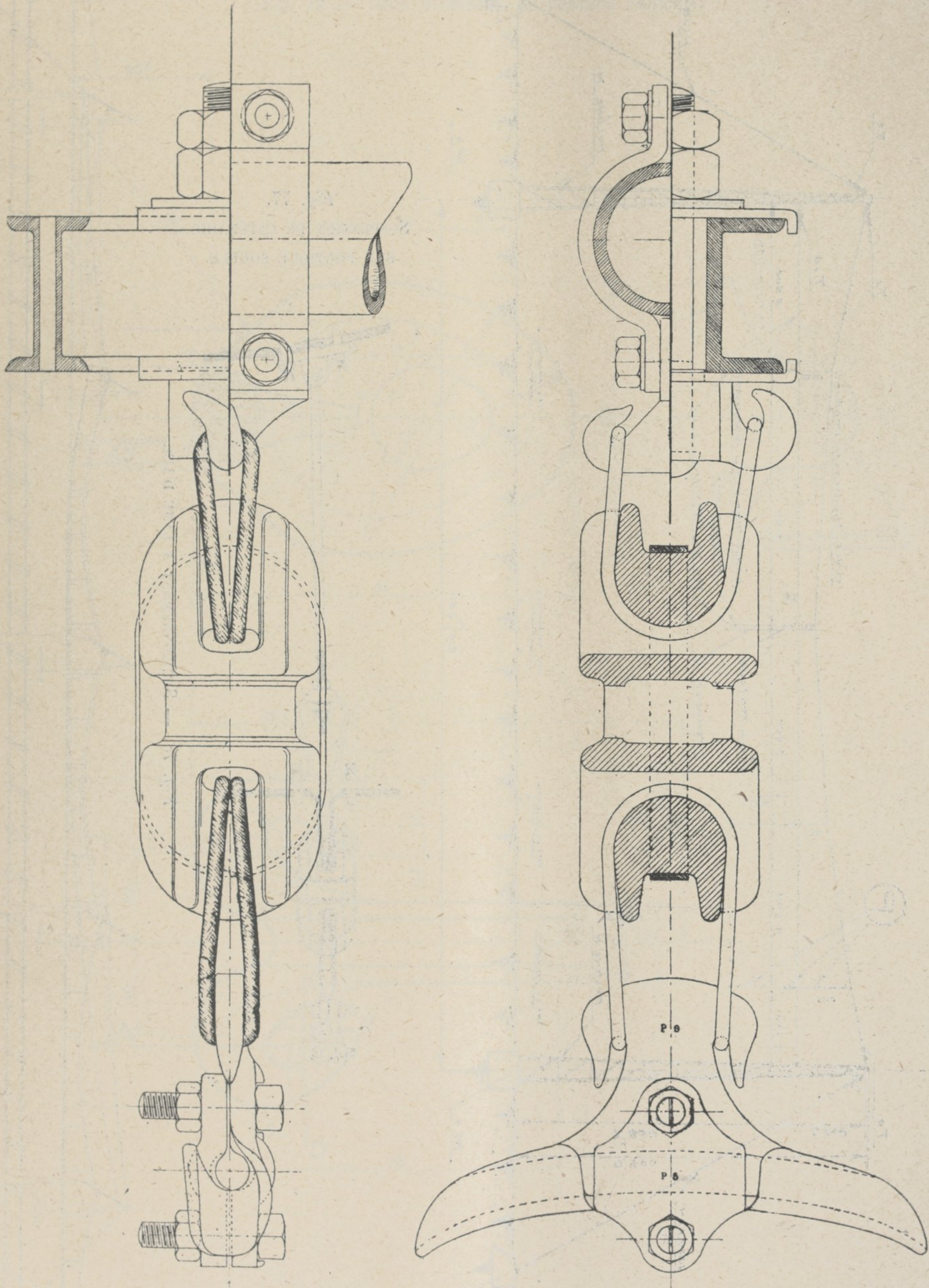


Fig. 76. — PORTIQUE SOUPLE.

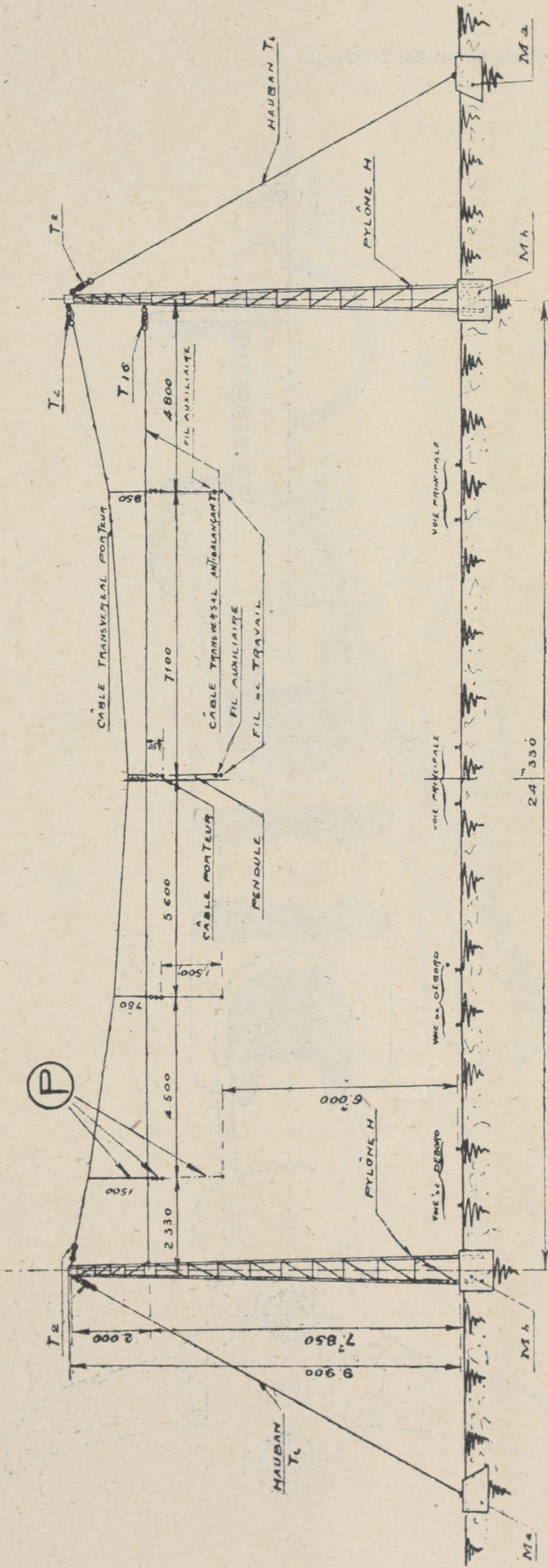


Fig. 77.
SUSPENSION DE CATÉNAIRE
SUR PORTIQUE SOUPLE.

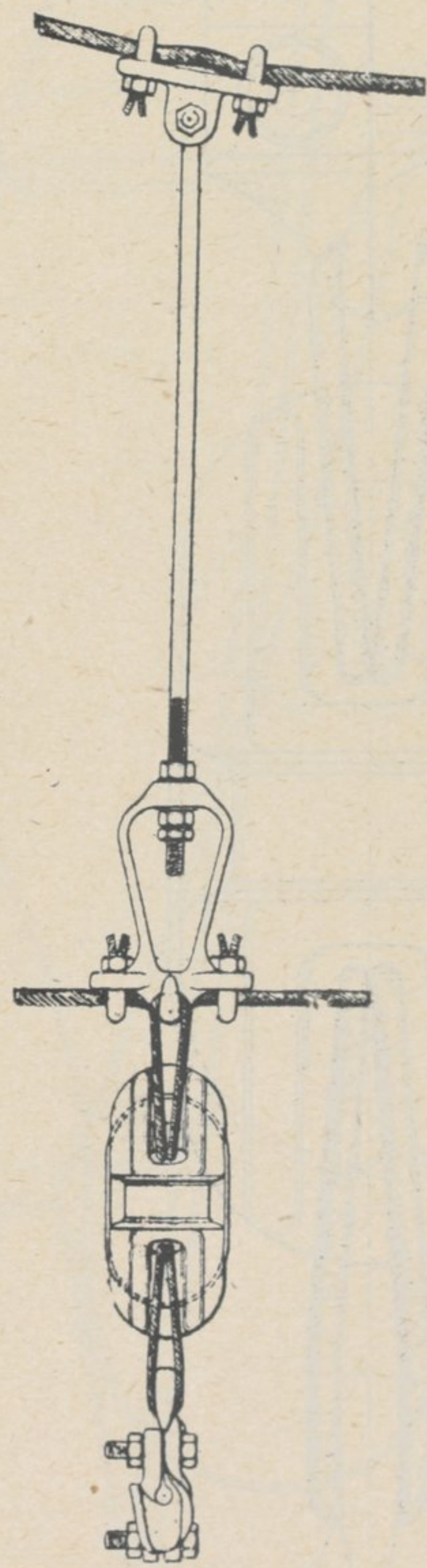


Fig. 78. — SECTIONNEMENT A LAME D'AIR.

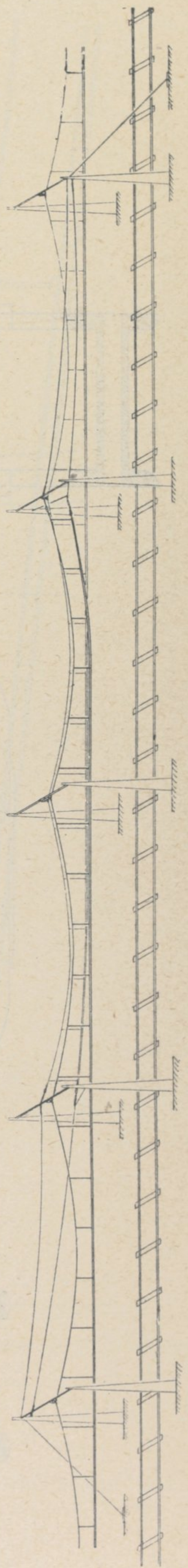


Fig. 79. — NOIX D'ANCRAGE DU PORTEUR PRINCIPAL.

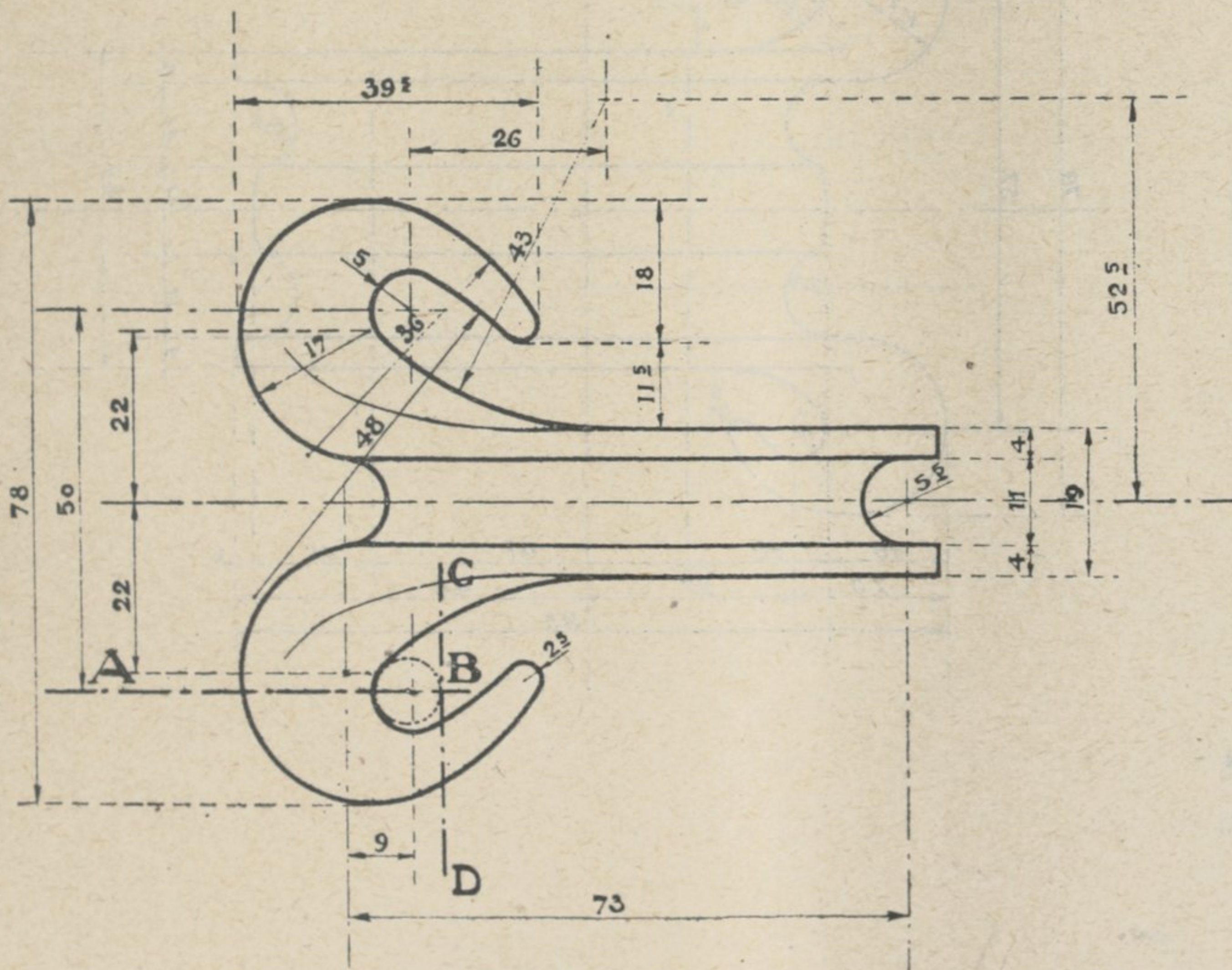
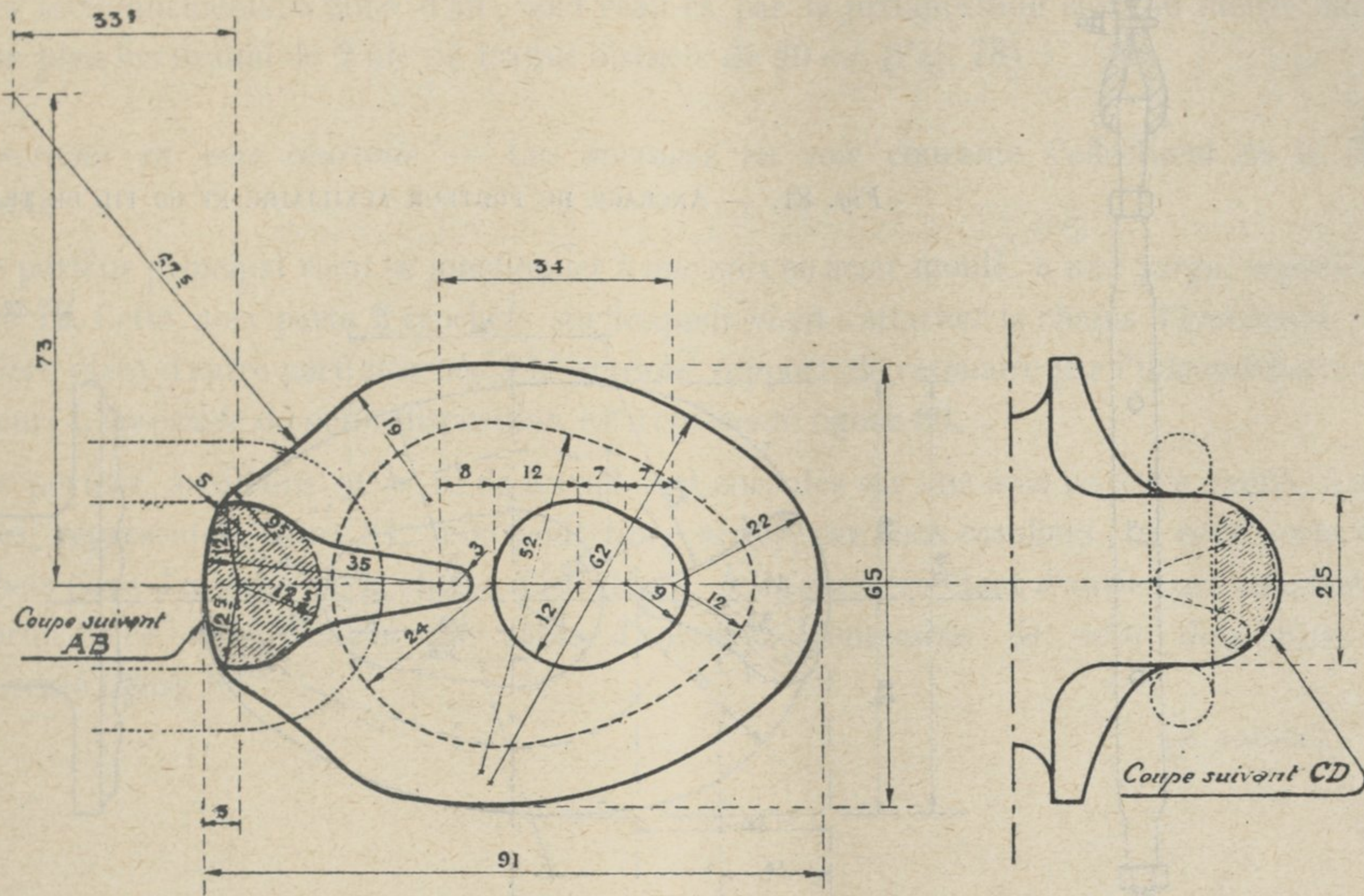


Fig. 80. — ANCRAGES EN VOIE COURANTE.

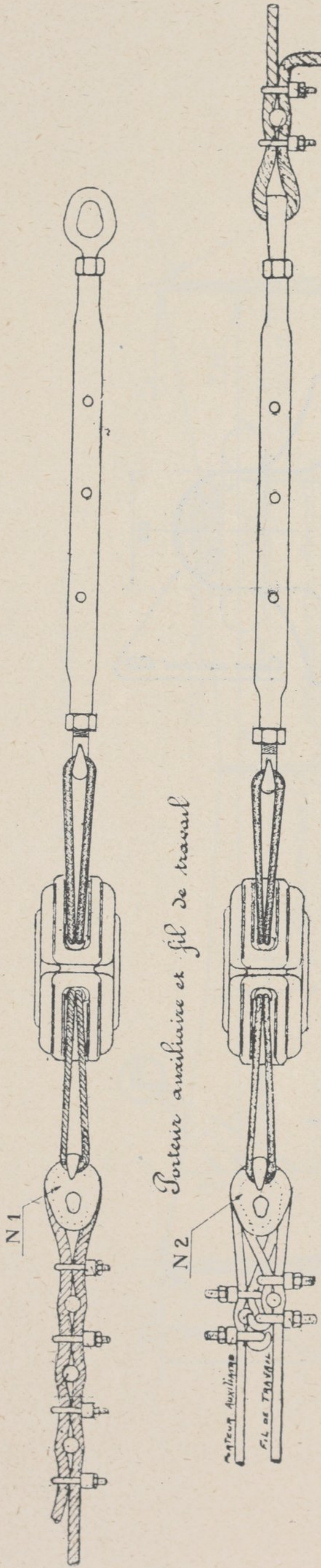
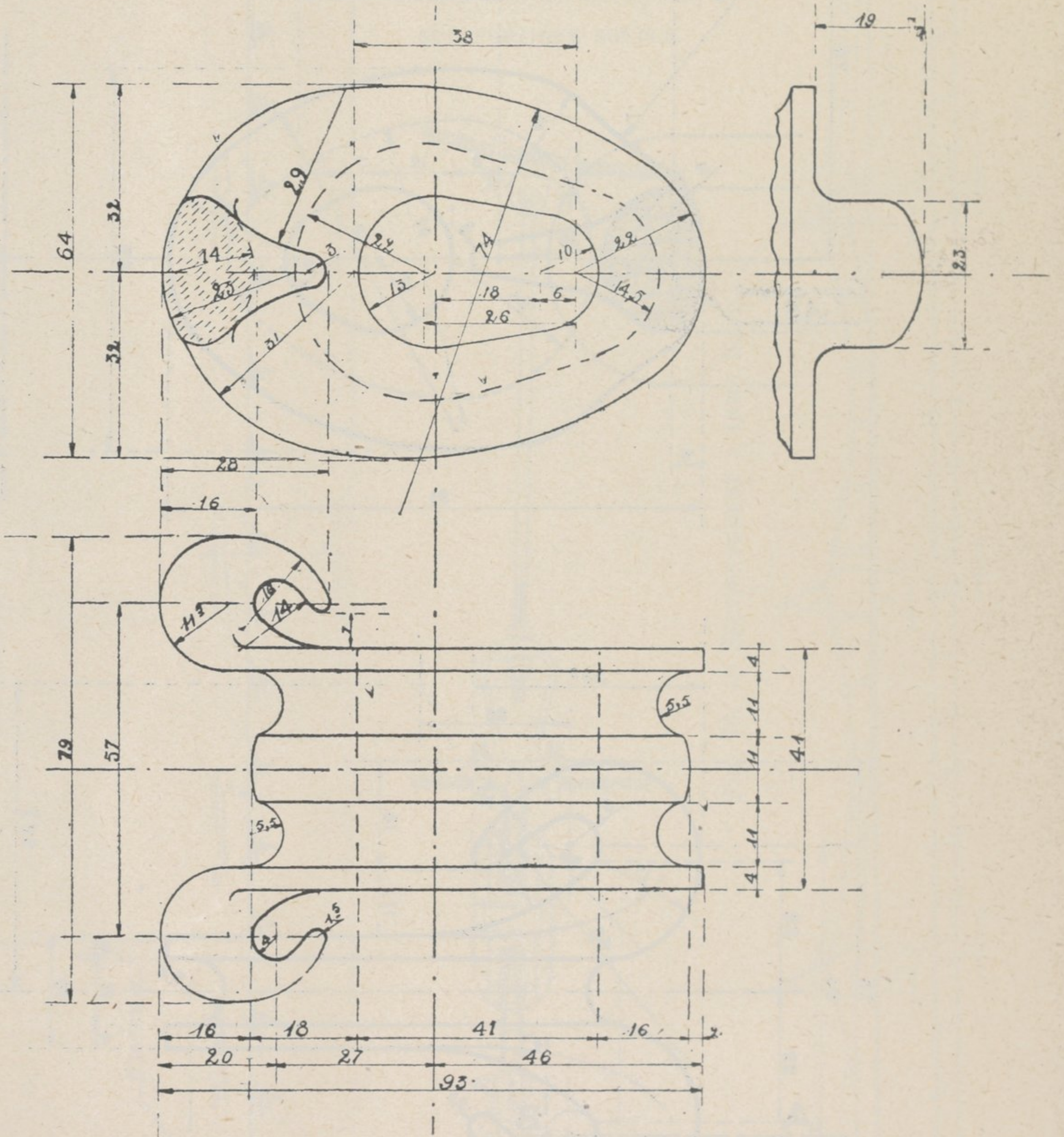


Fig. 81. — ANCRAGE DU PORTEUR AUXILIAIRE ET DU FIL DE TRAVAIL.



l'aval d'une gare. En outre, on effectue un sectionnement en aval et en amont de chaque gare avec sous-station, à 600 m environ des aiguilles extrêmes. Dans ce cas, les feeders reliant la sous-station aux points de sectionnement ont une section supérieure de 200 mm² à la section utilisée en voie courante.

Ces sectionnements, à lame d'air, sont réalisés par la juxtaposition sur 180 mètres dans le même plan horizontal de 2 fils de travail distants de 20 cm (Fig. 78).

Ancrages en voie courante. — Les ancrages en voie courante s'effectuent de la façon suivante :

Le porteur principal vient se jonctionner à une noix en acier moulé, à une gorge, représentée figure 79. Cette noix porte 2 crochets sur lesquels vient s'attacher la chaîne d'isolateurs, cette dernière étant d'autre part attachée à la console support de caténaire par l'intermédiaire d'un tendeur. L'ensemble de cette disposition est représenté figure 80.

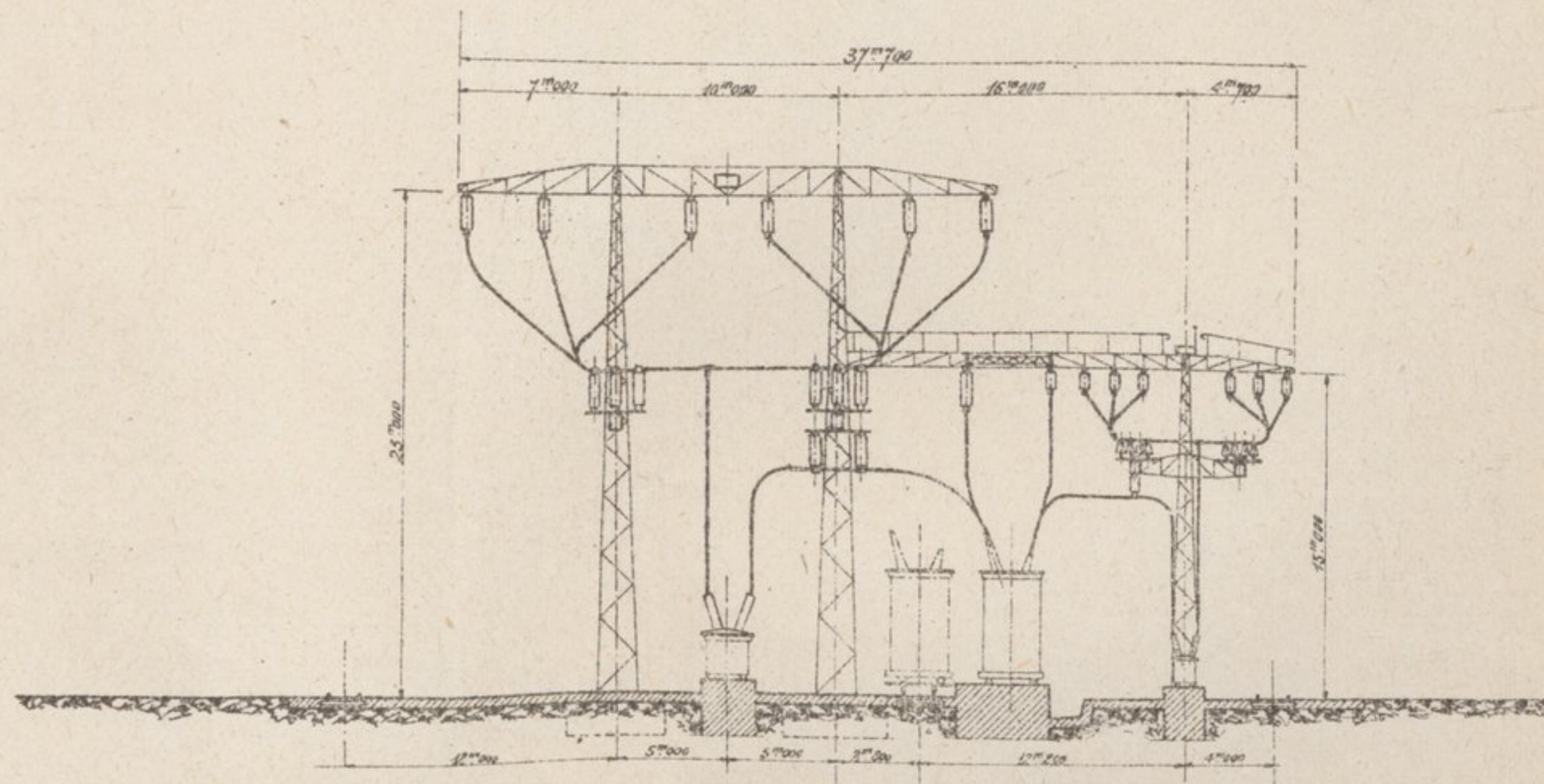
Le porteur auxiliaire et le fil de travail sont enroulés sur une noix en acier moulé, à deux gorges, représentée figure 81, leur bout libre arrêté par deux cavaliers. La noix porte deux crochets pour l'attache de la chaîne d'isolateurs, cette dernière étant d'autre part attachée par l'intermédiaire d'un tendeur au câble d'ancrage. L'ensemble de cette disposition est représenté figure 80.

(à suivre)

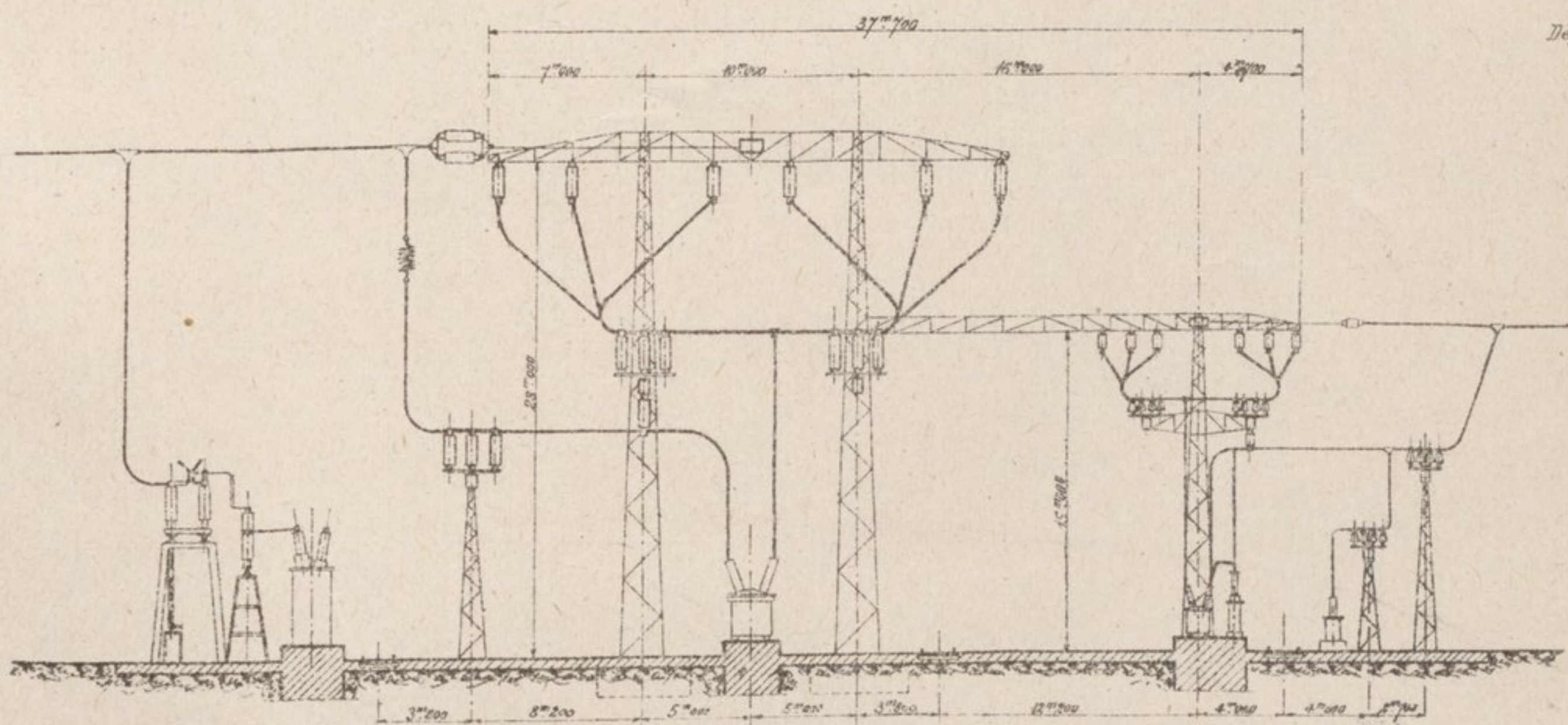
Poste de transformation 60000/150000^v de Hour

Echelle 1:600^e

Coupe transversale suivant A-B..



Coupe transversale suivant E-F



Départ 150000 volts vers Pau

E

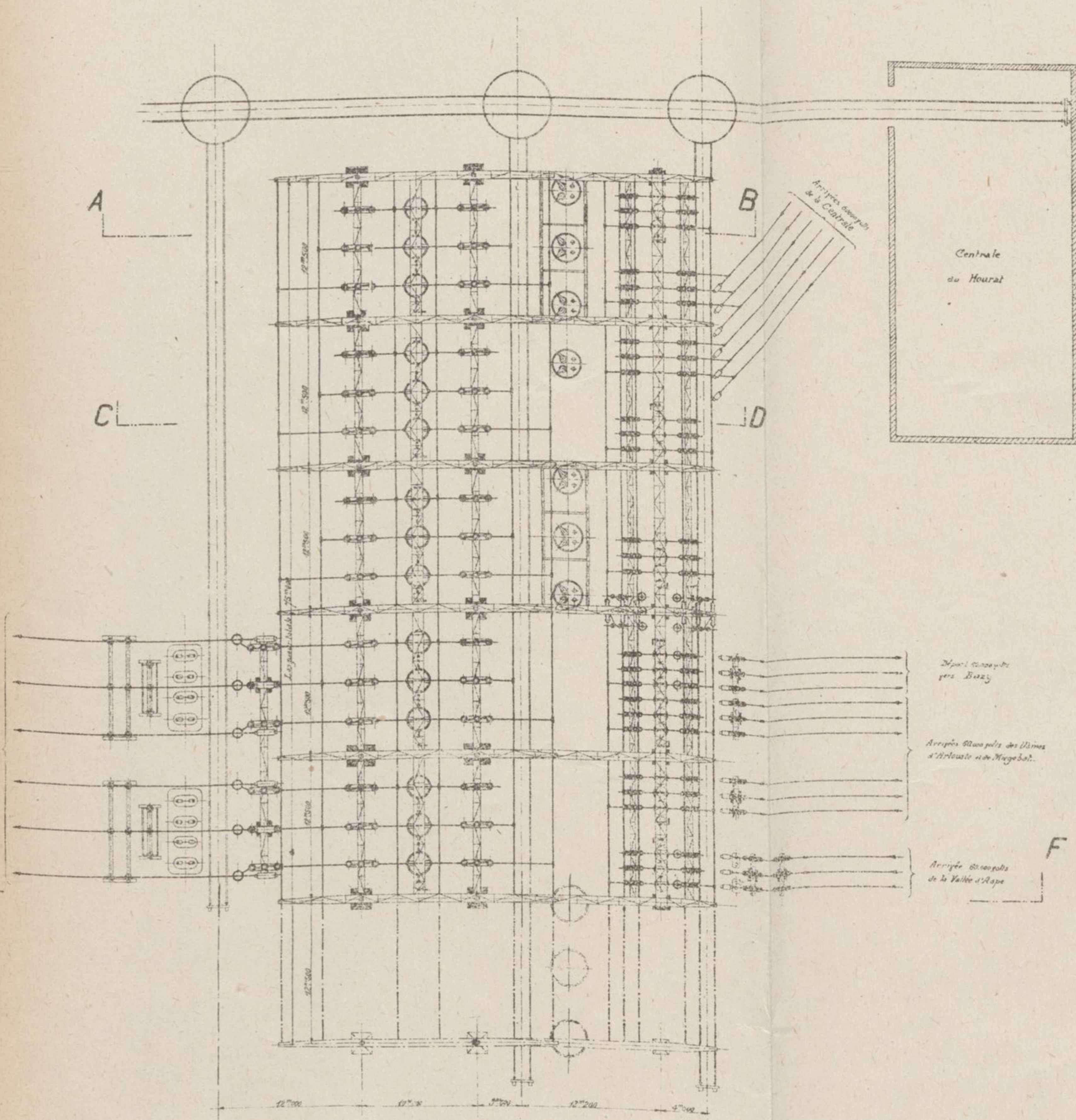
A

CL

ation 60000/150000^y de Hourat-Laruns...

Echelle 1.600^e

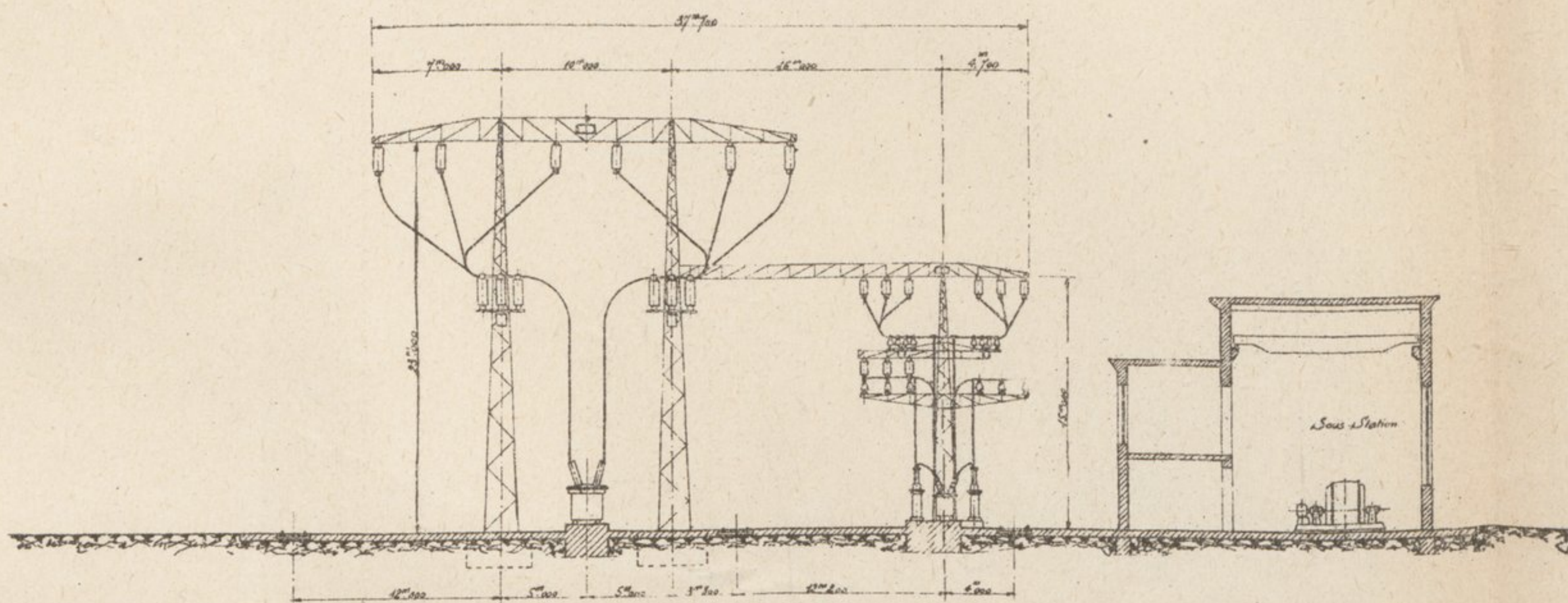
Vue en plan



Poste de transformation 150.000/60.000/6.000

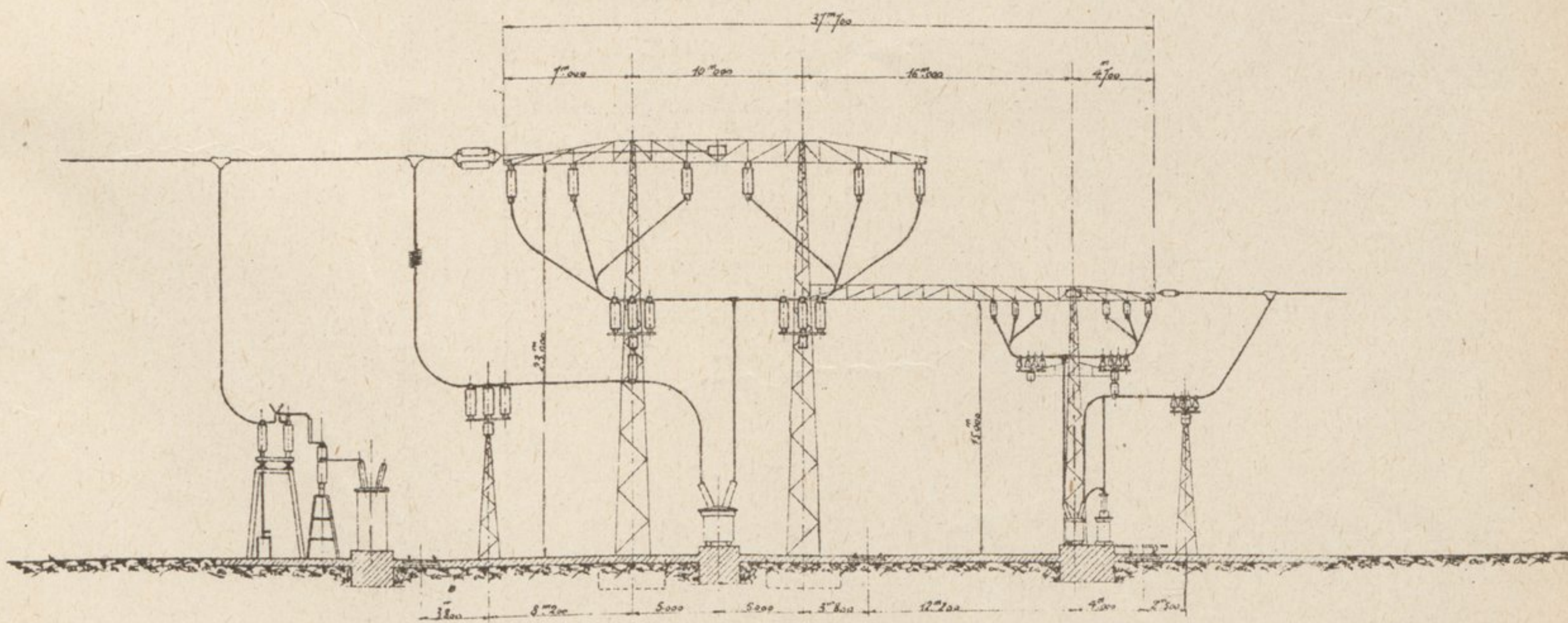
.. éch: 1/600^e ..

Coupe transversale suivant A-B.



A
C

Coupe transversale suivant E-F-G-H.



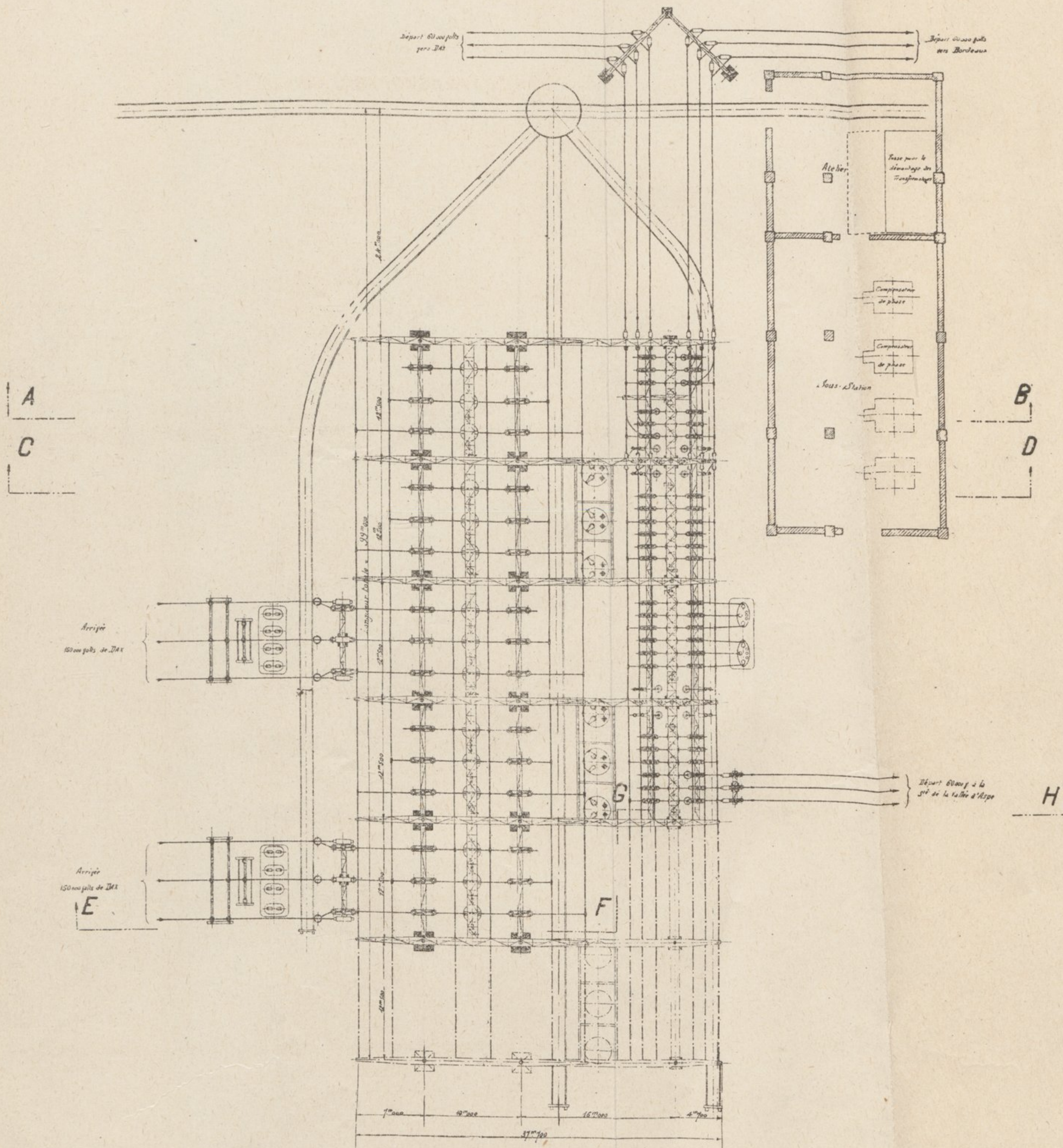
Arrivée
150000 volts de D.M.

Arrivée
150000 volts de D.M.
E

150.000/60.000/6.000 volts de PESSAC

..éch: 1/600^e..

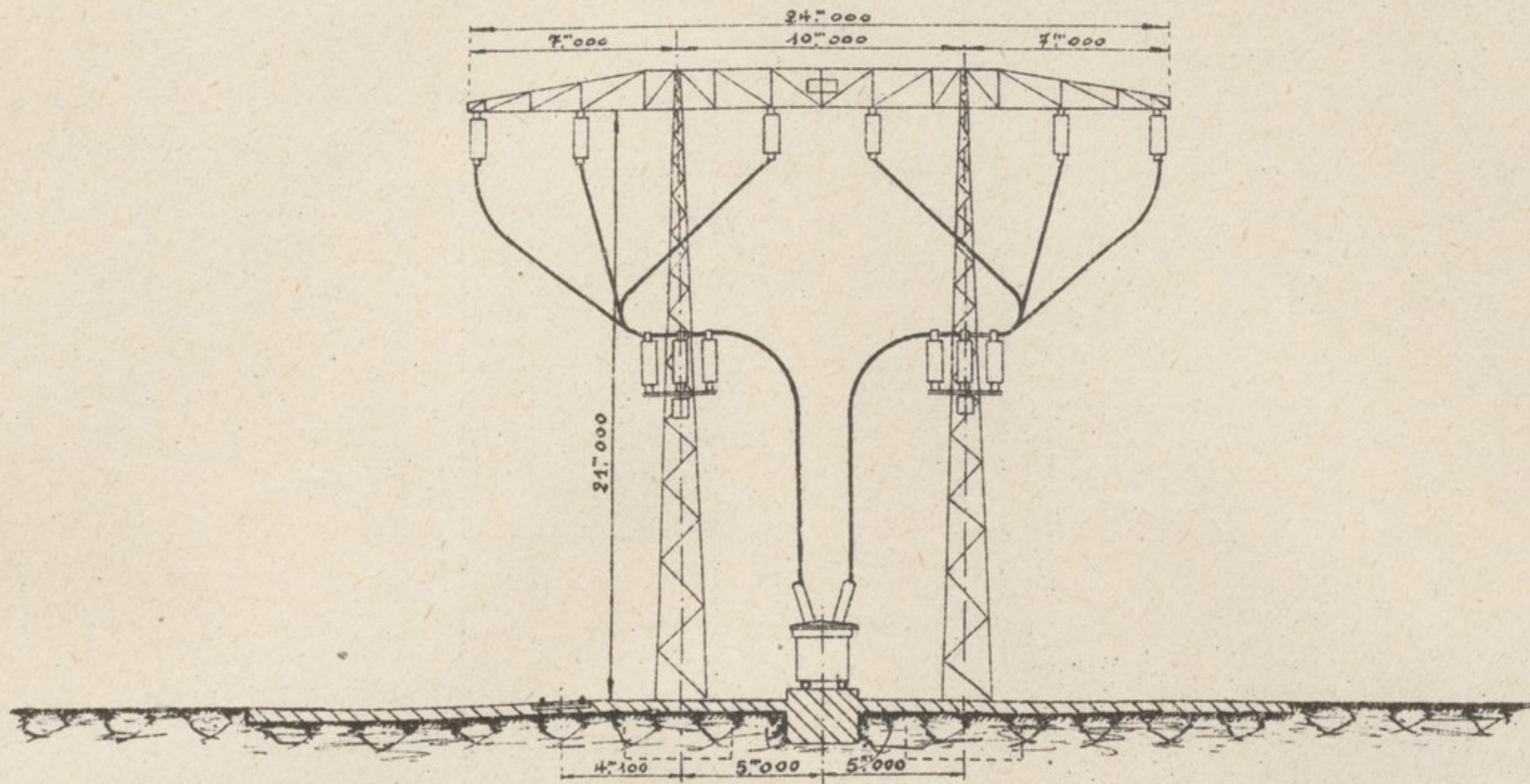
Vue en plan.



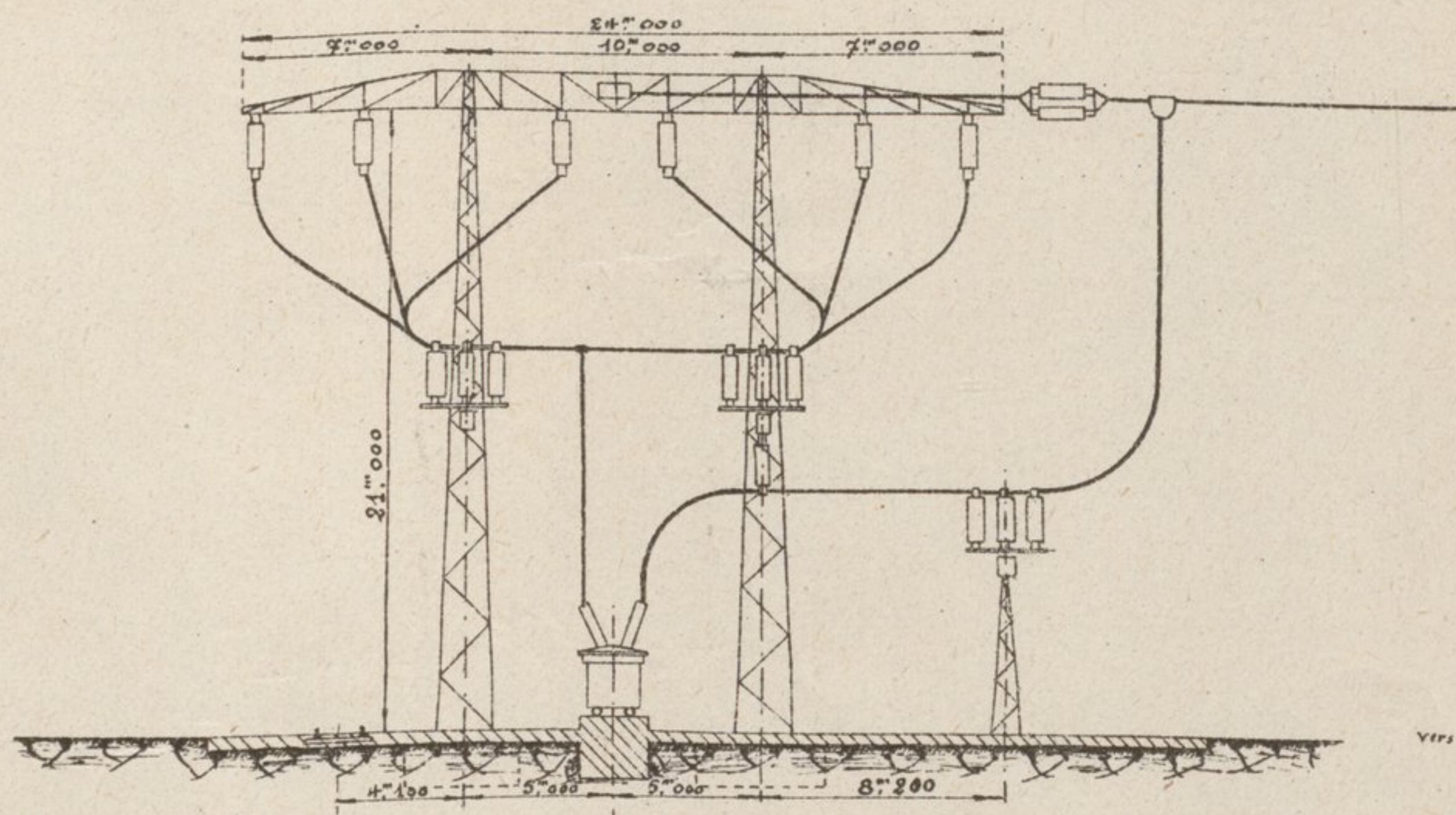
Poste de sectionnement 150.000 volts

Coupe transversale suivant A-B.

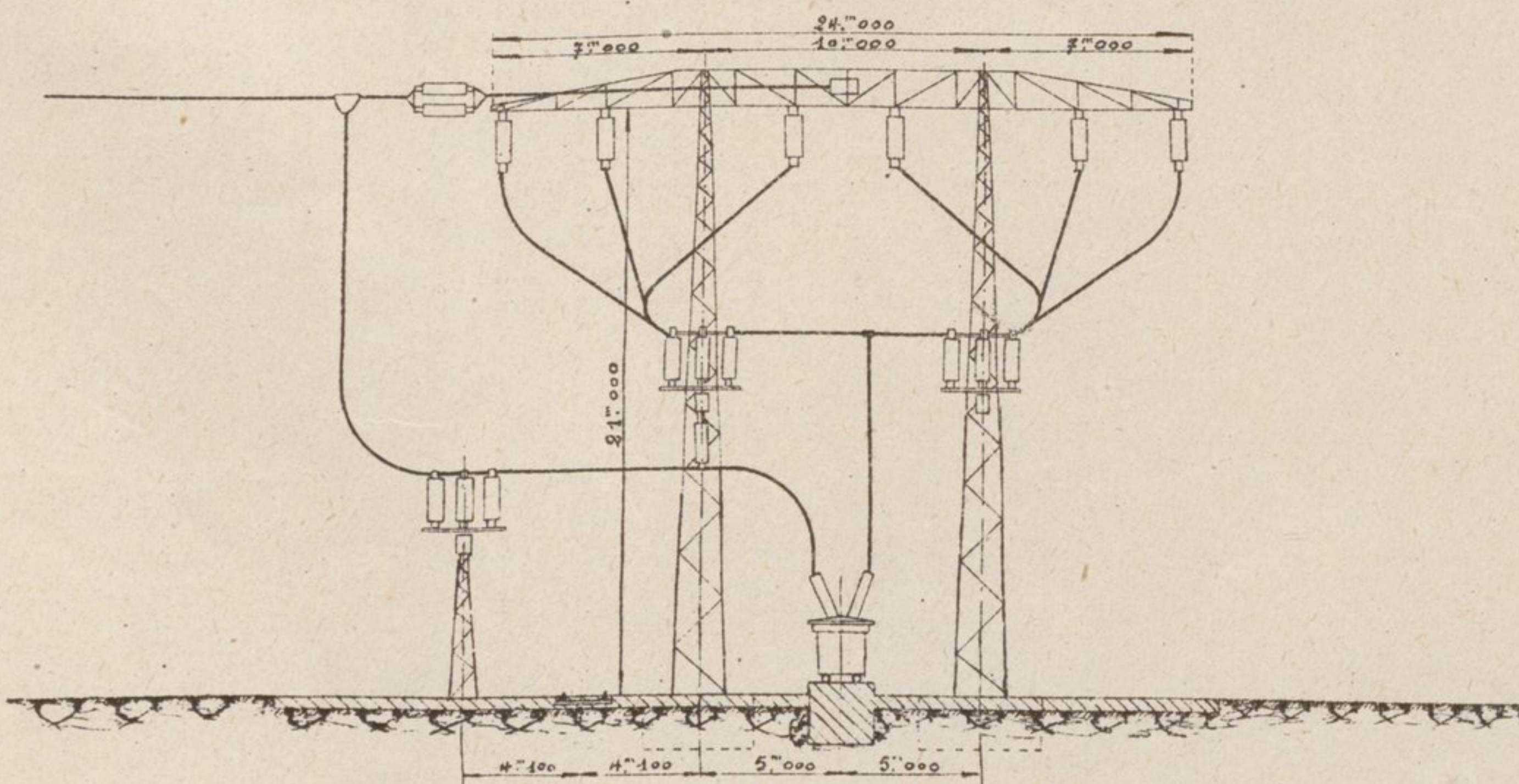
Echelle 1/435



Coupe transversale suivant C-D.



Coupe transversale suivant E-F.



LANNEMEZAN

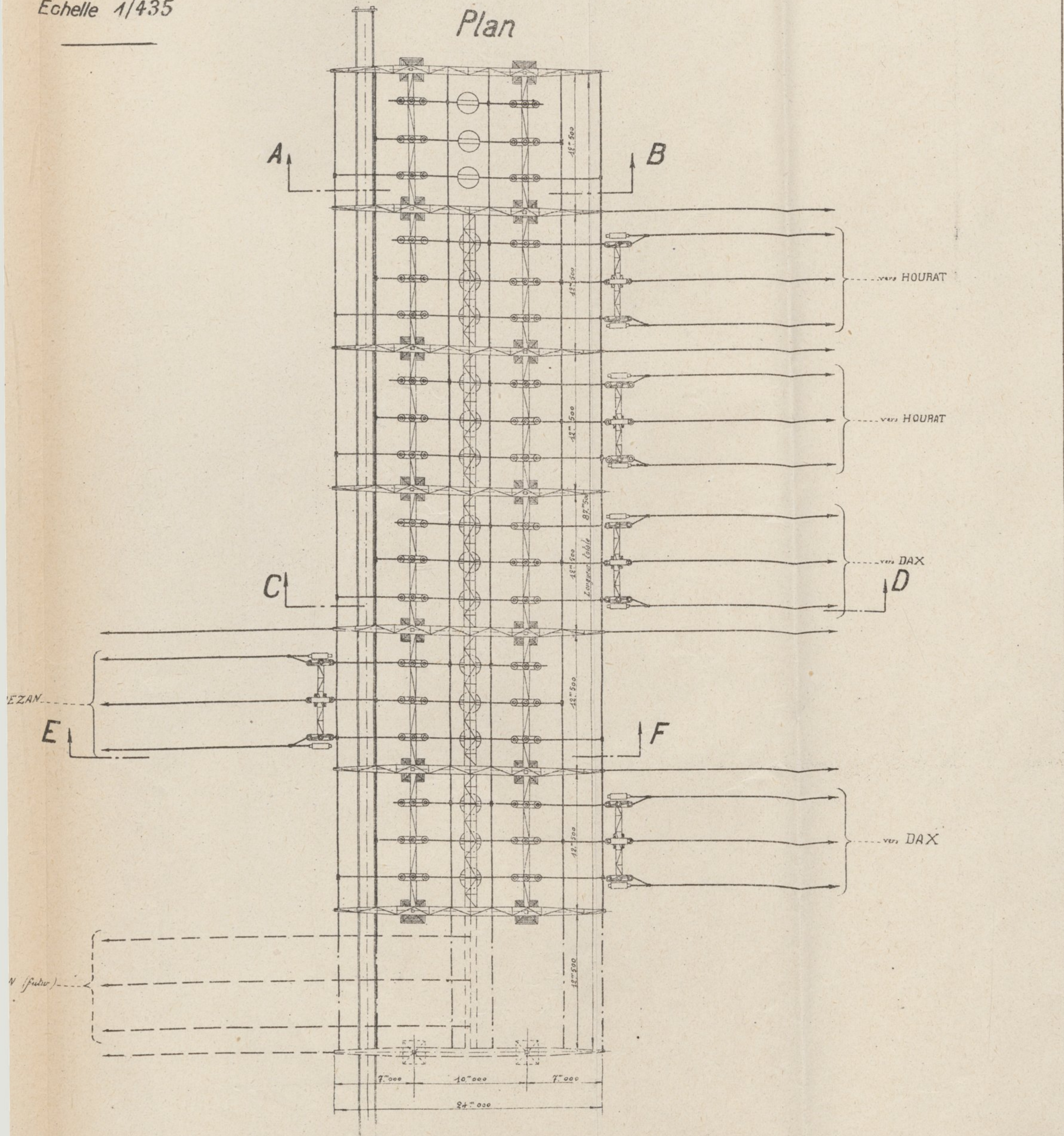
E

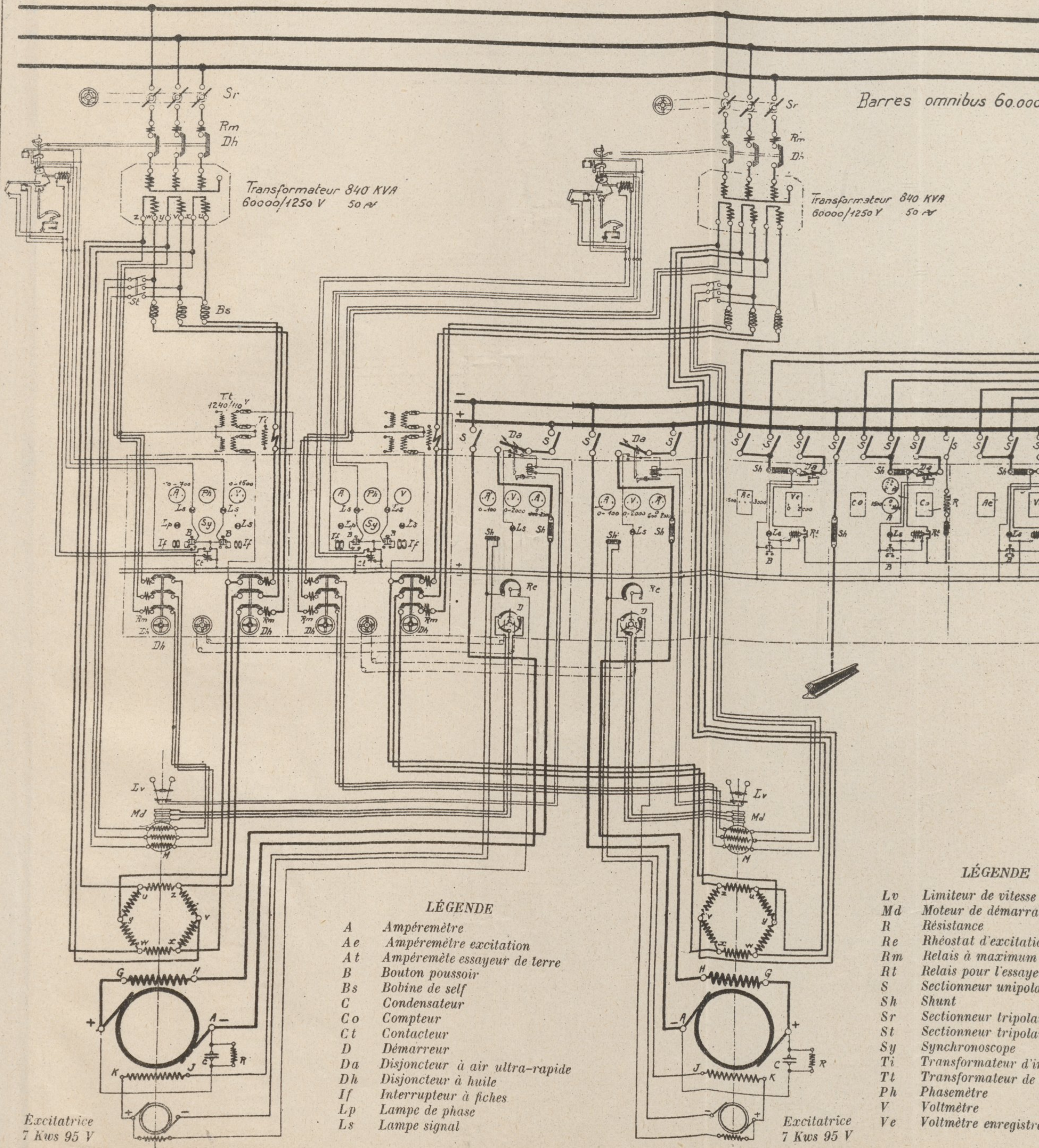
LANNEMEZAN (future)

tionnement 150.000 volts de PAU

Echelle 1/435

Plan





Barres omnibus 60.000

Transformateur 840 KVA
60000/1250 V 50 Hz

Transformateur 840 KVA
60000/1250 V 50 Hz

Tt
1240/110 V

LÉGENDE

- A Ampèremètre
- Ae Ampèremètre excitation
- At Ampèremètre essayeur de terre
- B Bouton poussoir
- Bs Bobine de self
- C Condensateur
- Co Compteur
- Ct Contacteur
- D Démarreur
- Da Disjoncteur à air ultra-rapide
- Dh Disjoncteur à huile
- If Interrupteur à fiches
- Lp Lampe de phase
- Ls Lampe signal

LÉGENDE

- Lv Limiteur de vitesse
- Md Moteur de démarrage
- R Résistance
- Re Rhéostat d'excitation
- Rm Relais à maximum
- Rt Relais pour l'essai
- S Sectionneur unipolaire
- Sh Shunt
- Sr Sectionneur tripolaire
- St Sectionneur tripolaire
- Sy Synchronoscope
- Ti Transformateur d'essai
- Tt Transformateur de terre
- Ph Phasemètre
- V Voltmètre
- Ve Voltmètre enregistreur

Excitatrice
7 Kws 95 V

Excitatrice
7 Kws 95 V

RAZE-NAY (3 commutatrices de 750 Kws. 1500 V. CC)

Barres omnibus 60.000 Volts

Transformateur 840 KVA
60000/1250 V 50 Hz

Transformateur 840 KVA
60000/1250 V 50 Hz

Départs 1500 a C.C.

Arrivée 10000 V C.A.

SERVICES AUXILIAIRES

- A Ampèremètre
- Di Disjoncteur à maxima de courant
- I Interrupteur
- If Interrupteur à fiches
- Iv Inverseur
- R Réducteur
- Rh Rhéostat de champ
- Rr Relais à retour de courant
- Sh Shunt
- Ti Transformateur d'intensité

LÉGENDE

- Lv Limiteur de vitesse
- Md Moteur de démarrage
- R Résistance
- Re Rhéostat d'excitation
- Rm Relais à maximum
- Rt Relais pour l'essayeur de terre
- S Sectionneur unipolaire
- Sh Shunt
- Sr Sectionneur tripolaire rotatif
- St Sectionneur tripolaire
- Sy Synchronoscope
- Ti Transformateur d'intensité
- Tt Transformateur de tension
- Ph Phasemètre
- V Voltmètre
- Ve Voltmètre enregistreur

Excitatrice
750 Kws 95 V

Excitatrice
7 Kws 95 V

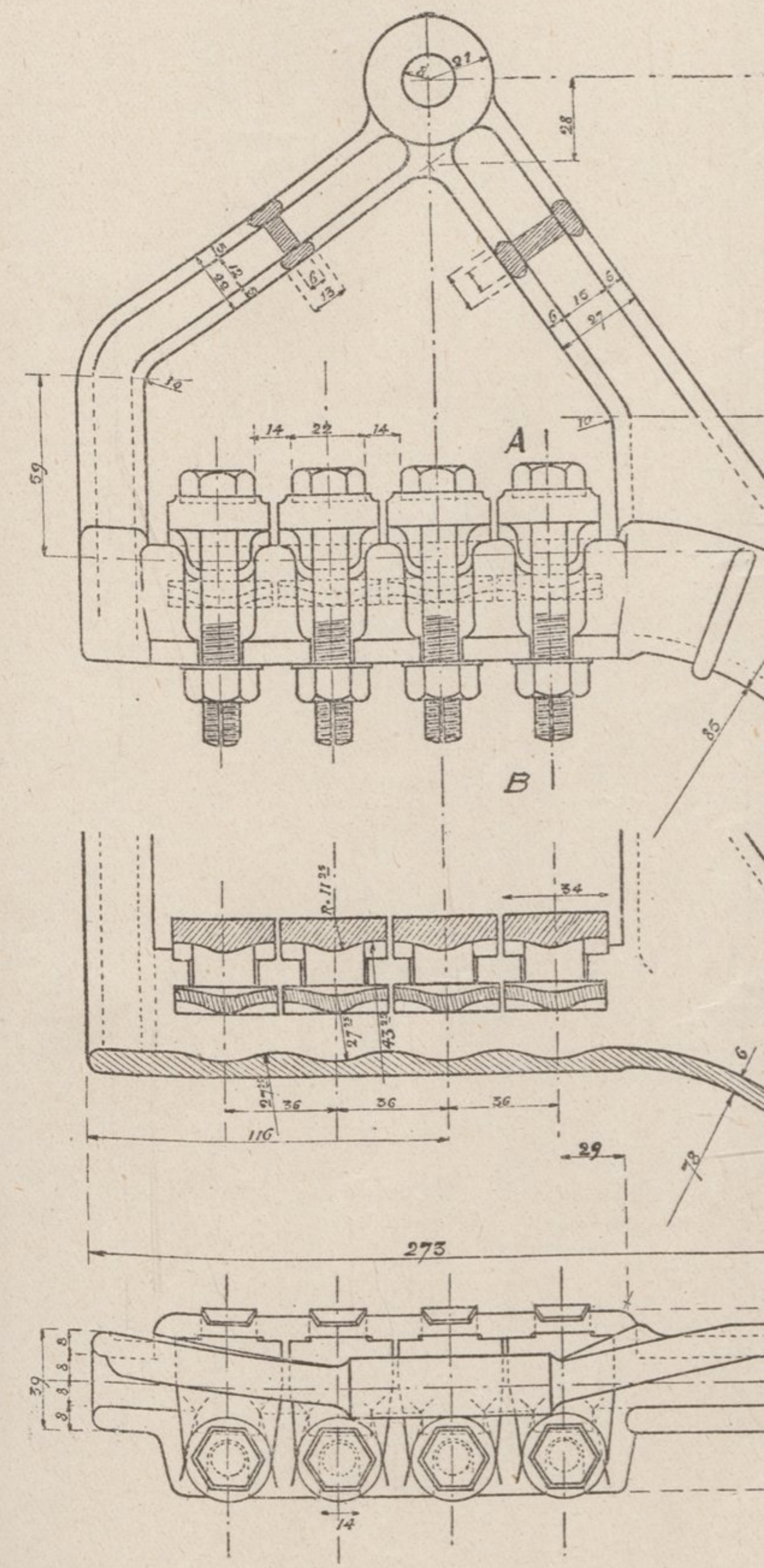
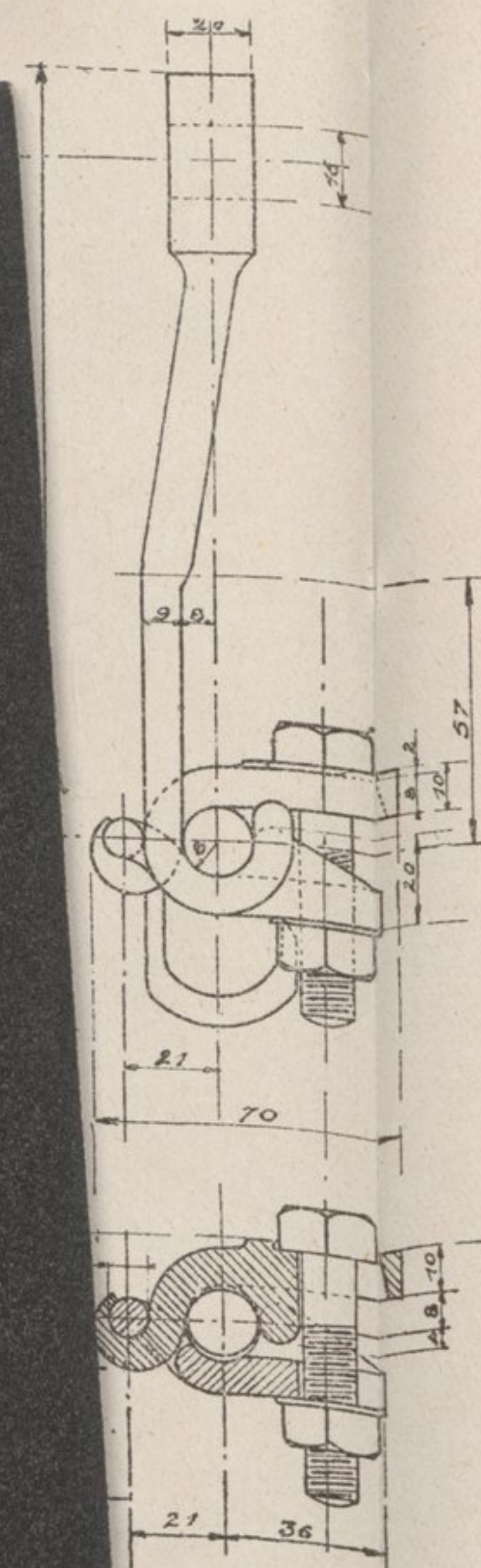
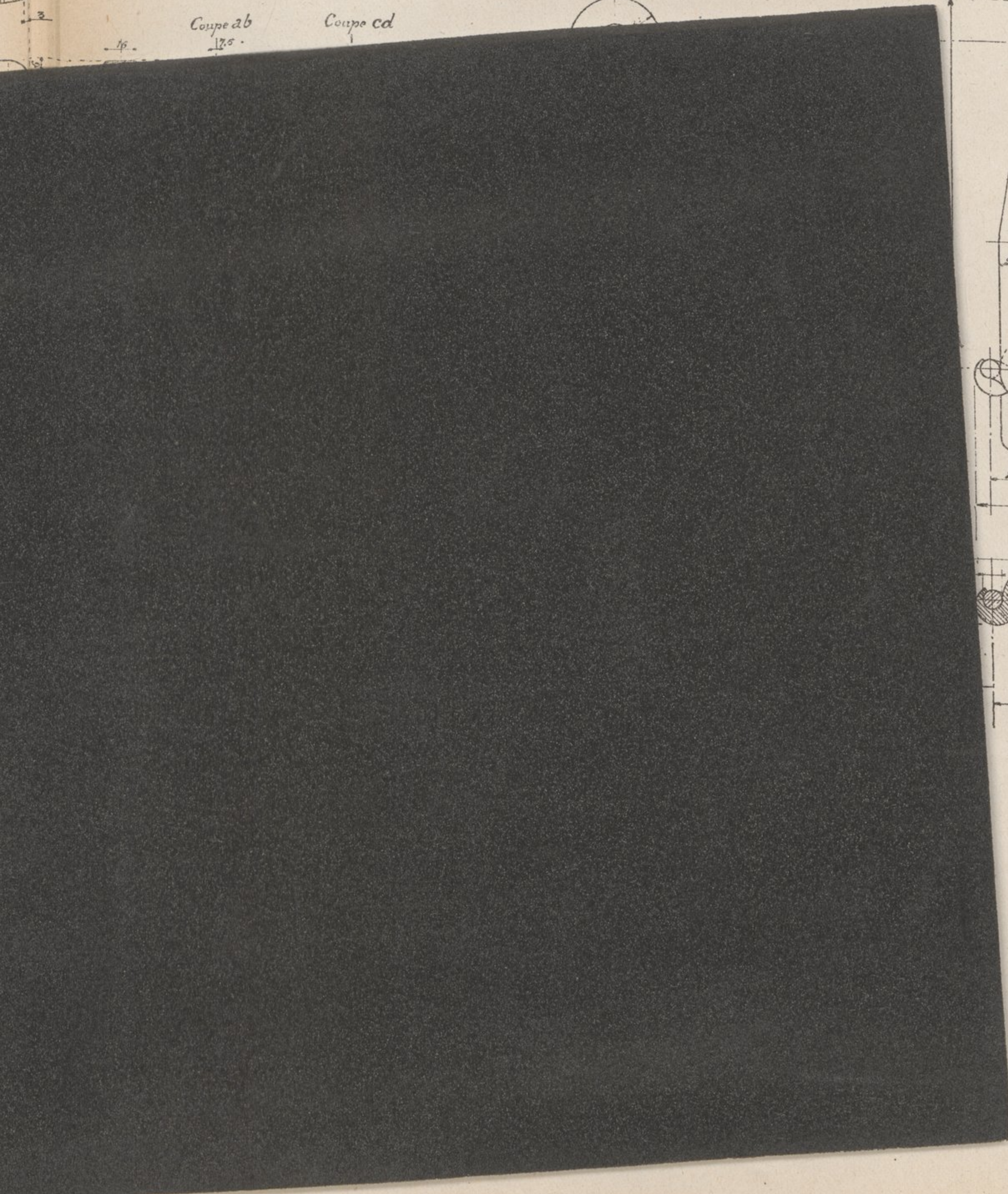
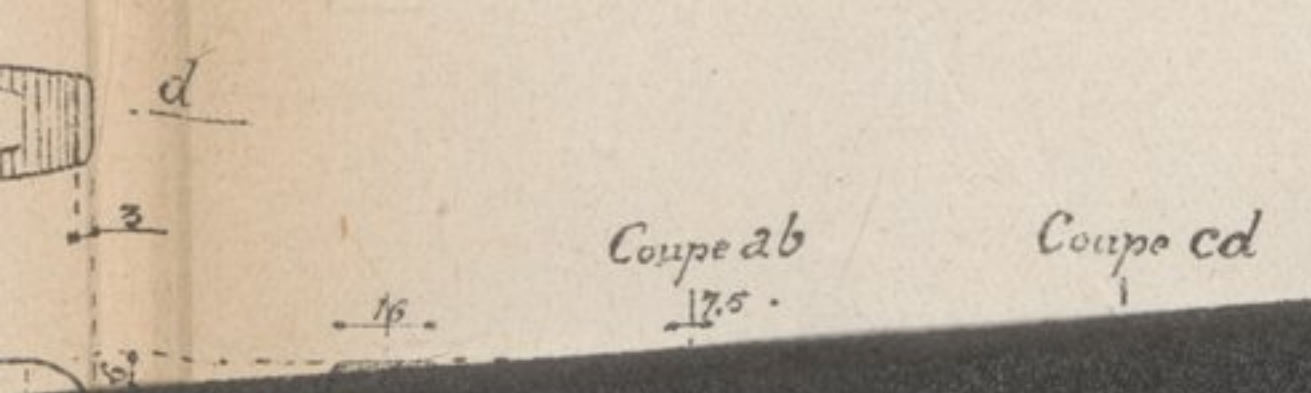
Services
auxiliaires

PIÈCES DIVERSES ENTRANT DANS LA COMPOSITION DES ARMEMENTS A

es de Serre-Cables Bifilaire de Jumelage

Pince d'Ancrage pour Arrêts en Alignement et en Angle

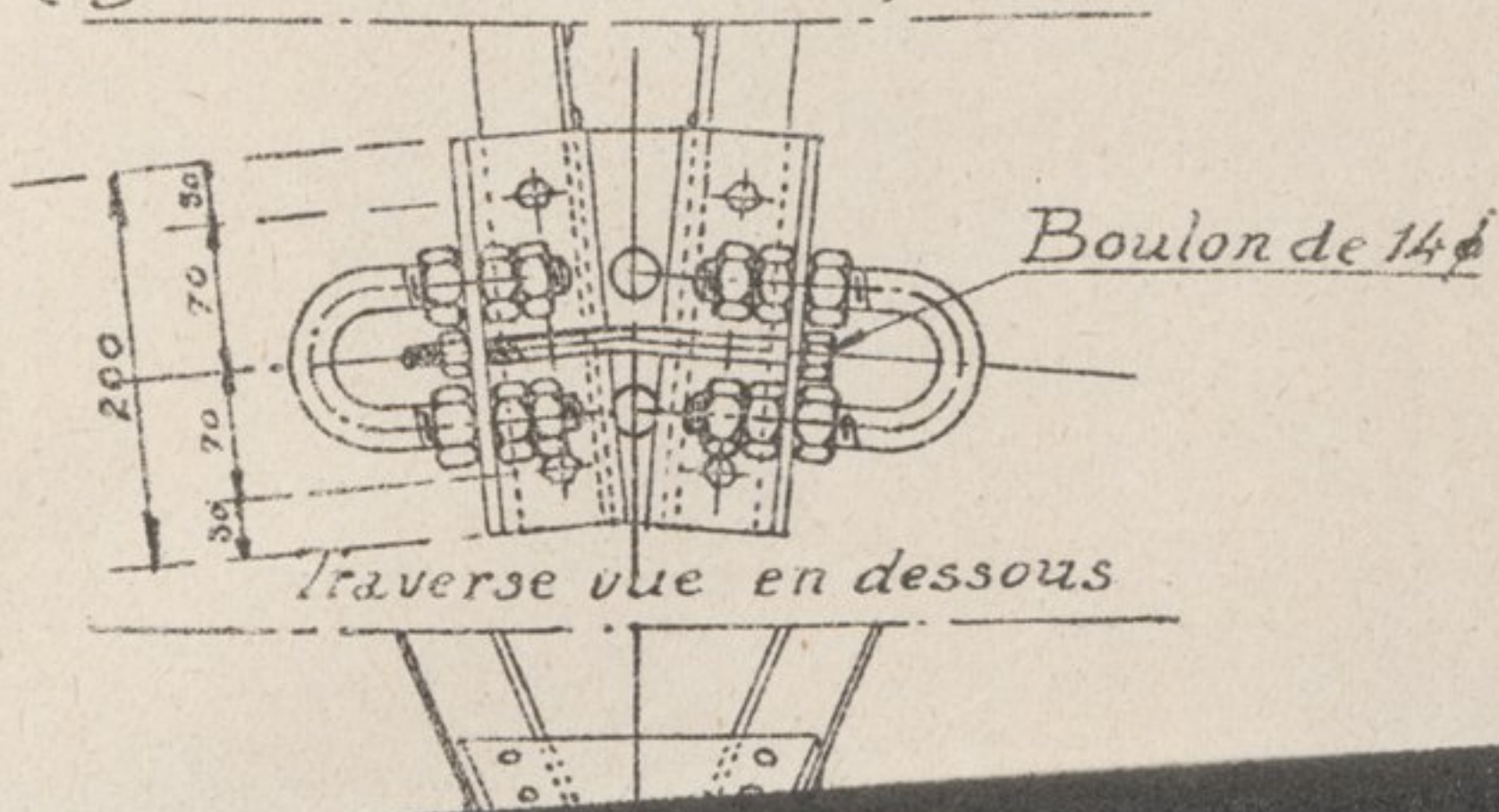
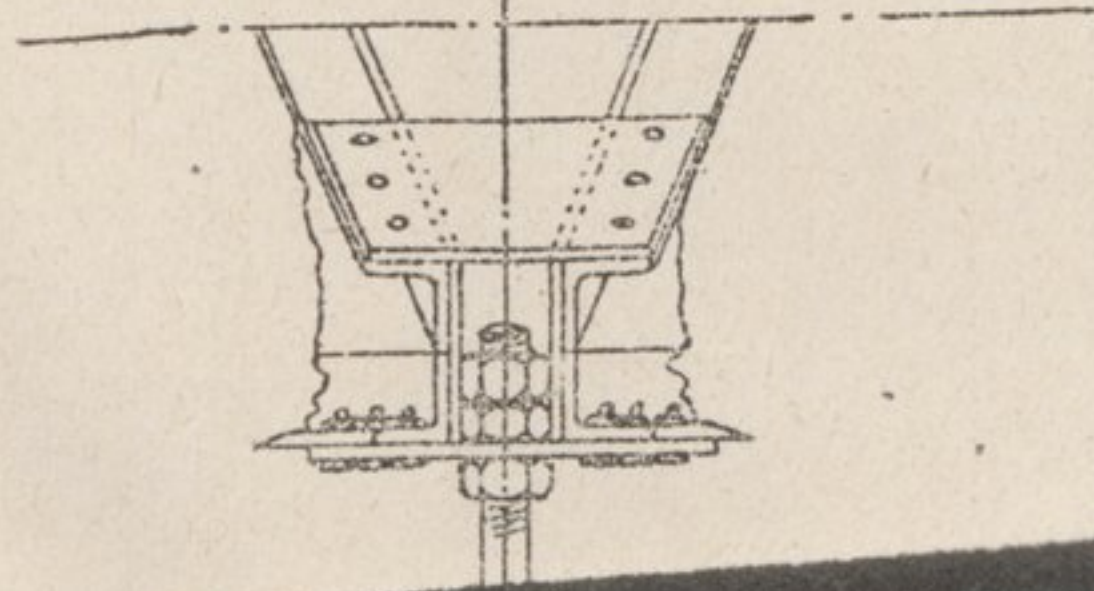
Pince d'Ancrage Bifilaire pour Traversées de Voies



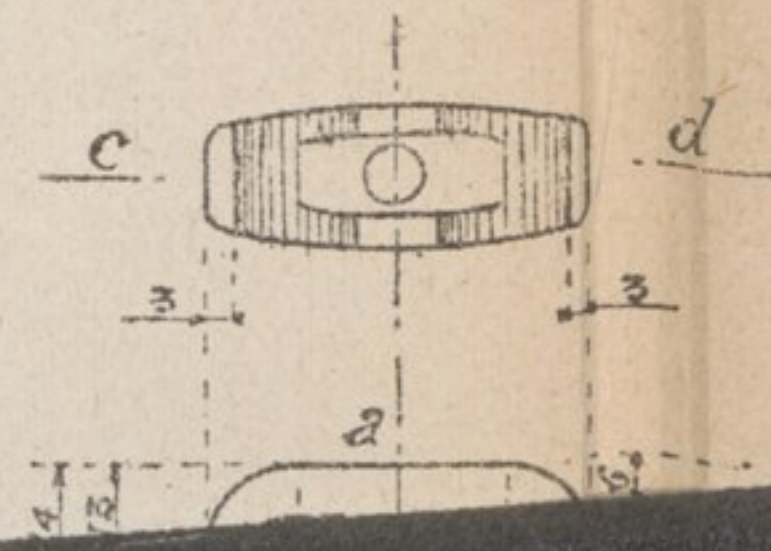
Bride d'attache des Chaines d'Isolateurs
Mode de Fixation de cette bride sur les Pylônes

*Dispositif spécial pour pylône d'alignement dans le cas d'utilisation de deux chaînes d'isolateurs.
(Pylônes en contrebas)*

Dispositif normal pour pylône d'alignement.



Pièces de Serre-Câbles Bifilaire de Jura



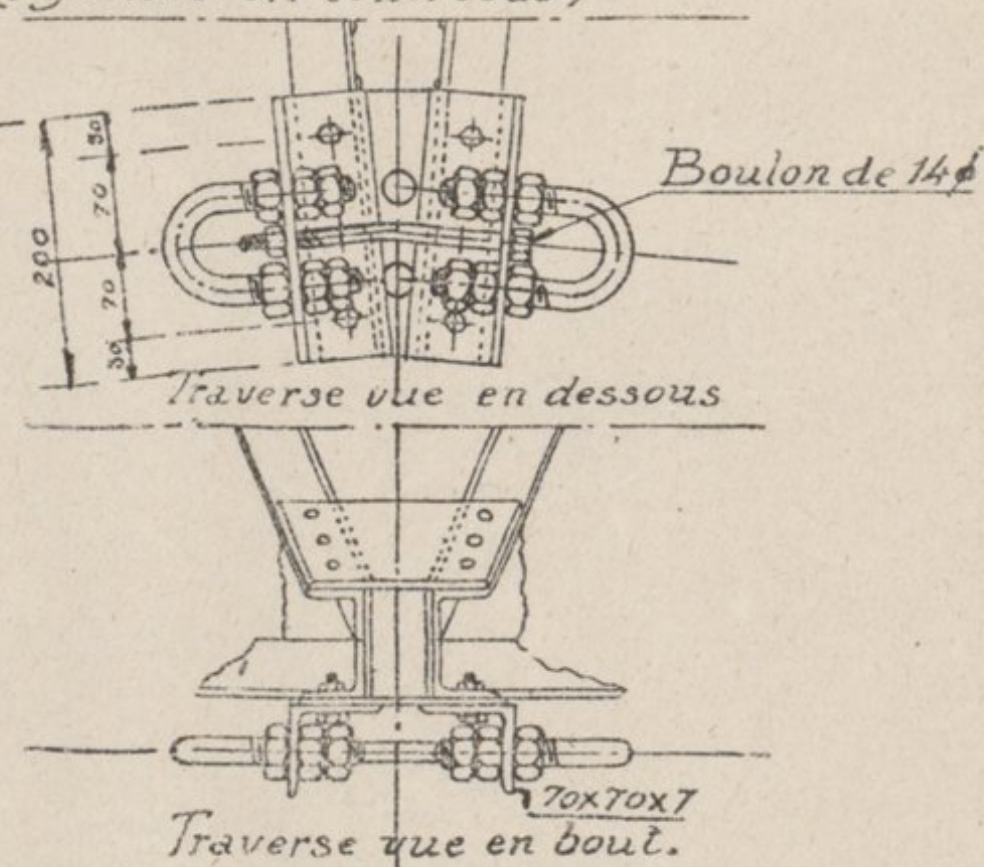
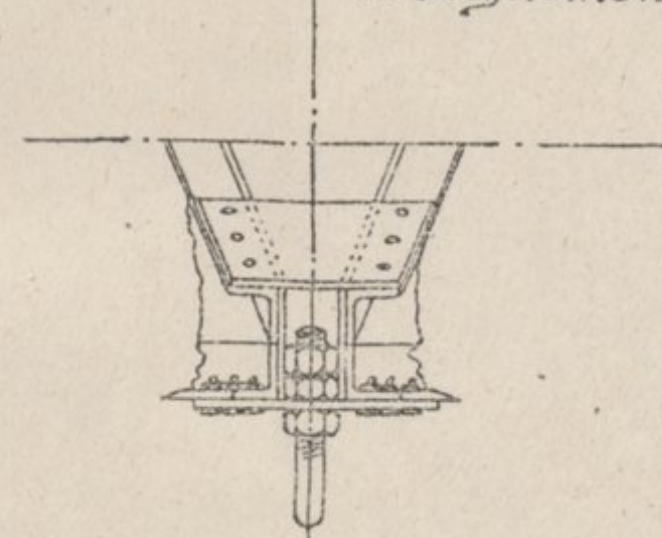
Coupe ab
175

Eride d'attache des Chaines d'Isolateurs

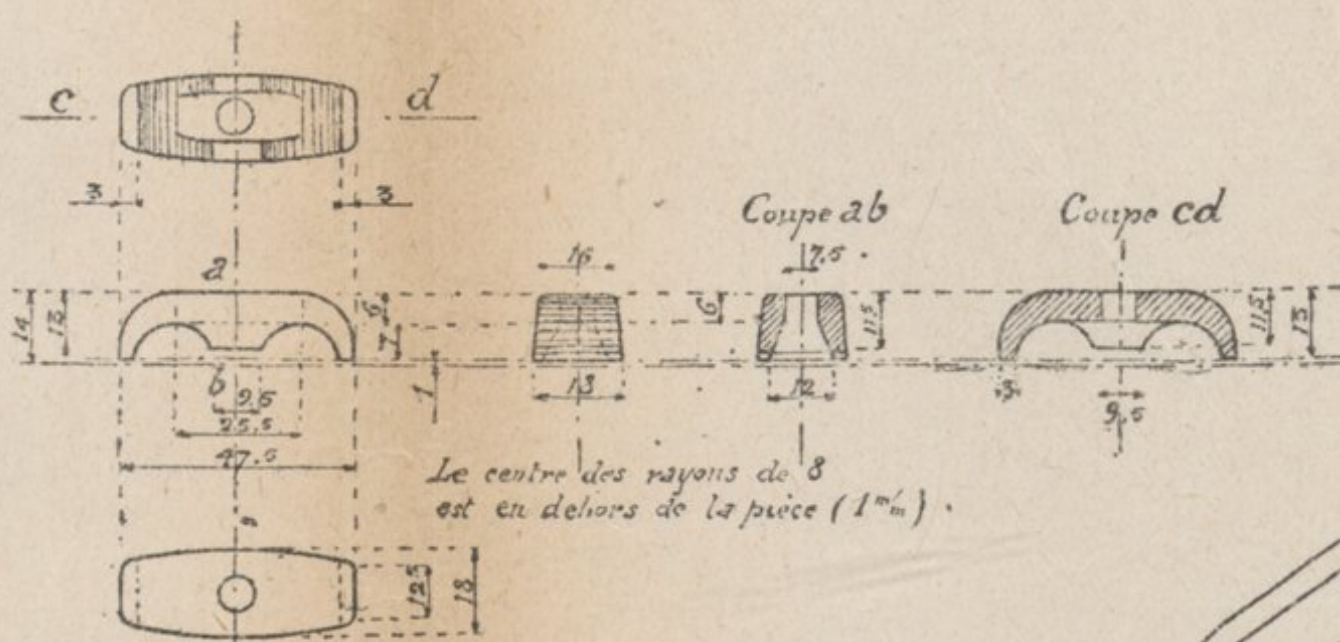
Mode de Fixation de cette bride sur les Pylônes

Dispositif spécial pour pylône d'alignement dans le cas d'utilisation de deux chaînes d'isolateurs. (Pylônes en contrebas)

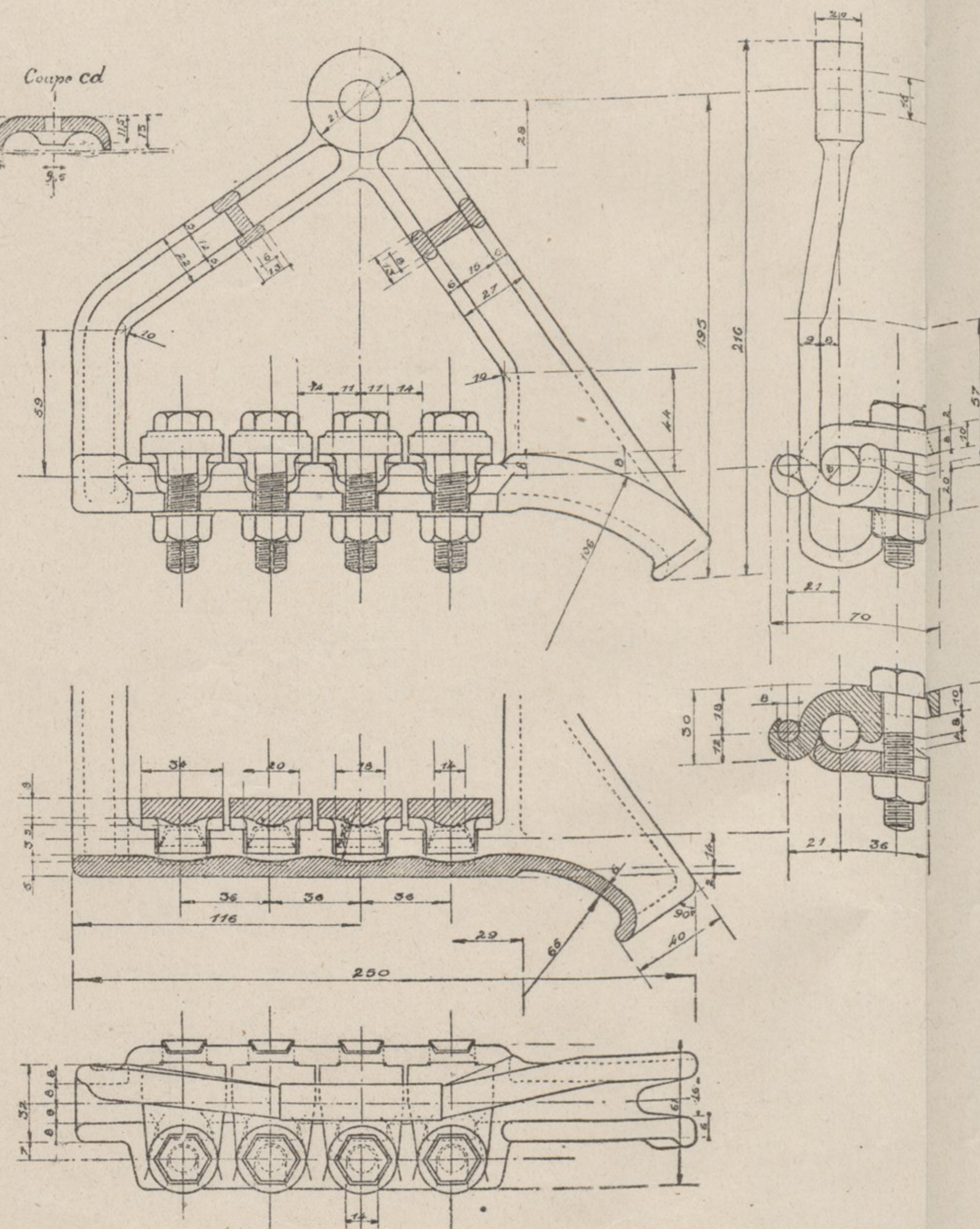
Dispositif normal pour pylône d'alignement.



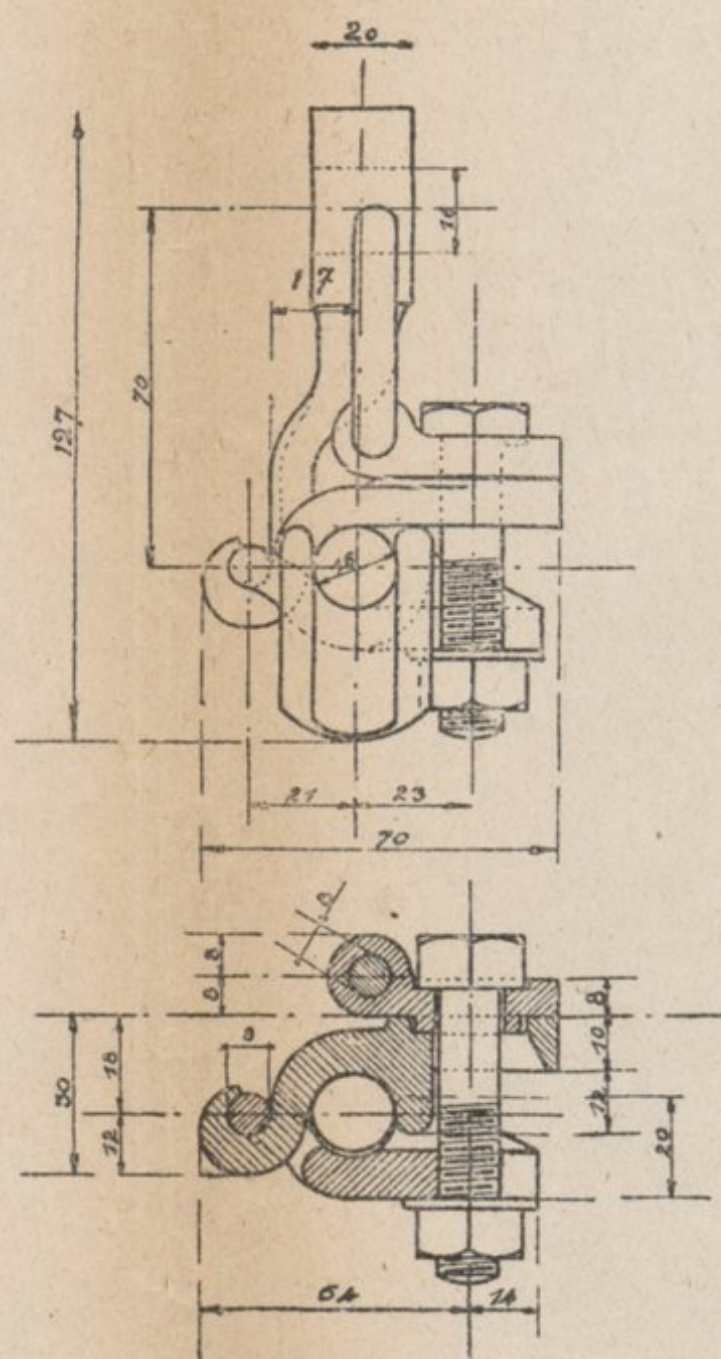
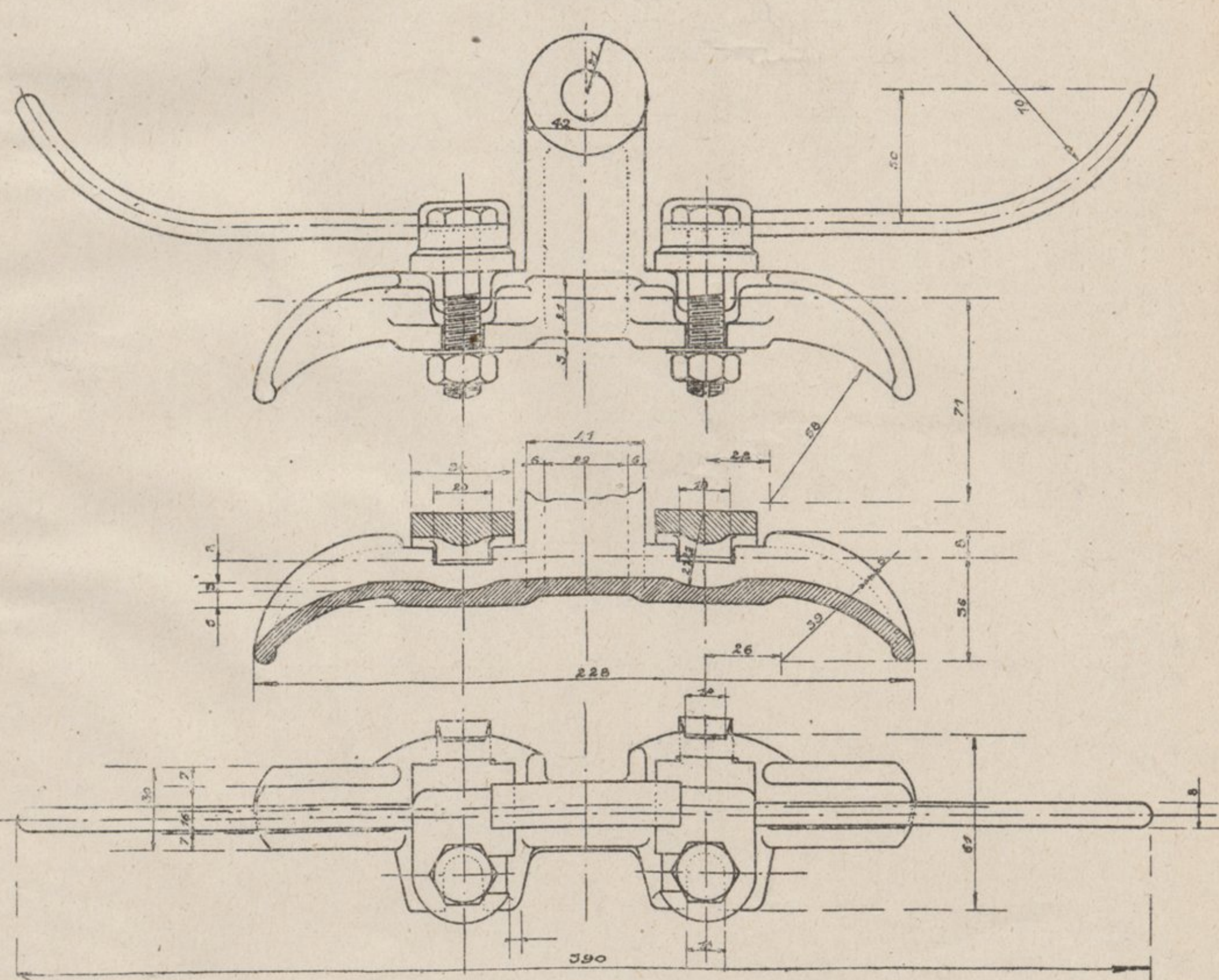
Pièces de Serre-Câbles Bifilaire de Jumelage



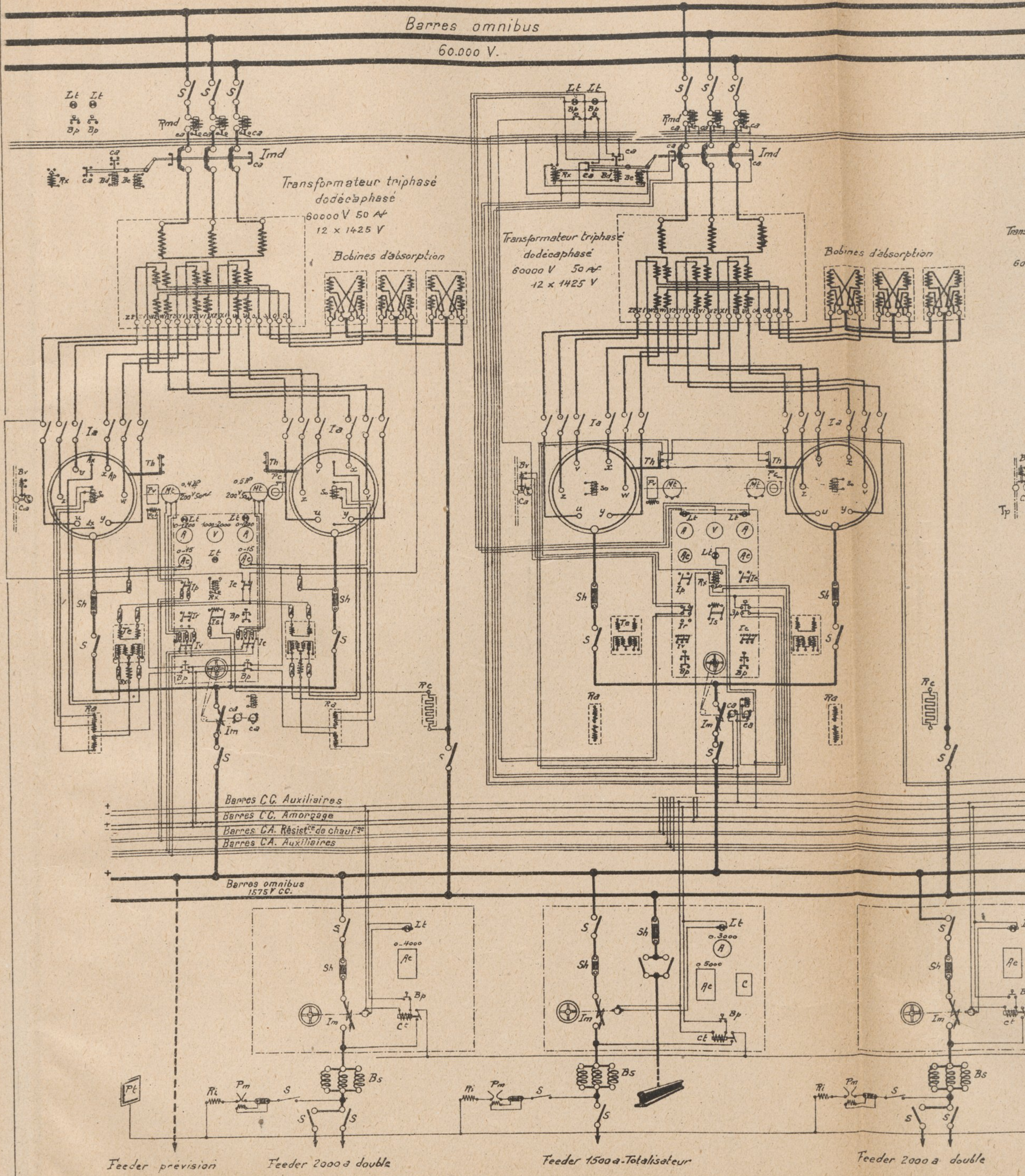
Pince d'Ancrage pour Arrêts en Alignement et en Angle



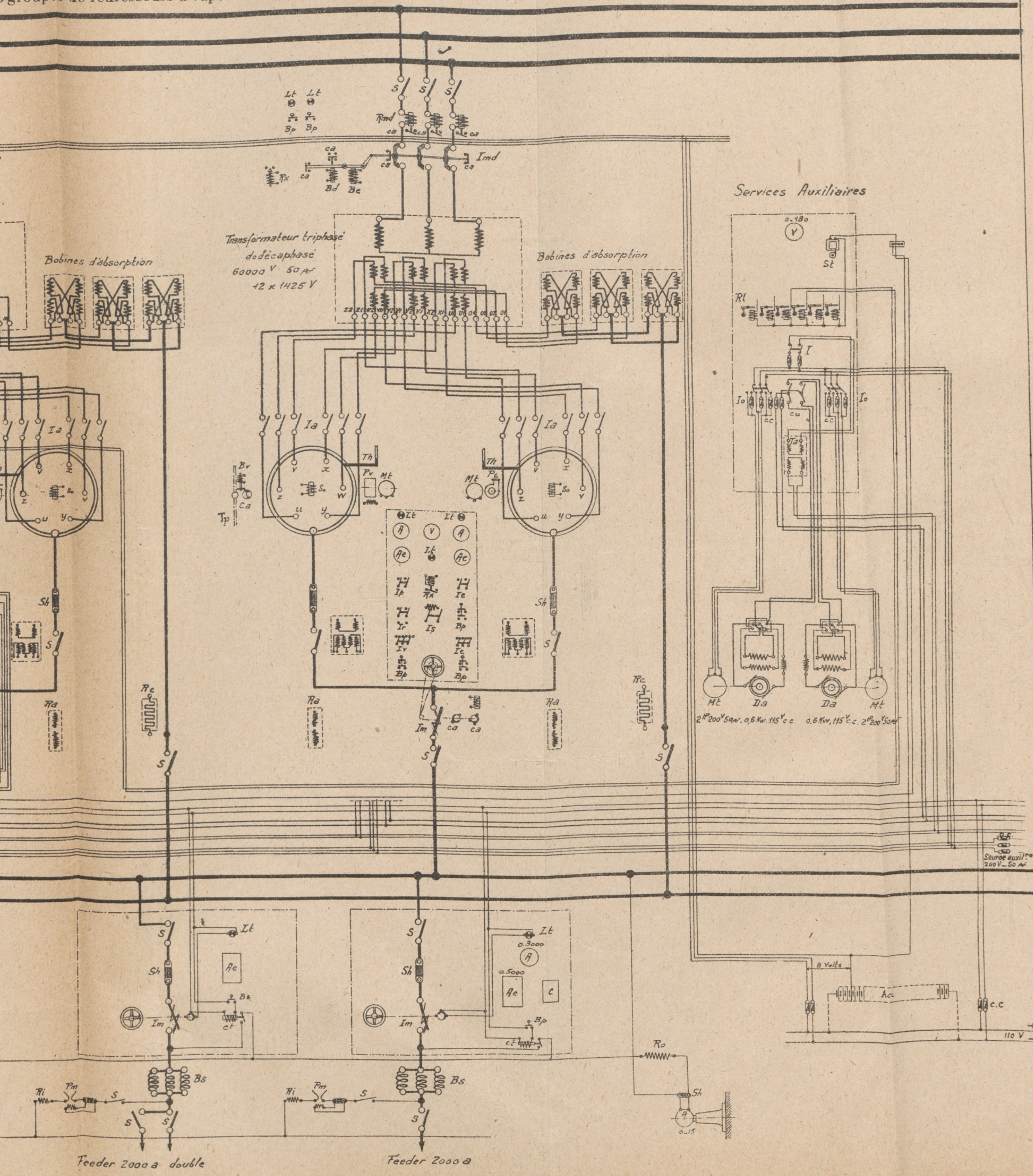
Pièce de Suspension de Câbles en Alignement



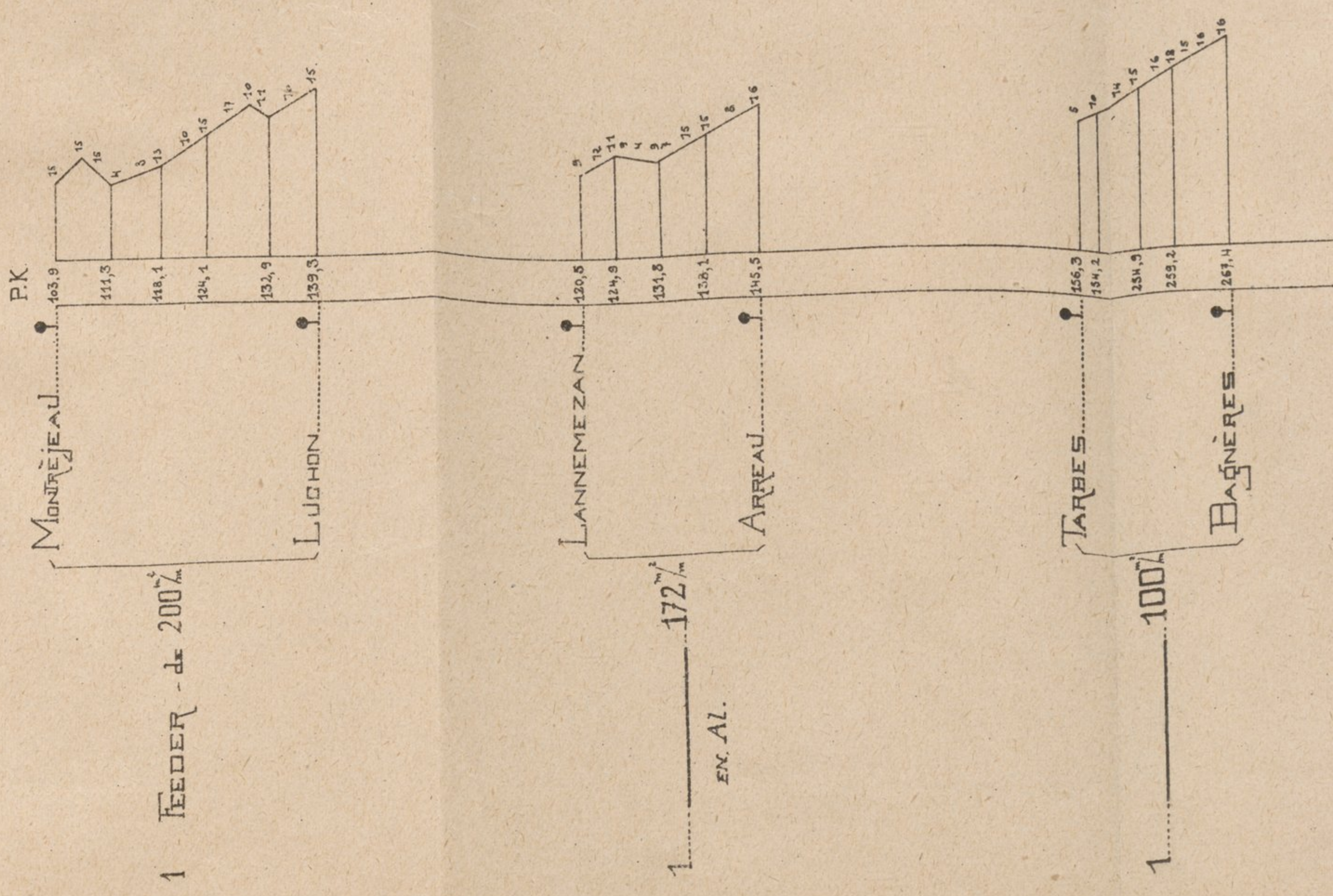
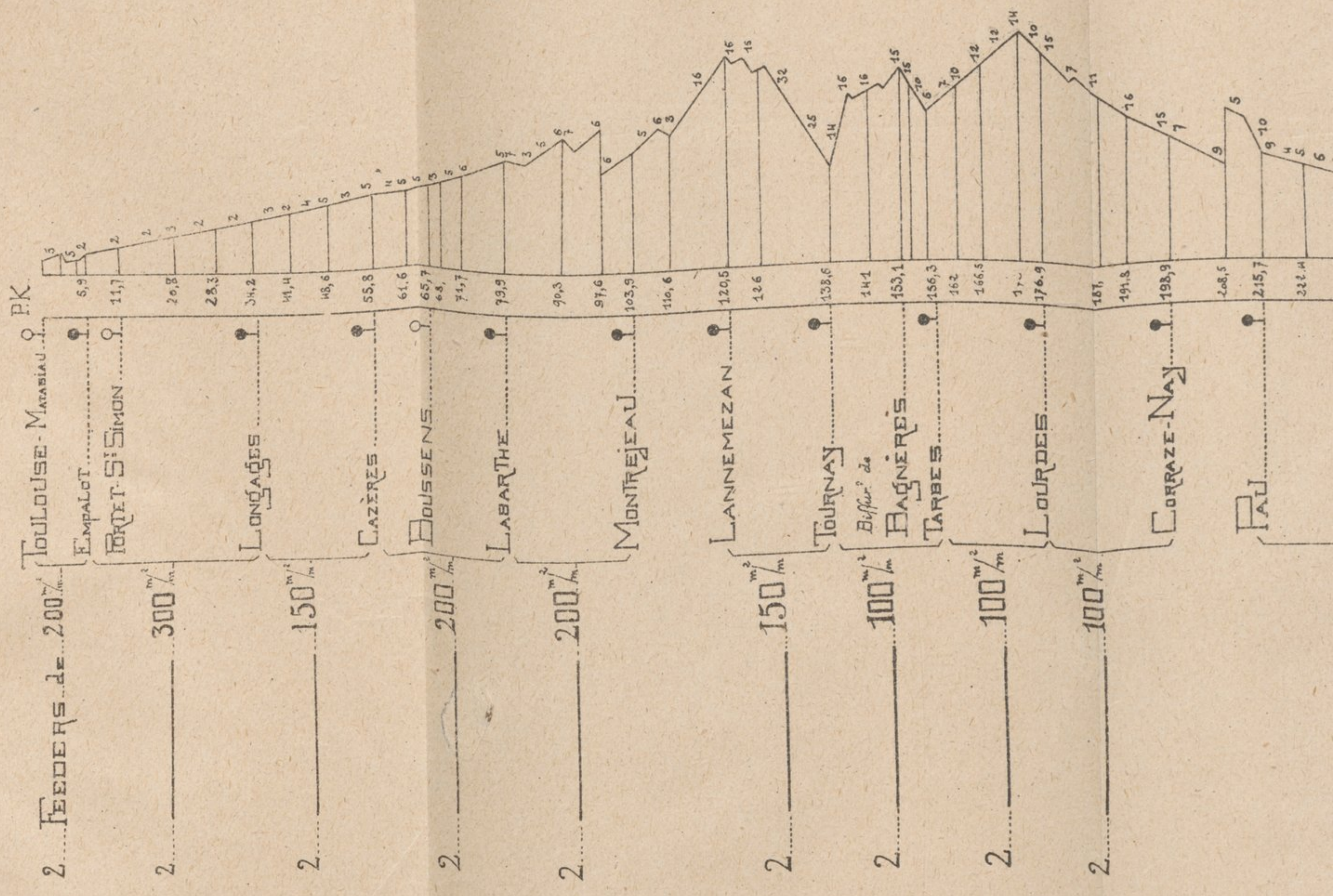
SOUS-STATION DE LOURDES (3 groupes de redresseurs à vapeur



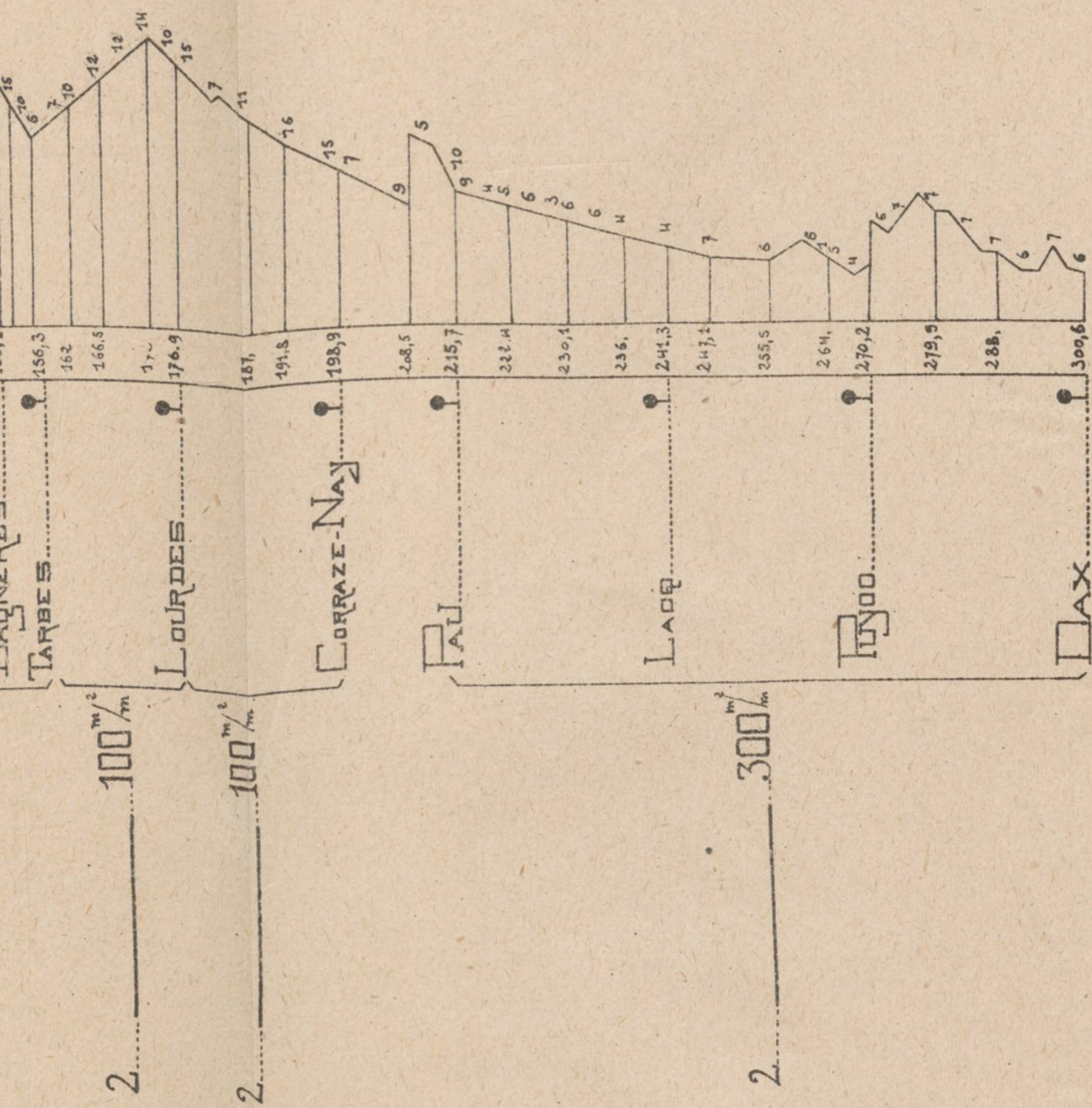
3 groupes de redresseurs à vapeur de mercure de 1200 Kws. 1500 V.CC)



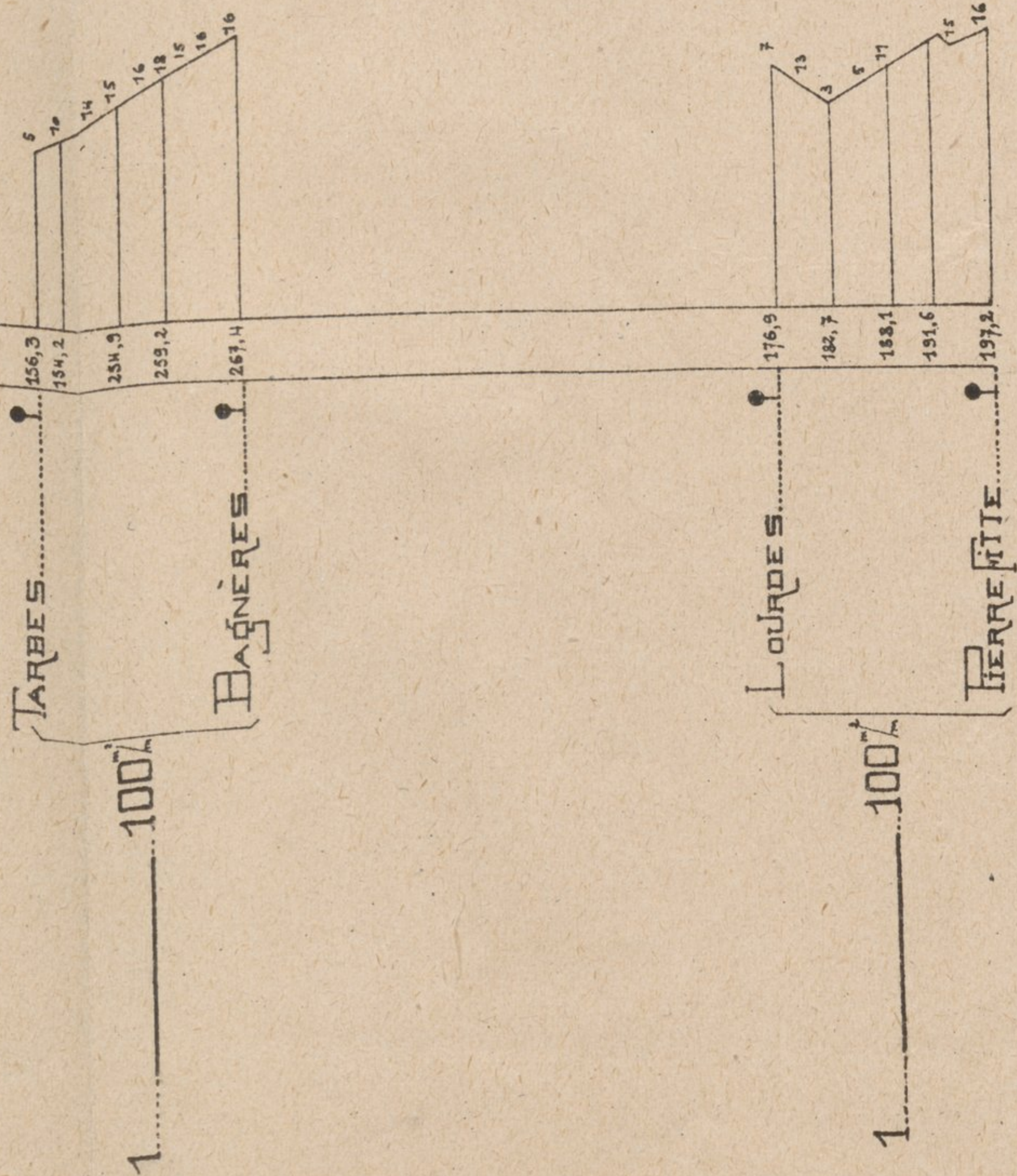
PROFILS EN LONG DE LA LIGNE DAX-TOULOUSE ET EMBRAN



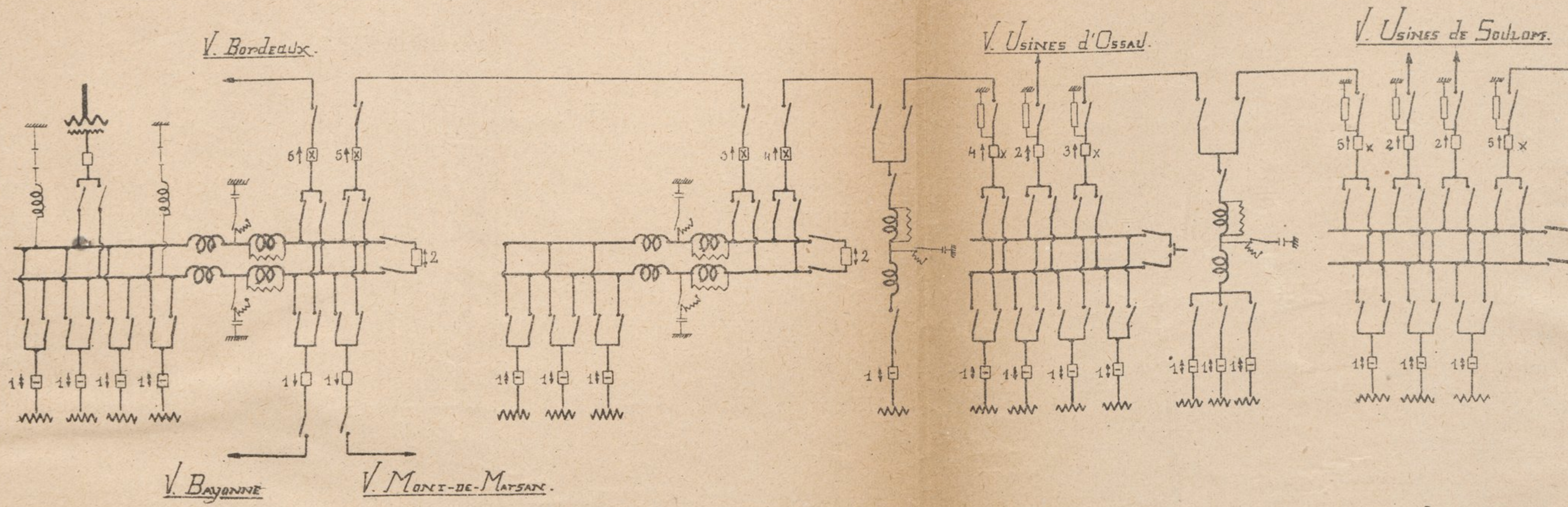
E DAX-TOULOUSE ET EMBRANCHEMENTS



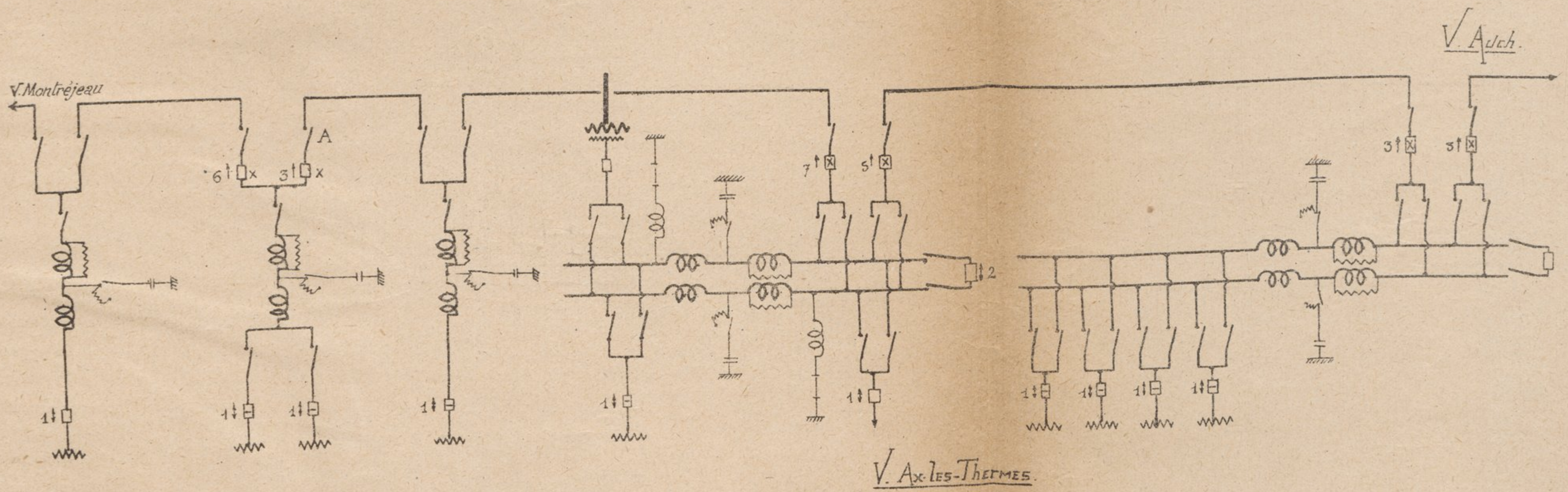
LÉGENDE
 ○ GARE AVEC SOUS-STATION
 — SANS —



PROTECTION DES INSTALLATIONS A 60.000 VOLTS DE LA

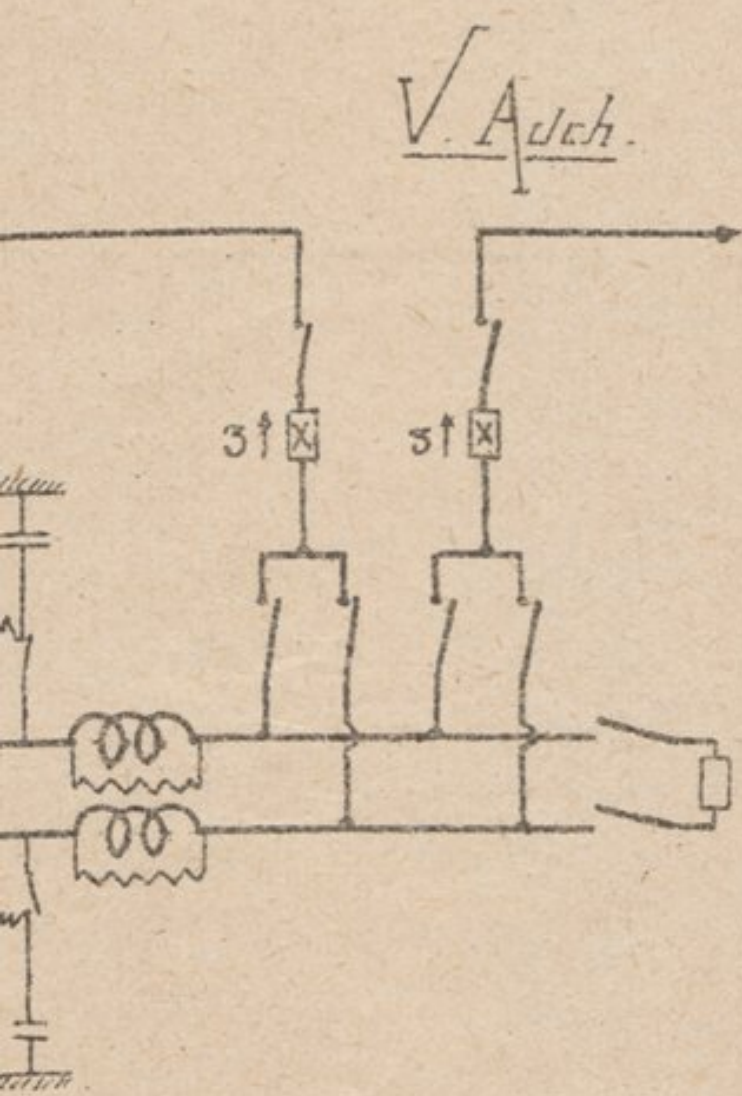
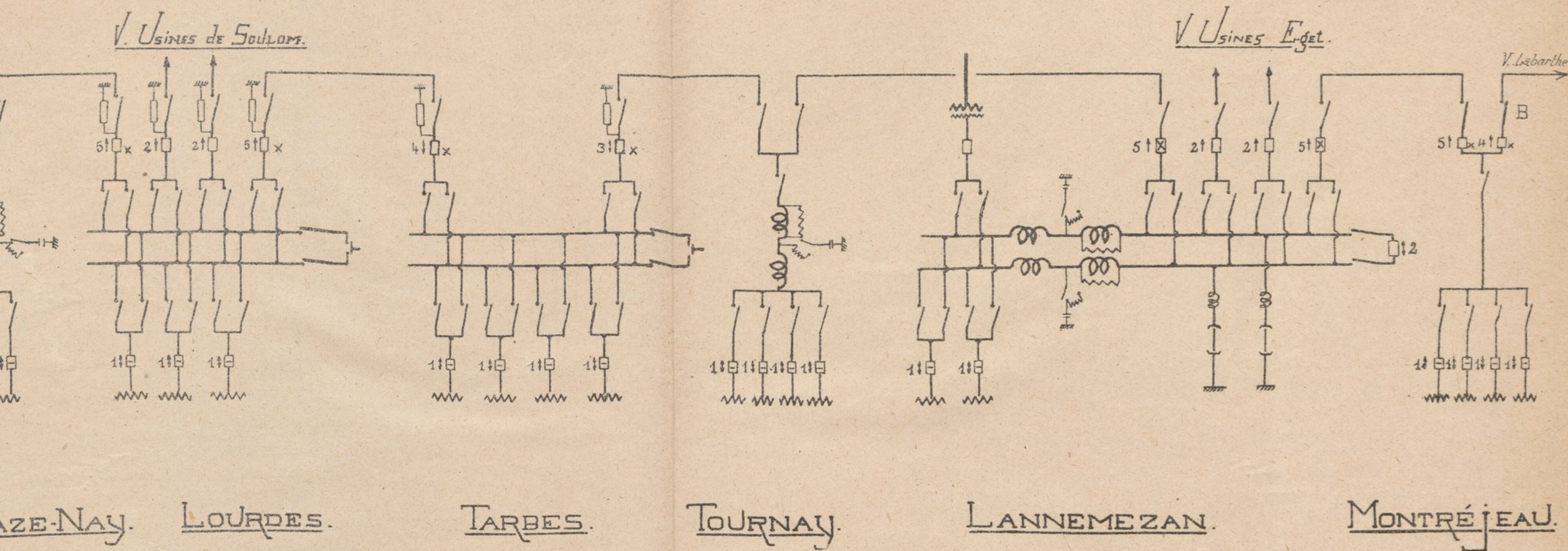


DAX. Puyo. LACQ. PAU. CORRAZE-NAY. LOURDES



LABARTHE. CAZERES. LONGAGE. PORTET-S-SIMON. EMPALOT.

INSTALLATIONS A 60.000 VOLTS DE LA LIGNE DE DAX A TOULOUSE



LÉGENDE.

- Sectionneur tripolaire.
- Interrupteur haute tension.
- Disjoncteur commandé par 3 Relais "C.R." (Montée Orde).
- Disjoncteur commandé par 3 Relais "C.R." (Montée Spél).
(Voir figure 59).
- Disjoncteur commandé par 3 Relais "C.O."
- Disjoncteur sur les bornes duquel sont montés directement des transformateurs d'intensité qui alimentent des relais "C.O."
- Disjoncteurs commandés par relais directs. Fonction instantané.
- No d'ordre de déclenchement des disjoncteurs.
- Appareil de protection contre surtensions. Dispositif Capart.
- Bobines d'écoulement pour charges statiques.
- Transformateur de puissance.
- Transformateur 150.000/60.000 volts.
- Circuit à 60.000 volts.
- Circuit à 150.000 volts.
- Sens du transport d'énergie pour lequel la puissance électrique est limitée.
- Parafoudre électrolytique.

NOTE

SUR

l'Électrification des Chemins de Fer du Midi

PAR

M. P. LÉBOUCHER,

INGÉNIEUR EN CHEF

M. H. LEDOUX,

INGÉNIEUR PRINCIPAL

DES SERVICES TECHNIQUES DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DE LA COMPAGNIE DU MIDI.

(Pl. IX).

(Suite ⁽¹⁾).

LOCOMOTIVES BB DE 1.000 CHEVAUX.

La Compagnie des Chemins de fer du Midi a mis en service le 30 Octobre 1922, la première des locomotives électriques de 1.000 chevaux à courant continu 1.500 V construites par la Société des Constructions Electriques de France. Ces locomotives, au nombre de 50, sont mises successivement en service sur la ligne de Dax à Toulouse et embranchements (2). Elles sont destinées à la remorque des trains de voyageurs ordinaires et des trains de marchandises. Les locomotives à voyageurs et à marchandises ont les mêmes caractéristiques générales : elles ne diffèrent seulement que par le rapport des engrenages qui permet d'obtenir des vitesses différentes suivant l'un ou l'autre des services auquel elles sont affectées.

Elles sont du type BB, c'est-à-dire à 2 bogies moteurs, chaque essieu de bogie étant attaqué par un moteur, par l'intermédiaire de 2 jeux d'engrenages. Les moteurs, au nombre de 4 par machine, sont suspendus par le nez et sont alimentés directement sous la tension 1.500 V. Leur puissance continue est de 250 chevaux et leur puissance unihoraire de 350 chevaux.

(1) Voir *Revue Générale*, N^{os} de Mars, Mai et Juin 1923.

(2) Depuis le 1^{er} Mai 1923, tout le service, marchandises et voyageurs, est assuré entre Tarbes et Pau par les dix premières locomotives livrées.

La puissance des locomotives est donc de 1.000 chevaux en marche continue et de 1.400 chevaux en marche unihoraire.

Les locomotives destinées à la remorque des trains de marchandises donnent cette puissance continue à la vitesse de 30 km à l'heure et la maintiennent par shuntage des inducteurs jusqu'à 45 km à l'heure. Elles peuvent atteindre 55 km à l'heure. Les locomotives destinées à la remorque des trains de voyageurs donnent leur puissance continue à la vitesse de 50 km à l'heure et la maintiennent par shuntage des inducteurs, jusqu'à 74 km à l'heure. Elles peuvent atteindre 90 km à l'heure. Dans les deux types de locomotives il est prévu 4 crans de shuntage des inducteurs, le dernier cran correspondant à 65 % de shuntage.

Les 4 moteurs de traction sont refroidis artificiellement à l'aide de 2 ventilateurs actionnés par un moteur auxiliaire alimenté à 1.500 V. Ce moteur assure en outre les services auxiliaires à l'aide de 2 génératrices à courant continu montées sur le même arbre et dont nous étudierons le rôle ultérieurement.

Ces locomotives sont munies du contrôle par unités multiples.

Elles sont en outre prévues pour le freinage par récupération. La récupération s'effectue entre les limites de vitesses suivantes :

Locomotives à voyageurs.....	entre 32 et 60 kmh
Locomotives à marchandises.....	entre 20 et 37 kmh

Sur une pente quelconque, les locomotives, tant à voyageurs qu'à marchandises, peuvent freiner par récupération un train d'un tonnage égal à celui qu'elles peuvent remorquer en puissance unihoraire sur la même rampe.

CHAPITRE I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Avant de passer à la description mécanique et électrique de ces locomotives qui comportent un certain nombre de dispositions nouvelles, notamment au point de vue de la suspension, nous croyons utile de rappeler les conditions de stabilité longitudinale et transversale que doit remplir une locomotive à 2 bogies moteurs. Ces conditions nous conduiront tout naturellement à la solution qui a été adoptée pour la suspension des locomotives que nous étudions.

Stabilité longitudinale d'un bogie à 2 moteurs suspendus par le nez. — Dans un article de la *Revue Générale des Chemins de fer*, de 1905, M. Herdner a publié une lumineuse étude sur la stabilité des locomotives à vapeur, mais n'a traité qu'accessoirement le cas d'une locomotive comportant des essieux attaqués par engrenages, cette question n'ayant à cette époque que peu d'intérêt. Nous la reprendrons avec un peu plus de détails en employant les notations suivantes (Fig. 1) :

Soient :

e , l'écartement des essieux ;

R , le rayon des roues motrices ;

r_1 , le rayon de la roue dentée calée sur la roue motrice ;

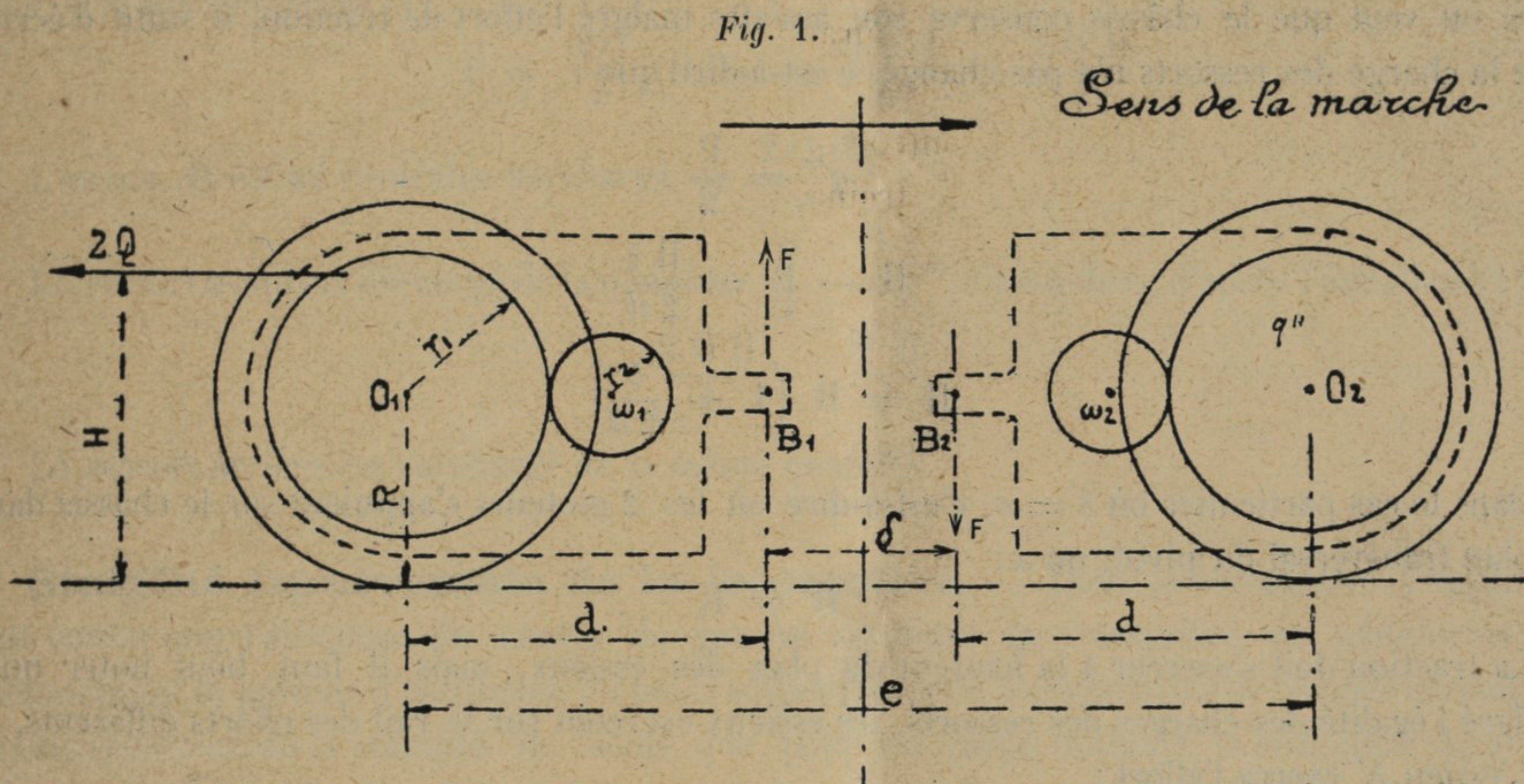
r_2 , le rayon du pignon denté claveté sur l'arbre du moteur en ω_1 ;

d , la distance horizontale entre l'essieu et l'appui B_1 du moteur sur la traverse du bogie ;

- z , la distance horizontale entre les 2 appuis B_1 et B_2 des 2 moteurs sur la traverse;
- P , la fraction du poids de la caisse portée par le bogie, plus le poids du châssis du bogie et la fraction du poids des moteurs portée par la traverse;
- Q , l'effort de traction de chacune des roues motrices;
- q' q'' , les charges des ressorts de chacune des roues motrices;
- H , la hauteur à laquelle s'exerce l'effort de traction au-dessus du plan des rails de roulement;
- π , le poids d'un essieu et de la partie du moteur non portée par la traverse.

L'effort Q à la jante est produit par un effort $\frac{QR}{r_1}$ sur les dents en contact en A.

Cet effort ne s'exerce que par suite de la fixité du point B_1 de l'inducteur. La réaction de



la traverse sur l'inducteur en B_1 se calcule facilement, en appliquant par exemple le théorème du travail virtuel à l'inducteur dans sa rotation autour de l'essieu empêchée par la fixité de B_1 , et a pour expression

$$F = \frac{QR}{d}$$

Donc, du fait seul de l'existence du couple moteur, et avec le sens de marche de la figure 1,

- 1° le rail est surchargé de F à l'aplomb de la roue \mathcal{A} .
- 2° le rail est déchargé de F à l'aplomb de la roue \mathcal{A}' .
- 3° le châssis des bogies est soumis au couple Fz qui tend à lui faire piquer du nez (abaisser l'avant et relever l'arrière) (1).

(1) Nous avons admis que le point B se trouvait dans le plan des essieux, cela pour des raisons mécaniques. Il est clair, en effet, que sous l'influence des dénivellations de la voie ou sous l'influence des différences de charges, l'essieu doit pouvoir se déplacer dans les guides de boîtes : l'ensemble doit donc pivoter autour d'un point placé autant que possible dans le plan des essieux.

Equilibre du châssis. — Le châssis est soumis à l'action :

- 1° du poids P appliqué sur l'axe du pivot ;
- 2° des forces q' et q'' , actions des ressorts de suspension.
- 3° de l'effort horizontal de traction $2Q$ appliqué dans le plan horizontal du pivot, soit à la hauteur H au-dessus des rails.
- 4° du couple $F\delta = \frac{QR\delta}{d}$

Prenons les moments par rapport au point O_1 considéré comme appartenant au châssis du bogie..

$$P \frac{e}{2} - q'' e - 2Q (H - R) + QR \frac{\delta}{d} = 0 \quad (1)$$

Si on veut que le châssis conserve son assiette malgré l'effort de traction, il suffit d'écrire que la charge des ressorts n'a pas changé, c'est-à-dire que :

$$q'' = \frac{P}{2}$$

$$H - R = \frac{R\delta}{2d}$$

$$H = R \left(1 + \frac{\delta}{2d} \right)$$

Dans le cas particulier où $\delta = 0$, c'est-à-dire où les 2 moteurs s'appuient sur le châssis dans le plan transversal du pivot, on a :

$$H = R$$

La traction doit s'exercer à la hauteur du plan des essieux, mais il faut bien noter que, malgré l'égalité des charges des ressorts, les essieux exercent sur le rail des efforts différents.

L'essieu A exerce l'effort :

$$\frac{P}{2} + \pi - F$$

et l'essieu B l'effort :

$$\frac{P}{2} + \pi + F$$

Si on voulait compenser cette différence, c'est-à-dire si on voulait que les charges des roues sur le rail soient égales, il faudrait que q'' soit égal à $\frac{P}{2} + F$; l'équation (1) donne dans ce cas :

$$H = -R$$

Il faudrait donc que l'effort de traction s'exerçât dans le plan des rails de roulement, conformément aux conclusions de M. Herdner.

Les charges des roues seraient égales, mais le châssis du bogie piquerait du nez.

Cette discussion montre qu'on ne peut obtenir simultanément l'égalité des pressions des roues sur les rails et l'égalité des charges sur les ressorts.

Il est évidemment intéressant d'arriver à obtenir le moins d'écart possible entre les pressions des roues sur le rail, afin de profiter du maximum d'adhérence de la machine.

A ce point de vue, il y a intérêt à ce que l'effort de traction s'exerce à une hauteur aussi voisine que possible de celle qui assure l'égalité des pressions des deux roues sur le rail, soit $H = 0$, c'est-à-dire que l'effort de traction se fasse dans un plan horizontal aussi bas que possible.

S'il se fait à une hauteur H , l'essieu d'avant est :

1° déchargé de F du fait du couple du moteur A ;

2° déchargé de $\frac{P}{2} - q''$;

La décharge totale de l'essieu A est donc :

$$F + \frac{P}{2} - q''$$

soit, d'après l'équation (1) :

$$F + \frac{2Q}{e} (H-R) - \frac{QR\delta}{de} = \frac{2QH}{e}$$

L'essieu R est au contraire surchargé de $\frac{2QH}{e}$

Le ressort avant est déchargé de la quantité $\frac{P}{2} - q''$, c'est-à-dire, d'après l'équation (1), de

$$\frac{2QH}{e} - \frac{QR}{d}$$

Le ressort arrière est surchargé de la même quantité.

Stabilité transversale de la locomotive. — Dans la locomotive à vapeur, il est connu que l'élévation du centre de gravité améliore la tranquillité de plateforme, en augmentant la période d'oscillation du poids suspendu : cette augmentation de période correspond à une réduction de la stabilité de même que, pour les corps flottants, la réduction du $\rho - a$ correspond à la réduction de la stabilité et à l'augmentation de la période de roulis. Mais l'augmentation de la période a une influence heureuse sur la manière dont se comporte la machine sur la voie et notamment dans les entrées en courbe : la percussion sur le rail est notablement diminuée et la voie résiste mieux à l'effort latéral parce que ce dernier est appliqué avec plus de progressivité.

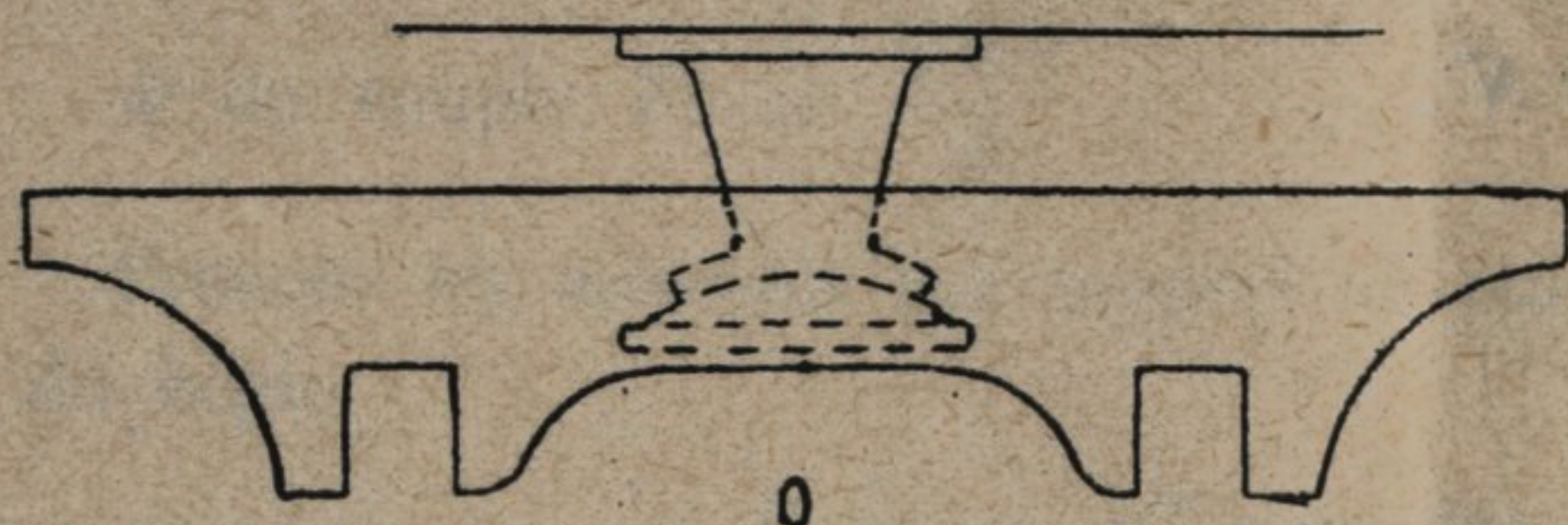
Pour les petits obstacles à faible amplitude et à grande fréquence (bouts de rails, traverses, appareils de voie, etc.) le centre de gravité de la caisse, dont la période propre d'oscillation est lente, n'a pas le temps de se déplacer de façon sensible pendant le temps de franchissement sur un même rail de deux obstacles de signes contraires. Il reste donc pratiquement immobile, les trépidations des roues étant étouffées par les ressorts interposés entre les essieux et la caisse.

Dans les locomotives électriques à 2 bogies moteurs, on est forcé d'accepter comme poids non suspendu le poids des moteurs, mais on peut agir sur le poids de la caisse. Tout en conservant une construction très simple comportant une caisse s'appuyant directement par 2 pivots sur les traverses fixes de bogies portés eux-mêmes par les seuls ressorts de boîtes, nous avons cherché à donner à cette caisse une période d'oscillation latérale aussi longue que possible, de manière à obtenir le même résultat, au point de vue tranquillité de plateforme et percussion sur le rail, que si on avait un centre de gravité élevé.

Pour remplir cette condition, nous avons forcé la caisse à osciller autour d'un axe longitudinal placé aussi bas que possible tout d'abord en abaissant les pivots, puis en inversant la concavité

des pivots ordinairement employés (Fig. 2). De ce fait, la caisse est nettement destabilisée puisqu'elle est mobile autour d'un axe parallèle aux rails et placé très bas, et que le centre de gravité est situé très au-dessus. On la restabilise de la quantité voulue au moyen de ressorts

Fig. 2.



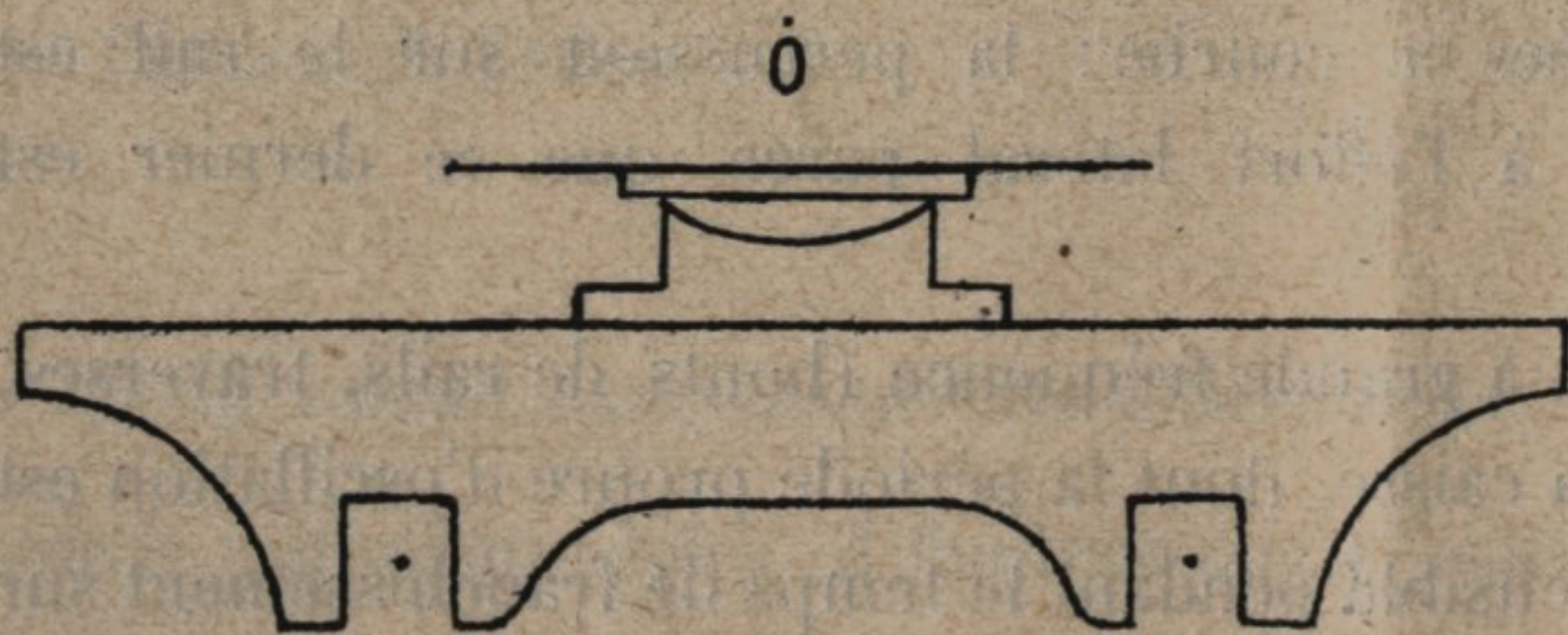
latéraux placés entre la caisse et le châssis du bogie et dont nous étudierons tout à l'heure la disposition. On conçoit que l'addition de ces ressorts latéraux travaillant en série avec les ressorts de boîtes puisse augmenter considérablement la période d'oscillation.

Il est assez curieux qu'en cherchant à avoir, d'une part, une grande stabilité longitudinale du bogie pour éviter les inégalités de charges des essieux et, d'autre part, une faible stabilité transversale de la caisse pour obtenir une longue période d'oscillation, on ait été conduit des deux côtés à l'adoption d'un pivot surbaissé lequel semble donner ainsi une solution complète du problème de la suspension de ce genre de locomotive. Mais ce n'est pas tout : l'abaissement du centre d'oscillation du châssis du bogie permet à celui-ci de bien balancer et la réalisation pratique des équilibrateurs latéraux conduit à la suppression de toute résistance passive dans le mouvement de rotation du bogie.

Voyons ces deux points avec quelques détails.

Balancement du bogie. — Considérons un bogie sur lequel s'appuie une caisse par l'intermédiaire d'un pivot ordinaire (partie femelle concave vers le haut) haut placé (Fig. 3). Le seul mouvement permis au châssis du bogie est une rotation autour du point O, centre de la sphère du pivot.

Fig. 3.



Si donc l'avant du châssis est soumis à un effort brusque vertical dirigé de bas en haut, le mouvement ne peut s'effectuer qu'à la condition que les 2 essieux se déplacent simultanément dans le sens de la marche : or ce mouvement étant pratiquement impossible par suite de l'inertie des roues et des moteurs, la percussion se transmet presque intégralement à la caisse et donne lieu sur cette dernière à des efforts longitudinaux. Le bogie *balance* mal et les conséquences de ce mauvais balancement se traduisent par des surcharges et décharges des essieux moteurs, difficiles à chiffrer, mais qui occasionnent des patinages et des réactions sur la caisse.

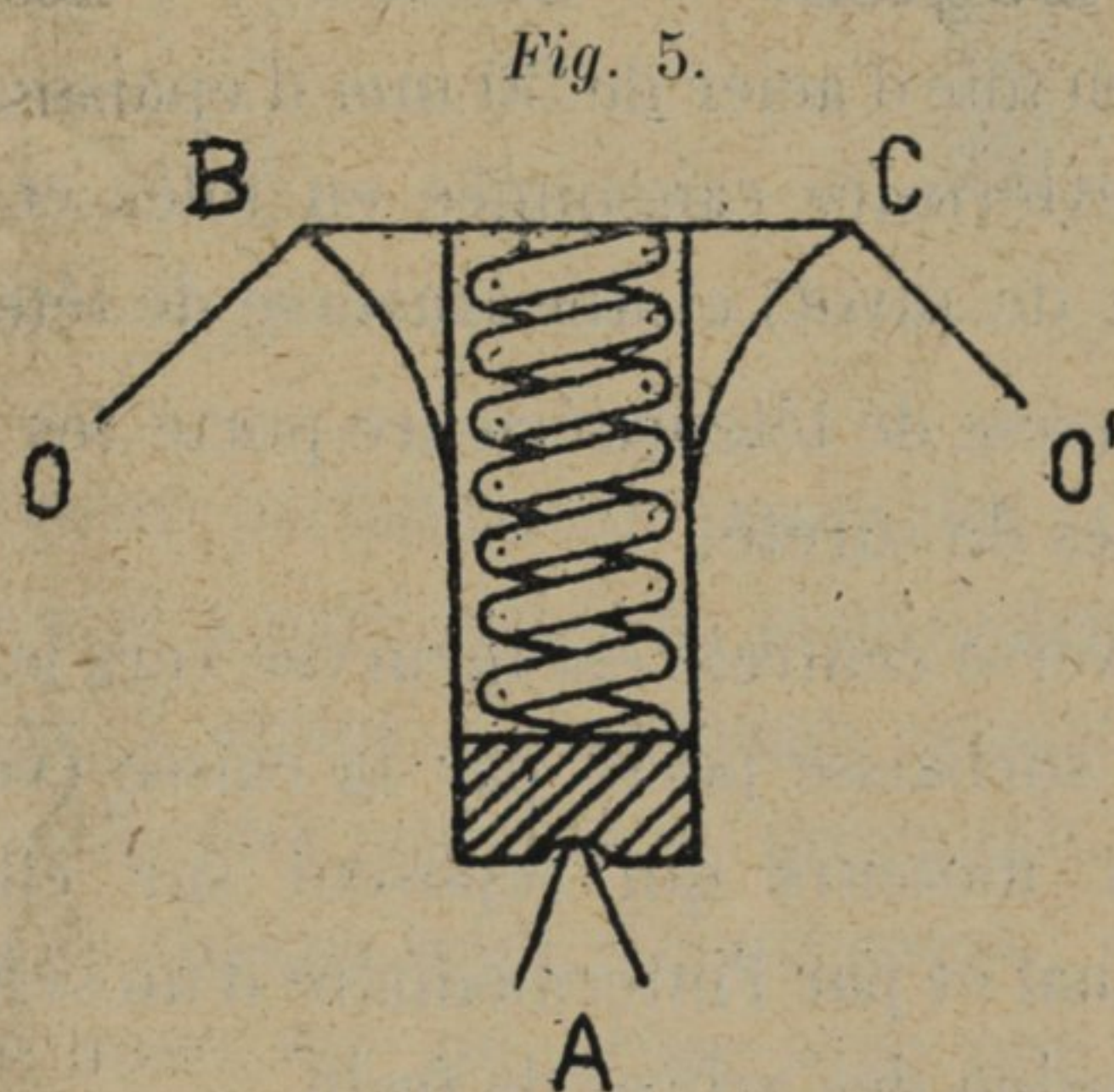
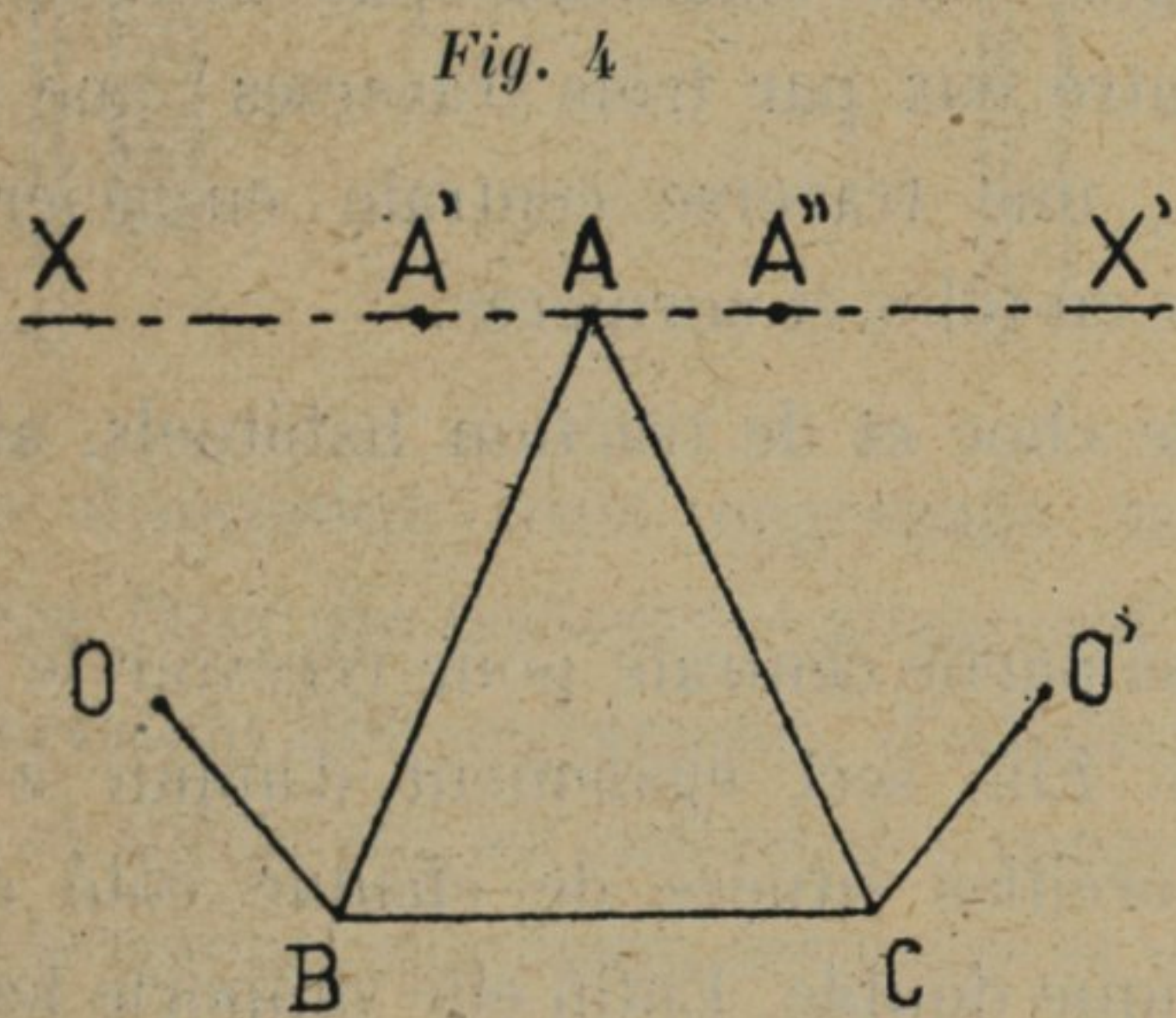
Si au contraire le centre du pivot O se trouve voisin du plan des essieux (Fig. 2) le châssis du bogie peut osciller autour du centre O de la sphère sans que les roues et les moteurs aient à varier de vitesse et sans que le pivot soit soumis à aucun effort longitudinal ; le châssis forme balancier pour les 2 ressorts : il *balance* bien.

Rotation du bogie. — Pour supprimer toute résistance passive dans la rotation des bogies, on a renoncé aux patins latéraux existant ordinairement entre la traverse du pivot et le

châssis du bogie, l'expérience ayant montré que, dans les entrées en courbe, quand le dévers de la voie est différent pour les 2 bogies, ces patins frottent énergiquement l'un contre l'autre et rendent la rotation du bogie très difficile précisément au moment où celui-ci doit effectuer une rotation.

Les patins latéraux ont été remplacés par des équilibreurs élastiques construits en utilisant les propriétés du triangle de Robert. Un triangle isocèle ABC (Fig. 4) est porté par 2 biellettes égales BO, CO' oscillant autour de 2 pivots fixes O et O'. Si les longueurs OB, BC et AB sont dans un rapport déterminé, le point A décrit une courbe d'un grand rayon de courbure, pratiquement l'horizontale XX' passant par le sommet du triangle isocèle. Si on charge le point A, l'effort à faire pour amener A en A' ou A'' est nul, puisque le travail de la gravité est nul.

Supposons maintenant que, par le travers des pivots et de chaque côté des bogies, on monte des systèmes articulés comme ci-dessus tels que les points O et O' appartiennent à la caisse et le couteau A au châssis (Fig 5) et qu'un ressort R monté entre A et la bielle BC exerce entre



la caisse et le châssis du bogie un effort déterminé, les ressorts R permettront à la caisse d'osciller latéralement par rapport au châssis du bogie.

De plus toute rotation du bogie se traduira par un déplacement relatif horizontal en A par rapport à O et O', donc ne donnera lieu pratiquement à aucun couple résistant.

La Planche IX représente une coupe transversale d'un bogie et une coupe d'un équilibreur.

Remarques. — Ce que nous avons dit sur les avantages de l'abaissement du pivot et de son inversion au point de vue de la stabilité longitudinale du bogie, suppose évidemment que les bogies ne sont pas attelés entre eux, ni attelés directement au train, ce qui veut dire que l'effort de traction est transmis à la caisse par les pivots.

Il est évident que si les bogies, attelés entre eux, sont attelés directement au train, l'effort de traction est transmis à la hauteur de la barre d'attelage arrière et la stabilité longitudinale des bogies n'est pas améliorée du fait de l'abaissement des pivots.

Mais cet abaissement, joint à l'addition des équilibreurs, facilite le balancement des bogies et leur rotation et, qualité que nous avons recherchée avant toutes les autres, améliore la tranquillité de plateforme dans les oscillations transversales.

Sur les 50 locomotives BB actuellement en construction, nous avons préféré atteler les bogies entre eux de manière à ne soumettre la caisse à aucun effort longitudinal. Nous avons donc préféré sacrifier un peu la stabilité longitudinale des bogies à la bonne tenue de la caisse et des appareils qu'elle contient. L'expérience seule nous dira si nous avons eu à ce sujet tort ou raison.

CHAPITRE II. — DESCRIPTION DE LA PARTIE MÉCANIQUE.

Comme nous l'avons vu, la locomotive est portée par deux bogies à 2 essieux, tous les deux moteurs. Ces bogies sont attelés entre eux. Les caractéristiques principales de la caisse et des bogies sont les suivantes :

Longueur entre tampons	11 m, 850	Diamètre des roues motrices . . .	1 m, 400
Longueur de la caisse	10 m, 740	Poids total (entièrement adhérent)	70.500 kg
Largeur de la caisse	2 m, 960	Poids de la partie mécanique . . .	39.000 kg
Empatement d'un bogie	2 m, 800	Poids de la partie électrique . . .	31.500 kg
Empatement total	8 m, 350	Poids d'un moteur	3.900 kg

I. — **Bogies.** — *Châssis.* — Les deux bogies sont constitués par deux longerons simples en tôle d'acier de 30 mm d'épaisseur reliés entre eux par trois traverses : une traverse de tête extérieure caissonnée en tôles et cornières, une traverse centrale en acier moulé (traverse de pivot) et une traverse de tête intérieure en tôles et cornières.

La traverse de tête extérieure porte les organes de choc et de traction habituels, ainsi que les chaînes de sûreté.

La traverse centrale est incurvée vers le bas dans sa partie centrale pour recevoir le support du pivot surbaissé porté par la caisse (voir Pl. IX). Elle sert également d'appui à chacun des deux moteurs qui reposent sur elle par 2 oreilles situées de chaque côté du plan longitudinal et par l'intermédiaire d'un système élastique double. Enfin elle supporte les bielles de suspension des arbres de frein.

La traverse de tête intérieure porte le système d'attelage des bogies entre eux, système dérivant de l'attelage américain à lentille. En vue de l'interchangeabilité, la lentille bi-concave est coupée en deux parties symétriques qui, en cas de désaccouplage des bogies, restent chacune sur son bogie. Il existe 2 barres d'attelage, la barre inférieure ou barre d'attelage proprement dite et la barre supérieure montée avec un certain jeu et ne travaillant pas normalement, mais qui constitue une barre de sûreté en cas de rupture de la première.

Les bogies étant attelés entre eux, la caisse n'est que posée sur ces bogies et pour éviter qu'elle soit soumise à des efforts de traction, un seul des deux pivots est fixe, l'autre est monté sur glissières avec déplacement longitudinal.

En cours d'exploitation, on ne pourra pas être amené à placer par erreur, sous la même caisse, deux bogies à pivot fixes ou deux bogies à pivots glissants, car la partie fixe ou mobile du support de chaque pivot reste attachée à la caisse et les bogies eux-mêmes, limités à la traverse du pivot, sont tous interchangeables.

<i>Essieux :</i>		Diamètre des essieux	0 m, 190
Diamètre au cercle de roulement	1 m, 400	Diamètre des fusées	0 m, 160
Largeur des bandages	0 m, 140	Longueur des fusées	0 m, 260
Diamètre des centres de roues	1 m, 250	Longueur totale de l'essieu	2 m, 390

Chaque essieu porte 2 engrenages fixés directement sur le centre de roue et attaqués par les 2 pignons de chaque moteur.

Les anciennes automotrices de la Compagnie du Midi n'avaient qu'une seule roue d'engrenage calée sur l'essieu très près de l'une des roues motrices. Par suite de la différence de flexibilité à la torsion de la partie très courte *ab* (Fig. 6) et de la partie très longue *cd*, la partie *ab* supportait aux démarrages tout l'effort moteur et travaillait à un taux de fatigue exagéré qui occasionna de nombreuses ruptures d'essieux (1). Pour éviter ces ruptures on attache l'engrenage, non plus sur le corps de l'essieu, mais bien sur le centre de roue. (Fig. 7).

Fig. 6.

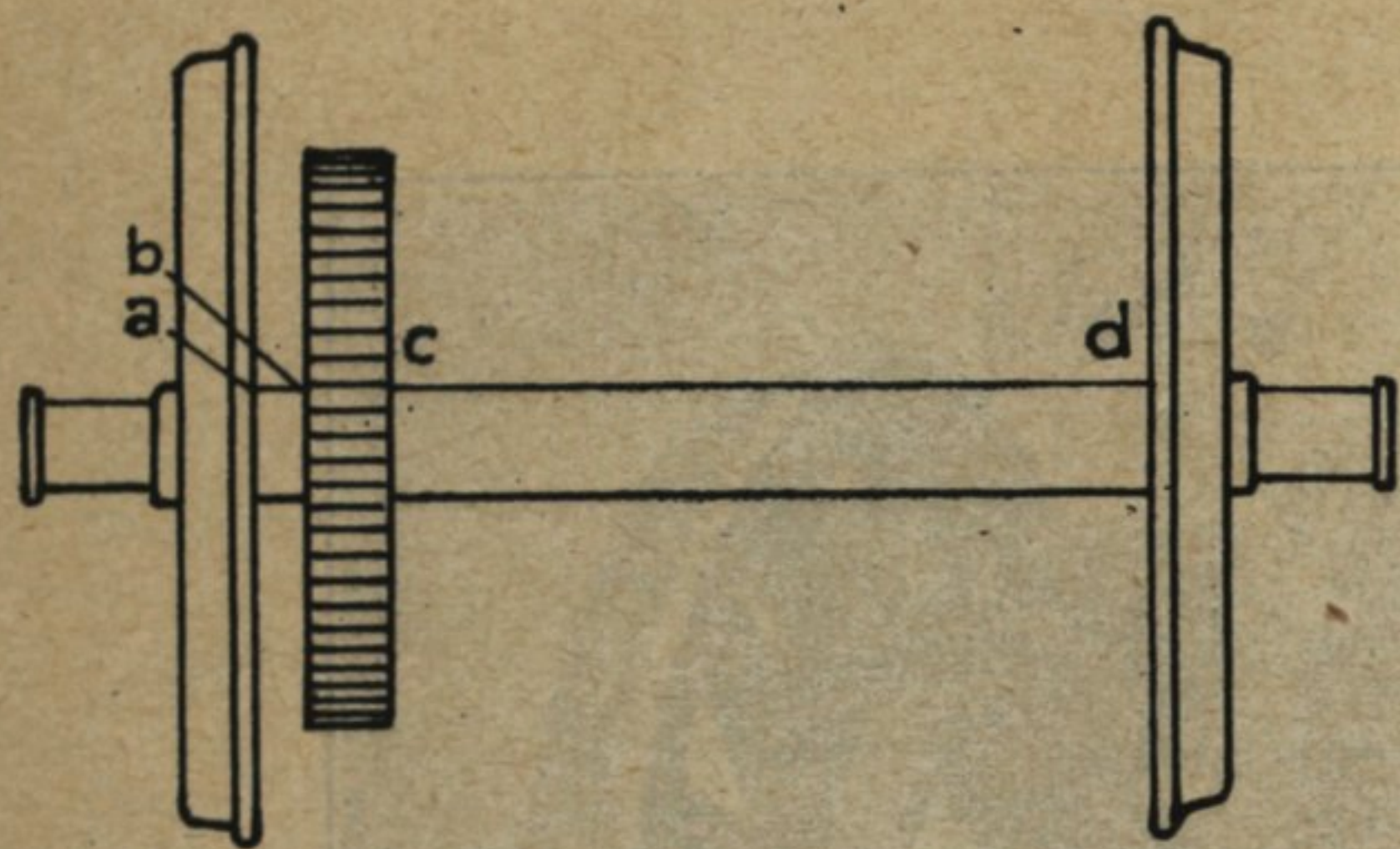
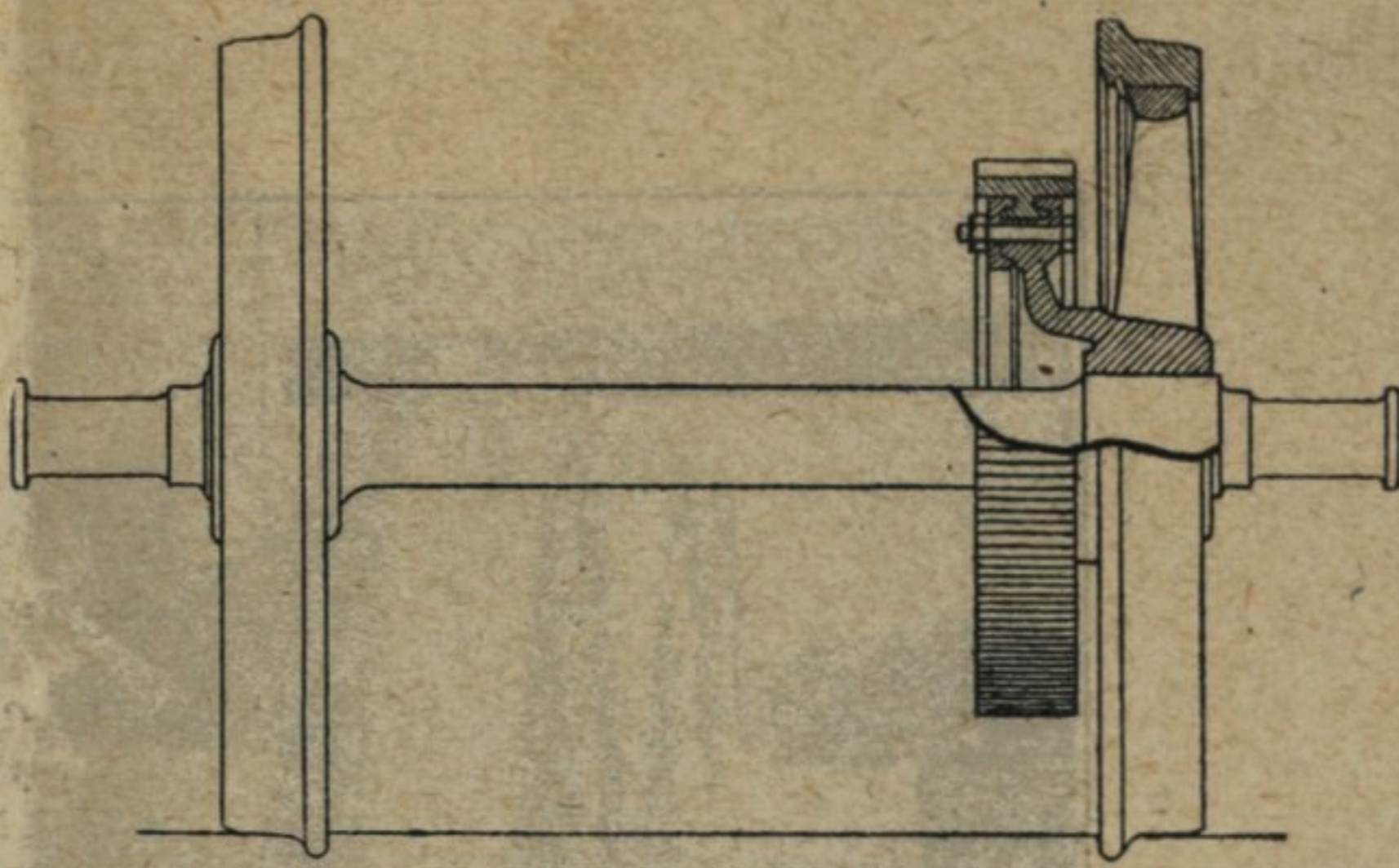


Fig. 7.



Cette disposition avec engrenage unique convient parfaitement pour des puissances modérées. Pour des puissances atteignant 250 chevaux, il a paru prudent, principalement pour la conservation des engrenages, d'adopter par essieu 2 roues d'engrenages symétriquement placées et fixées sur les centres des roues. Mais une difficulté pratique se présentait. Il fallait assurer le contact simultané des roues et des pignons de chaque train d'engrenages ; or, il est pratiquement impossible d'assurer le calage d'une roue sur un arbre avec une précision suffisante pour obtenir le résultat désiré. La difficulté fut résolue ainsi qu'il suit :

Les pignons dentés sont calés sur l'arbre du moteur sans précaution spéciale. Quant aux roues dentées, elles sont fixées sur les centres des roues au moyen d'un emmanchement toroïdal en forme de queue d'aronde et maintenues par frottement au moyen d'éclisses fortement serrées (Fig. 8). Pour le réglage, l'une des roues dentées est serrée, l'autre est laissée assez libre pour permettre aux secteurs dentés de glisser. L'arbre du moteur est alors monté avec ses deux pignons. En le faisant tourner, il entraîne la roue dentée qui peut glisser jusqu'à ce qu'il y ait contact simultané des 2 pignons et des 2 roues. On serre alors à bloc les éclisses pour fixer le tout définitivement.

Boîtes et ressorts — Les boîtes à huile sont du type Delannoy et guidées par des glissières verticales fixées aux longerons.

Les ressorts de suspension sont à lames. Ils reposent directement sur les boîtes à huile, mais leurs tiges sont reliées aux longerons par leur partie inférieure au moyen de ressorts à boudin logés dans des boîtes fixées aux longerons.

Le point d'attache des ressorts sur le longeron est ainsi placé aussi bas que possible, ce qui est favorable à l'obtention d'une longue période d'oscillation transversale.

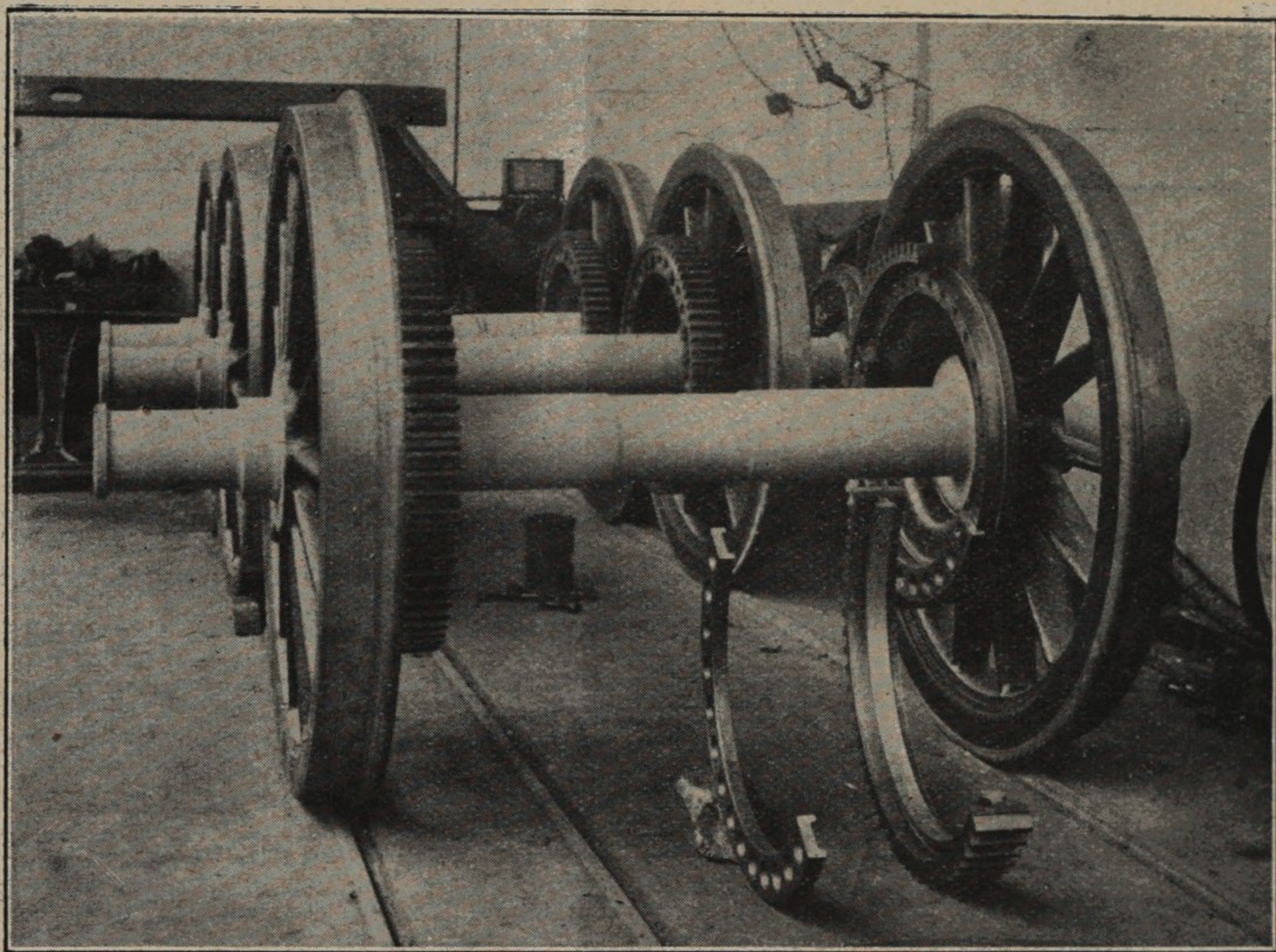
(1) D'après une enquête que nous fîmes alors, tous les Réseaux employant ce dispositif ont connu les mêmes déboires (Chemins de Fer de Cerdagne, Voies ferrées départementales du Midi, Tramways de Bordeaux, St-Etienne, Haute-Vienne, Chemin de fer Métropolitain de Paris, etc.)

Équilibreur. — Dans l'axe transversal de chacun des bogies et à l'extérieur des longerons sont fixés les équilibreur dont nous avons étudié précédemment la fonction et le mode de construction.

Frein. — La locomotive est munie des appareils de frein Westinghouse automatique et du frein modérable agissant sur les 8 sabots de chaque bogie.

La timonerie de chaque bogie est actionnée par 2 cylindres verticaux de 254 mm de diamètre, fixés au châssis de caisse sur chacun des 2 caissons portant les pivots.

Fig. 8.



Les 2 timoneries sont indépendantes l'une de l'autre et chacune d'elles peut être actionnée au moyen d'un frein à vis de secours commandé par un volant situé à chaque extrémité de la caisse.

Divers. — La machine comporte 8 sablières Leach fixées aux longerons des bogies et permettant de sabler, suivant le sens de marche, les roues de l'un ou de l'autre essieu.

Du côté de la traverse extérieure de tête de chacun des bogies, chaque longeron est muni d'un chasse-pierre.

II. — **Caisse.** — La caisse, entièrement métallique, fait corps avec le châssis. Ce dernier est constitué par une ceinture métallique en tôle de 12 mm d'épaisseur et de 392 mm de hauteur à l'intérieur de laquelle les parois verticales de la caisse sont rivées ; les deux faces longitudinales de ce châssis sont entrecroisées :

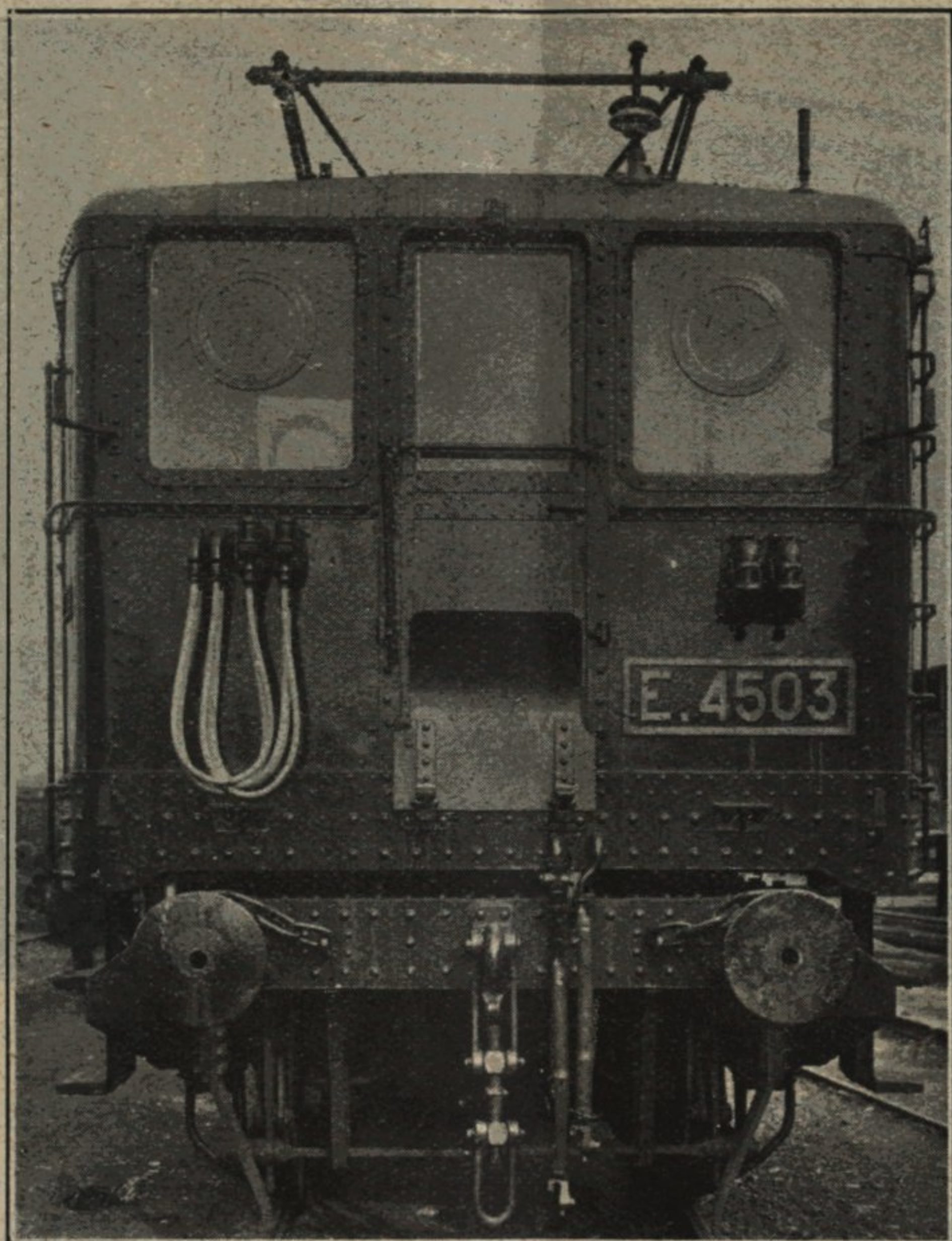
1° par deux traverses caissonnées en tôles et cornières situées dans l'axe des pivots des bogies et supportant ces pivots ;

2° par deux traverses centrales en **I** à larges ailes ;

3° par une traverse en \sqsubset située près de chaque extrémité sous chaque cabine d'électricien. De fortes cornières arment les bords supérieur et inférieur de la ceinture. La cornière supérieure sert d'appui au parquet de la locomotive entièrement rivé sur toutes les traverses et cornières de renforcement. Ce parquet, constitué par une tôle de 7 mm, contribue dans une certaine mesure à l'indéformabilité du châssis. Il est percé de plusieurs trappes pour la visite des divers organes des moteurs.

La caisse comporte 3 compartiments ; les deux compartiments extrêmes sont les cabines d'électricien auxquelles on accède de chaque côté par une porte à baie vitrée : le compartiment

Fig. 9.



central contient les divers appareils électriques moins les moteurs. Il est séparé de chaque cabine par une cloison transversale comportant une porte à coulisse et à baie vitrée ; à chaque bout, une porte également à baie vitrée, donne accès sur une passerelle mobile à charnières servant à l'intercirculation.

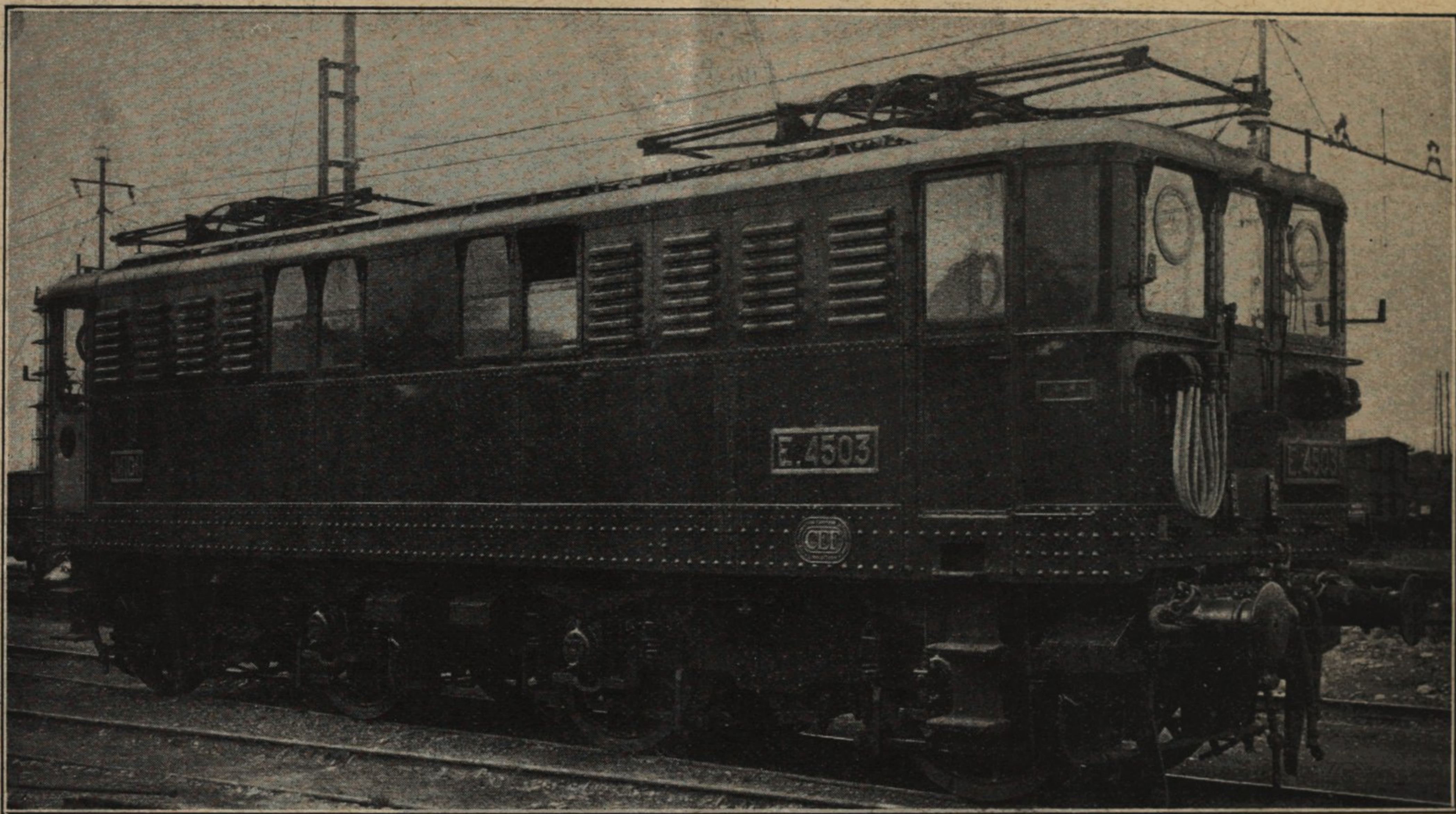
Le compartiment central comprend en abord et de chaque côté une série d'armoires contenant tous les appareils électriques et les résistances, la partie centrale est réservée au groupe auxiliaire et au compresseur d'air qui sont tous les deux rivés sur le plancher et entourés d'une forte rambarde ménageant de chaque côté un passage très dégagé.

Les armoires extrêmes de chaque côté contiennent les diverses résistances aérées par une série d'ouvertures pratiquées dans les parois extérieures de la caisse ; des auvents empêchent la pluie d'y pénétrer. De petites armoires centrales contiennent les interrupteurs et sectionneurs à 1.500 V. Entre ces dernières et les armoires à résistances, des armoires basses contiennent

les arbres à cames et les divers relais. Au-dessus de ces dernières, la cloison de la caisse est munie de baies vitrées constituant 4 fenêtres, 2 de chaque bord, éclairant largement toute la partie centrale de la caisse.

L'aération est assurée tout d'abord par des hublots aménagés dans la baie vitrée des cabines, ensuite par deux conduits régnant de chaque côté de la toiture et allant d'une cabine à l'autre.

Fig. 40.



Des marchepieds et des poignées montoires permettent d'accéder aux cabines de chaque côté. Enfin dans la ceinture du châssis et au droit des marchepieds et des portes d'accès aux cabines, on a aménagé des ouvertures pour recevoir les crochets destinés au levage de la caisse. Les figures 9 et 10 montrent la locomotive de face et de bout.

(A suivre).

NOTE

SUR

l'Électrification des Chemins de Fer du Midi

PAR

M. P. LÉBOUCHER,

INGÉNIEUR EN CHEF

M. H. LEDOUX,

INGÉNIEUR PRINCIPAL

DES SERVICES TECHNIQUES DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DE LA COMPAGNIE DU MIDI.

(Pl. XII).

(Suite et fin ⁽¹⁾).

CHAPITRE III. — DESCRIPTION DE LA PARTIE ÉLECTRIQUE

I. — Moteurs principaux

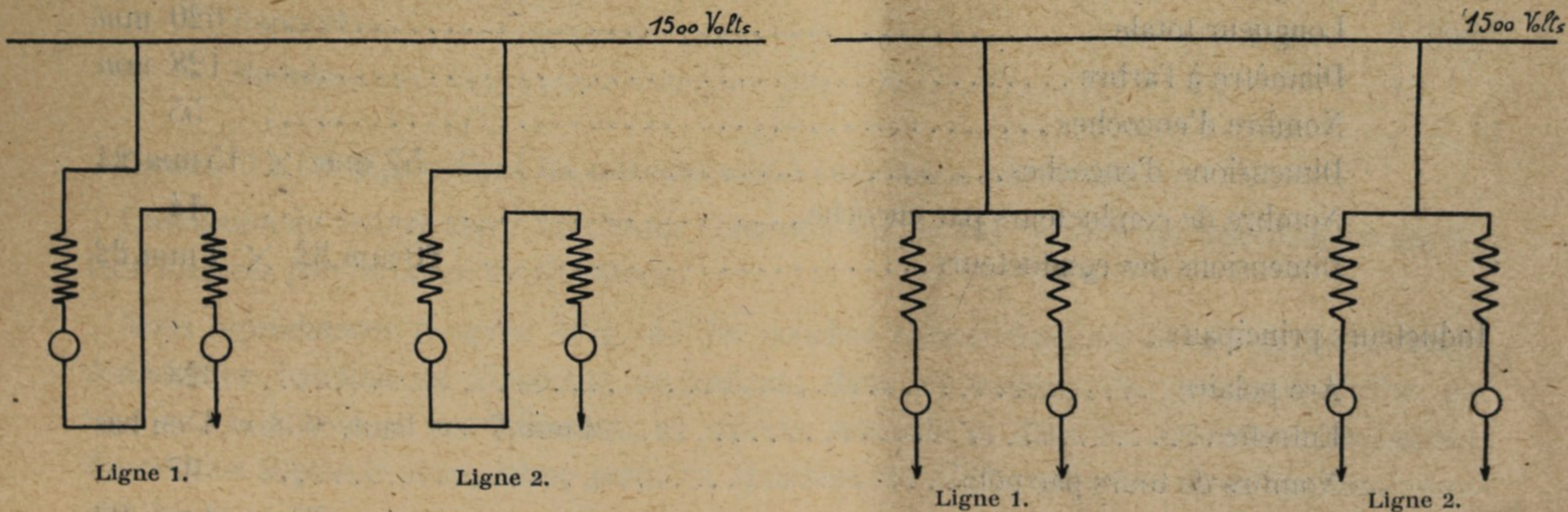
Les moteurs de traction sont du type DK 80 de la Société des Constructions Electriques de France.

Ils sont bobinés pour 1.500 volts et disposés pour permettre le shuntage du champ et le freinage par récupération. Ils sont à quatre pôles principaux et munis de pôles auxiliaires de commutation.

Comme il a été déjà indiqué, chaque essieu est attaqué par un moteur. Les quatre moteurs d'une locomotive sont alimentés soit à 750 volts lorsque les deux moteurs d'un même bogie sont groupés en série (Fig. 1), soit à 1.500 volts lorsqu'ils sont groupés en parallèle (Fig. 2).

Fig. 1. — MOTEURS GROUPÉS EN SÉRIE.

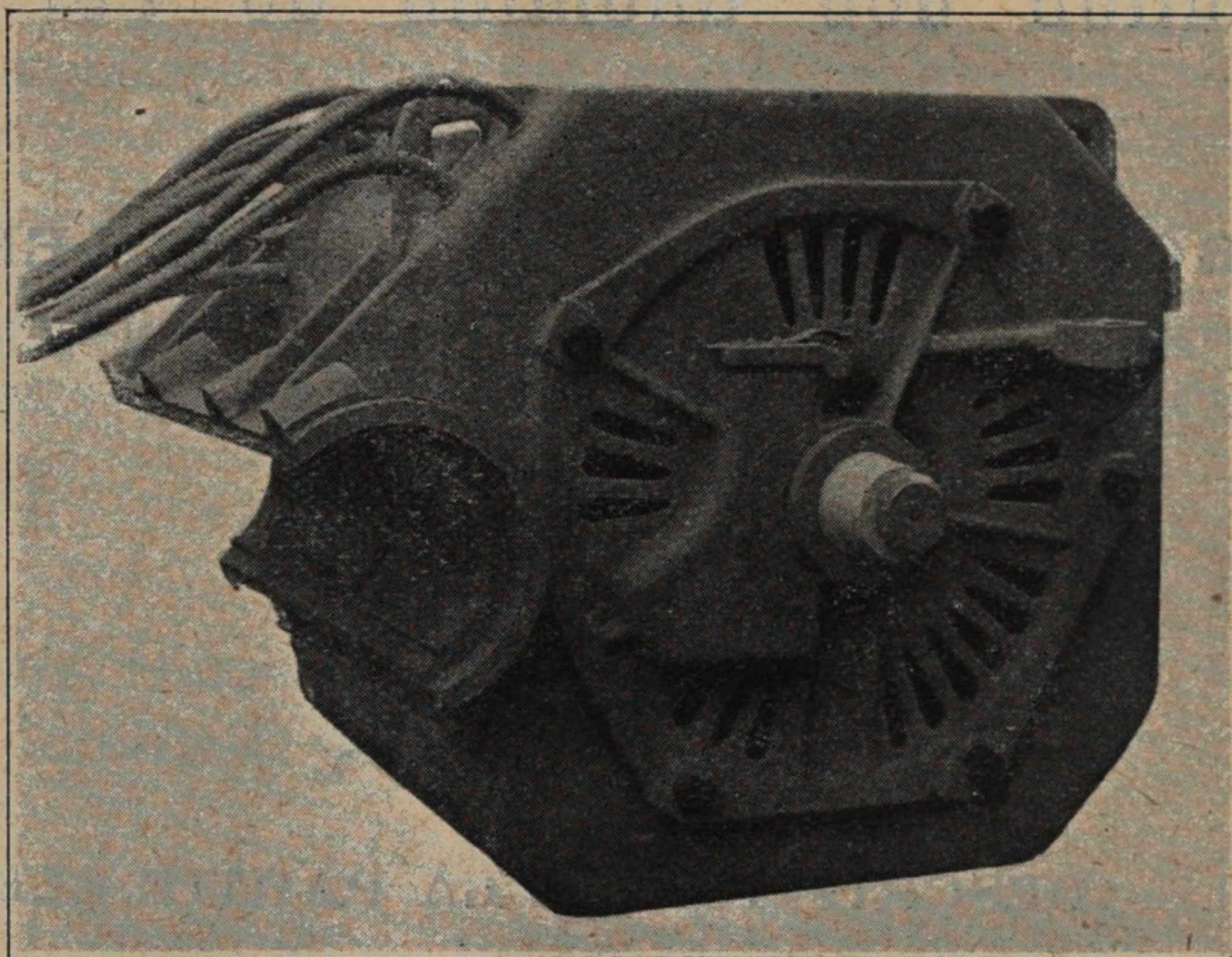
Fig. 2. — MOTEURS GROUPÉS EN PARALLÈLE.

(1) Voir *Revue Générale*, N^{os} de Mars, Mai, Juin et Juillet 1923.

Ces moteurs peuvent donner une puissance continue de 250 chevaux (140 ampères) à 630 tours-minute et une puissance unihoraire de 350 chevaux (200 ampères) à 550 tours-minute. Ils sont ventilés artificiellement par un ventilateur débitant 38 mètres cubes d'air par minute sous une pression manométrique de 125 mm d'eau.

La Figure 3 donne la photographie d'un de ces moteurs.

Fig. 3. — VUE D'UN MOTEUR DE TRACTION.



Leurs caractéristiques techniques principales sont indiquées ci-après :

Poids total d'un moteur sans pignons.....	3.681 kg
Poids de l'armature sans pignons	1.020 kg
Poids de cuivre dans l'armature	155 kg
d° l'inducteur	465 kg
d° le collecteur.....	82 kg

Armature :

Diamètre	610 mm
Longueur utile	292 mm
Longueur totale	620 mm
Diamètre à l'arbre	128 mm
Nombre d'encoches	55
Dimensions d'encoches... ..	57 mm × 15 mm,24
Nombre de conducteurs par encoche	14
Dimensions des conducteurs.....	20 mm,32 × 1 mm,22

Inducteurs principaux :

Arc polaire	328
Entrefer.....	4 mm,7 en haut, 6 mm,4 en bas
Nombre de tours par pôle	97
Dimensions des conducteurs	38 × 2 mm,03

Pôles auxiliaires :

Arc polaire.....	40
Entrefer.....	4 mm,7
Nombre de tours par pôle.....	52
Dimensions des conducteurs.....	28 mm,6 × 2 mm,4

Collecteur :

Diamètre.....	508 mm
Nombre de lames.....	385
Epaisseur de lames.....	3 mm,34
Longueur du collecteur.....	146 mm
Longueur du collecteur sous balais.....	102 mm

Balais :

Nombre.....	8
Dimensions.....	50 mm,8 × 15 mm,9 × 64 mm (longueur)
Qualité.....	Battersea EG 3
Nombre par porte-balais.....	2

Résistance en Ohms :

	à 25° C	à 100° C
Enroulements induits.....	0,124	0,160
Pôles principaux.....	0,142	0,183
Pôles auxiliaires.....	0,042	0,054
Balais.....	0,017	0,017
Total.....	<u>0,325</u>	<u>0,414</u>

Engrenages :

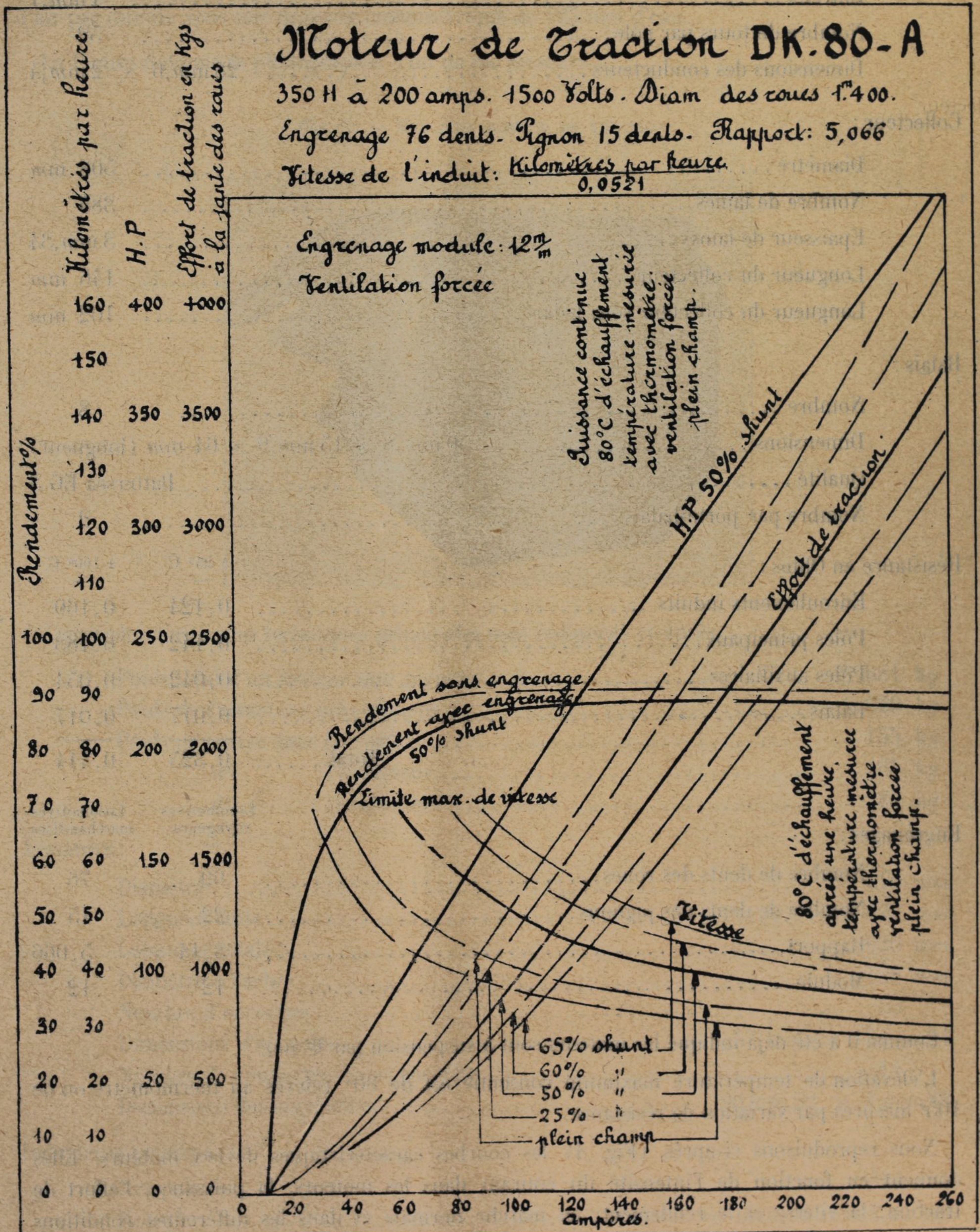
	Locomotives voyageurs	Locomotives marchandises
Nombre de dents des roues.....	69	76
Nombre de dents des pignons.....	22	15
Rapport.....	3,14	5,066
Module.....	12	12

Comme il a été déjà indiqué les moteurs sont à suspension par le nez.

L'élévation de température maximum consentie est de 80° relevés au thermomètre ou de 105° mesurés par variation de résistance.

Nous reproduisons ci-après (Fig. 4) les courbes caractéristiques de ces moteurs. Elles donnent en fonction de l'intensité du courant dans les moteurs, la puissance, l'effort de traction, la vitesse et le rendement, en marche normale et dans les différentes conditions d'excitation depuis le plein champ jusqu'au shuntage de 65 % qui est le shuntage maximum possible.

Fig. 4. — COURBES CARACTÉRISTIQUES DES MOTEURS DE TRACTION.



II. — CIRCUITS ÉLECTRIQUES.

La machine comporte deux circuits : un circuit principal et un circuit de commande.

(a) Circuit principal.

Le circuit principal est le circuit d'alimentation des induits et des inducteurs des moteurs de traction. Il est parcouru par le courant à 1.500 volts capté sur la ligne aérienne par deux pantographes en parallèle.

Une bobine de self et un parafoudre assurent la protection de l'équipement contre les surtensions.

A l'aval de la bobine de self, le circuit se sépare en deux branchements qui comportent le même appareillage et alimentent : l'un les deux moteurs du bogie avant, l'autre les deux moteurs du bogie arrière.

Nous suivrons seulement l'un de ces branchements qui comprend (Fig. 5) :

Un sectionneur principal ;

Un coupe-circuit fusible principal ;

Un relai de surcharge ;

Deux disjoncteurs en série fonctionnant magnétiquement ;

Un arbre à cames avec contrôleur et régulateur assurant le groupement en série ou en parallèle des moteurs, l'intercalation ou la suppression des résistances, enfin le shuntage des inducteurs ;

Un inverseur à commande magnétique donnant la marche *A* ou *R* en changeant le sens du courant dans les inducteurs des moteurs ;

Un commutateur à commande magnétique donnant la puissance ou le freinage ;

Un jeu de résistances principales par moteur.

Le courant traverse ensuite les induits des moteurs principaux, les enroulements des pôles principaux et des pôles auxiliaires, puis se ferme à la masse.

Le relai de surcharge commande l'ouverture des deux disjoncteurs de ligne en cas de surcharges. Ces disjoncteurs sont munis d'un dispositif de soufflage à bouclier métallique du type Dick Kerr et sont brusquement ouverts par un ressort aussitôt que le courant de commande est coupé.

L'arbre à cames est constitué par des cames en acier montées sur un arbre isolé au mica. Cet arbre est mis en mouvement par un moteur électrique au moyen d'une transmission à vis sans fin. Les cames sont montées sous différents angles et leur calage peut d'ailleurs être réglé sur place pour chacune d'elles. Au cours de la rotation de l'arbre, chaque came vient à son tour fermer son contacteur.

En bout d'arbre est monté un interrupteur type tambour appelé *régulateur de position*, entraîné par l'arbre, et qui sert à arrêter le moteur de l'arbre à cames quand ce dernier est arrivé à la position bien déterminée correspondant à la position donnée au manipulateur principal par l'électricien.

Les fermetures successives des contacteurs de l'arbre à cames règlent la valeur des résistances insérées dans le circuit principal et déterminent également le groupement des moteurs de traction. La progression de l'arbre à cames est réalisée par des moyens purement mécaniques,

Fig. 7. — GROUPEMENT DES MOTEURS-TRANSITION.

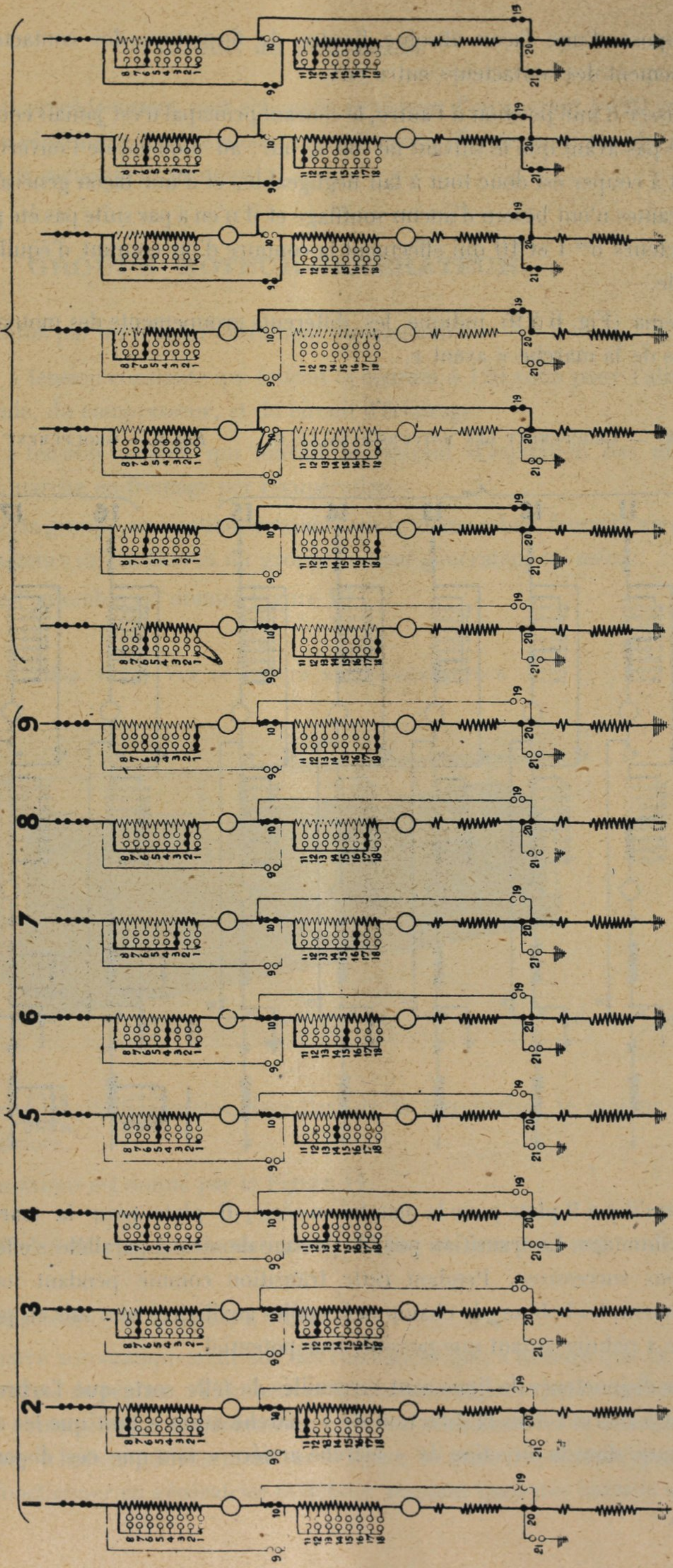


Fig. 6. — GROUPEMENT DES MOTEURS-SÉRIE.



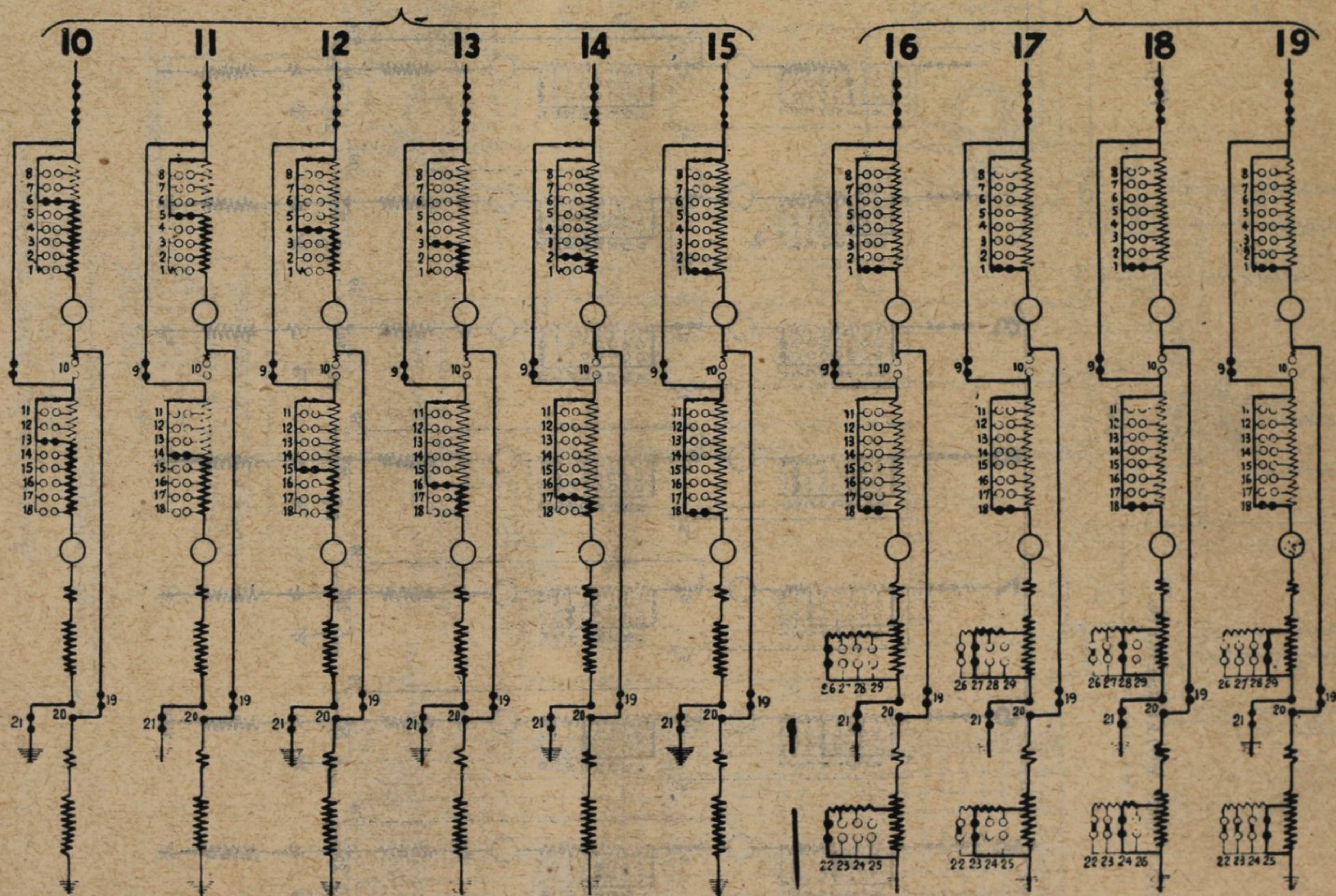
ce qui impose d'une façon absolue, l'ordre de fermeture des contacteurs et rend inutile l'enclenchement des contacteurs entre eux.

Pour passer d'une position à l'autre, le courant principal n'est jamais coupé, car un contacteur ne s'ouvre pas avant que le suivant ne soit fermé ; au moment de l'ouverture d'un contacteur, le courant à couper est donc tout à fait négligeable, et d'une façon générale, les contacteurs de l'arbre à cames n'ont besoin d'aucun soufflage et il n'en a par suite pas été prévu, sauf cependant aux contacteurs n^{os} 1 et 10 qui effectuent la coupure d'un courant d'équilibrage qui peut être appréciable.

Le schéma (Fig. 6 à 9) indique les différents groupements des moteurs et des résistances dans le cas de la marche « avant ».

Fig. 8. — GROUPEMENT DES MOTEURS-PARALLÈLE.

Fig. 9. — GROUPEMENT DES MOTEURS-SHUNTAGE.



On voit qu'il y a 9 plots pour la marche en série, 6 plots pour la marche en parallèle et 4 plots de shuntage. La transition pour le passage de série à parallèle s'effectue au moyen de 7 opérations successives. Pendant cette transition comme pendant toutes les parties du fonctionnement, les bobines de champ et les pôles auxiliaires sont mis en permanence à la terre de manière à réduire autant que possible leur potentiel.

Enfin les disjoncteurs de ligne sont verrouillés de telle sorte que l'arbre à cames ne puisse commencer à tourner dans la direction de « marche avant » tant que les disjoncteurs ne sont pas fermés, ou dans la direction de « marche arrière » tant que ces disjoncteurs ne sont pas ouverts.

b) **Circuit de commande.**

Les appareils décrits précédemment sont actionnés au moyen d'un courant à 120 volts fourni par un groupe moteur-générateur dont le moteur est alimenté directement par du courant à 1.500 volts pris avant le sectionneur principal.

GROUPE MOTEUR-GÉNÉRATEUR.

Ce groupe est constitué par un moteur entraînant directement :

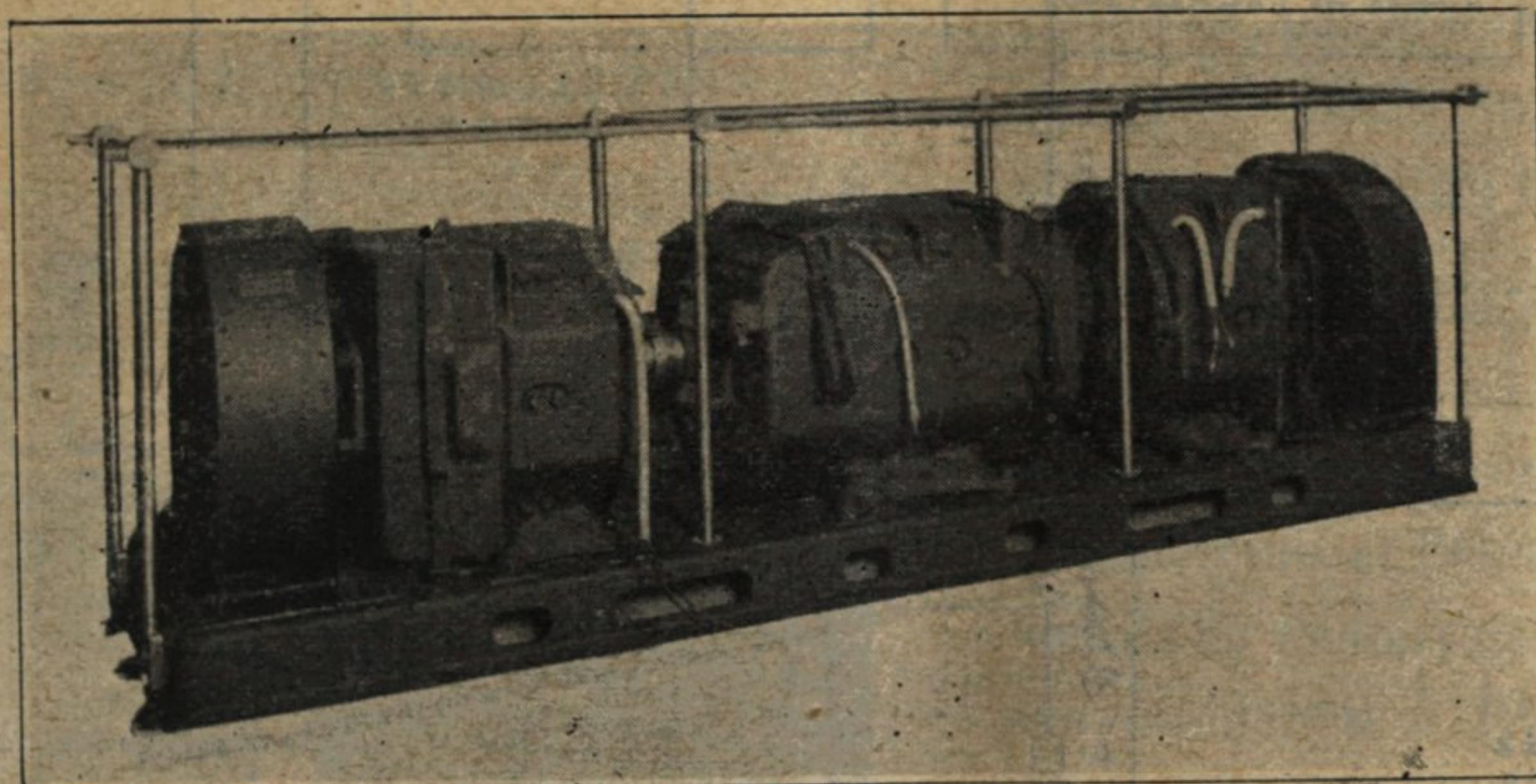
1° Une génératrice à tension constante qui fournit le courant à 120 volts pour l'alimentation du circuit de commande, du compresseur, et du circuit d'éclairage.

2° Une génératrice à tension variable qui fournit le courant d'excitation des moteurs de traction pendant leur marche en freinage par récupération.

A chaque extrémité du groupe, un ventilateur monté sur le même arbre, fournit l'air nécessaire à la ventilation des moteurs de traction et du groupe moteur-générateur lui-même.

La photographie de l'ensemble est donnée Figure 10.

Fig. 10. — VUE DU GROUPE MOTEUR-GÉNÉRATEUR



Le groupe est disposé longitudinalement, dans l'axe de la locomotive, le moteur au centre entre les deux génératrices.

Le schéma des connexions est donné par la Figure 11.

Moteur. — Le moteur a une puissance continue de 42 kw et une puissance unihoraire de 67 kw.

L'induit, à deux collecteurs, est alimenté à 1.500 volts.

Le moteur est démarré automatiquement sur des résistances qui, à mesure que la vitesse du moteur tend vers la vitesse de régime, s'éliminent progressivement par le jeu de trois contacteurs dont les bobines sont alimentées par la génératrice à tension constante. Si le courant venait à être supprimé ou même à baisser sérieusement sur la ligne, le moteur pourrait, par suite de l'inertie du groupe, fonctionner en génératrice et débiter pendant quelques instants un courant

à 120 volts, au moyen de résistances mises en circuit par le jeu d'un *régulateur de tension constante*. La demande en courant de commande peut en effet varier brusquement, en particulier avec la mise en marche du compresseur.

Quand la tension atteint 120 volts, un interrupteur de mise en circuit de la génératrice se ferme automatiquement. Cet interrupteur étant fermé, la génératrice à tension constante alimente la ligne de train-contrôle et le manipulateur principal placé dans la cabine de l'électricien.

Génératrice à tension variable. — La puissance continue de cette génératrice est de 14 kw et la puissance unihoraire de 22,5 kw. Ces puissances sont donc les mêmes que celles de la génératrice à tension constante.

L'inducteur est à deux enroulements antagonistes. L'un, à fil fin, est parcouru par le courant de commande. La tension est d'ailleurs réglée par une résistance, variable par le jeu de contacteurs comme nous le verrons dans l'étude de la marche en récupération.

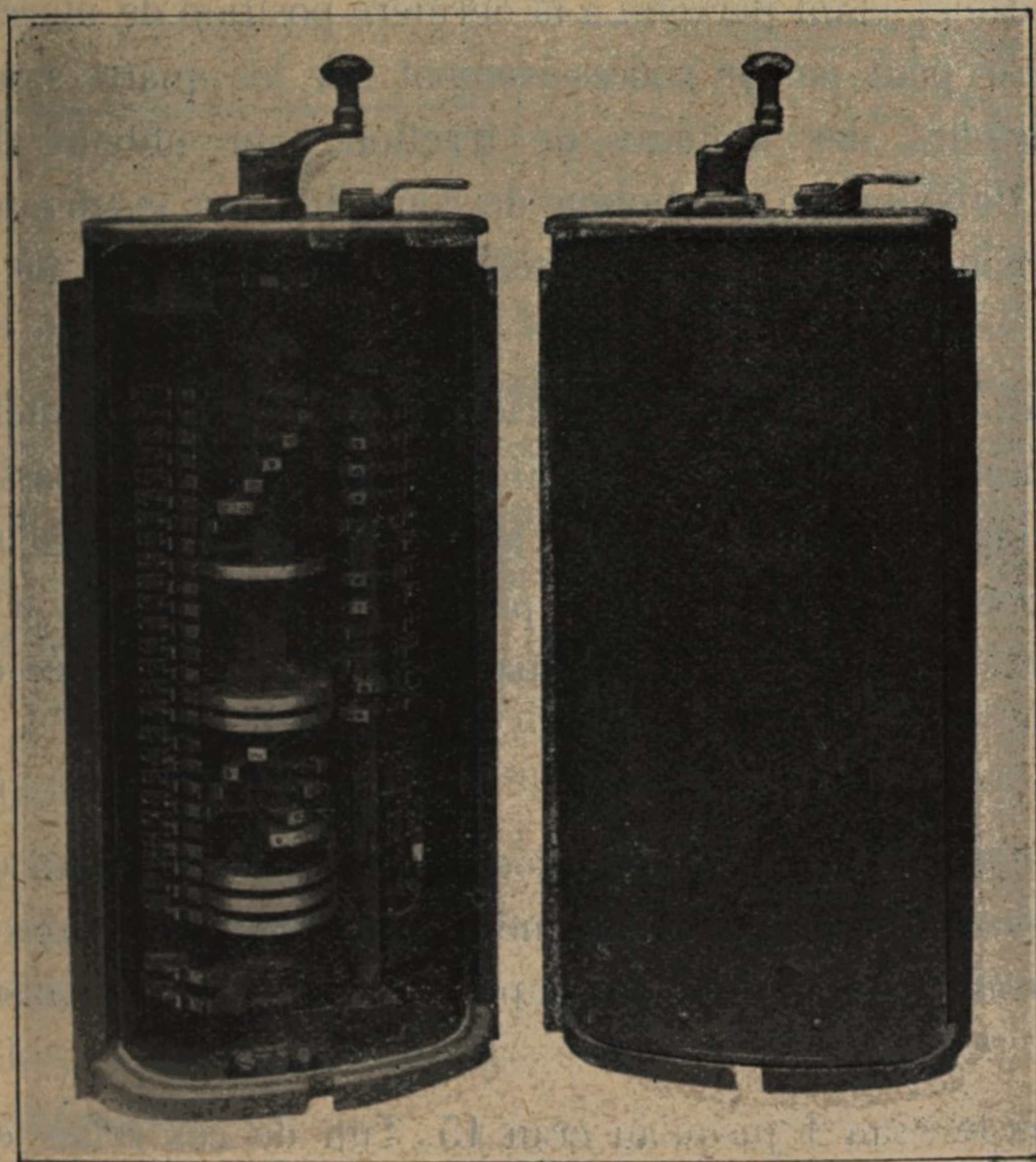
L'autre enroulement, à gros fil, est parcouru par le courant récupéré comme nous le verrons également dans la suite.

La mise en circuit de la génératrice à tension variable est commandée par un interrupteur automatique.

(c) **Manipulateurs.**

L'électricien agit sur le courant de commande, donc sur les divers appareils énumérés ci-dessus, par le moyen de trois manipulateurs placés sur son pupitre et représentés Figure 12.

Fig. 12. — VUE DES MANIPULATEURS.



1° *Le manipulateur principal* dont la manette peut occuper 19 positions et qui permet de réaliser les couplages des moteurs et l'élimination des résistances de démarrage. Ces 19 positions correspondent à 19 crans de marche.

- 1 à 9, marche en série;
- 10 à 15, marche en parallèle;
- 16 à 19, marche en parallèle avec shuntage du champ.

2° *Le manipulateur d'inversion et de freinage* qui peut occuper 5 positions :

- Neutre ;
- Marche avant en puissance ;
- Marche avant en freinage ;
- Marche arrière en puissance ;
- Marche arrière en freinage.

3° *Le manipulateur de commande et de réenclenchement* qui permet l'alimentation du manipulateur principal par le courant de commande et le réenclenchement des disjoncteurs de ligne en cas d'ouverture de ceux-ci.

(d) **Fonctionnement.**

1° *En marche normale.* — Quand, en marche normale, l'électricien déplace, cran par cran, la manette du manipulateur principal pour l'amener à une position donnée, le moteur de l'arbre à cames se met à tourner d'une façon continue, et par l'intermédiaire d'un vis sans fin et d'une roue striée, amène l'arbre à cames à la position définie par la manette du manipulateur principal. L'arrêt du moteur se produit grâce à un « relai de verrouillage du servo-moteur », dont l'excitation est régie par le régulateur de position placé en bout d'arbre à cames, et qui met en court-circuit l'induit du moteur.

Si alors, l'électricien avance d'un cran la manette du manipulateur, le court-circuit du moteur n'existe plus ; ce dernier reprend sa marche et s'arrête de la même façon à la position correspondant au cran suivant et ainsi de suite.

Dans le circuit du moteur de l'arbre à cames est intercalé en outre un inverseur de marche qui est mis dans la position marche arrière dès que les disjoncteurs de ligne s'ouvrent. Si ce fait se produit, l'arbre à cames se met automatiquement à tourner en arrière et revient à sa position correspondant au cran 0 du manipulateur principal. Soit que le courant vienne à manquer sur la ligne, soit que l'électricien ramène en arrière la manette du manipulateur principal (dans ce cas, grâce à la disposition de certains secteurs du tambour du manipulateur) les disjoncteurs de ligne sautent et placent l'inverseur de l'arbre à cames sur la position marche arrière. Ce dernier revient *jusqu'à* la position 0.

2° *Shuntage du champ.* — L'arbre à cames étant parvenu à la dernière position de marche en parallèle, la manette du manipulateur peut passer successivement sur les quatre crans correspondant au shuntage des inducteurs des moteurs de traction pour obtenir des augmentations de vitesse. A chaque cran de shuntage une bobine de contacteur est excitée par le courant à 120 volts et le fonctionnement des divers contacteurs règle la valeur de la résistance de shuntage, donc la vitesse.

Contrairement à ce qui se passe pour les crans de marche en série et de marche en parallèle, l'électricien n'est pas obligé de ramener la manette du manipulateur principal au 0 pour passer d'un cran de shuntage à un cran de shuntage inférieur. En effet, l'alimentation des contacteurs de shuntage se fait sans passer par les secteurs spéciaux du manipulateur principal dont il a été parlé plus haut (ouverture des disjoncteurs si la manette du manipulateur est ramenée en arrière).

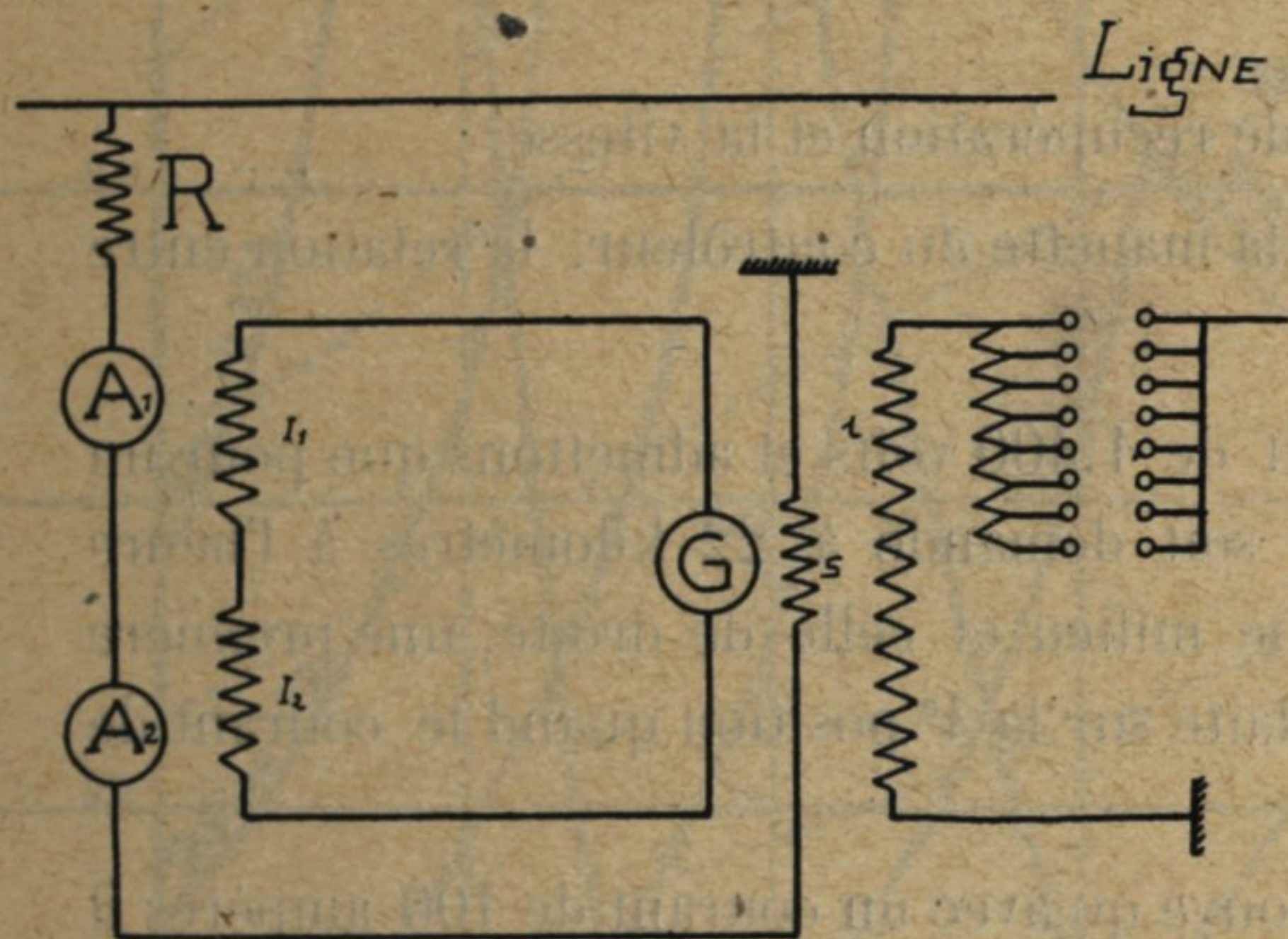
3° *Contrôle par unités multiples.* — Comme nous l'avons vu, chaque bogie constitue un ensemble séparé. Les deux arbres à cames d'une locomotive, de même que tous les arbres à cames des autres unités motrices qui peuvent être accouplées à la première, sont synchronisés par 6 relais de synchronisme.

Pour passer d'un cran à l'autre, depuis le cran 1 jusqu'au cran 15, l'un de ces relais ou une combinaison de deux d'entre eux, entrent en action pour le démarrage de chaque moteur d'arbre à cames. L'arrêt du moteur est obtenu, comme nous l'avons vu, par son propre contrôle qui met en court-circuit l'induit quand la position voulue est atteinte.

Freinage par récupération. — Pour obtenir le freinage par récupération, on alimente directement les inducteurs principaux avec le courant produit par la génératrice à voltage variable. Le convoi, entraîné par sa force vive et sous l'action de la gravité, fait tourner les moteurs principaux qui fonctionnent en génératrices et le courant produit est renvoyé sur la ligne. Un relai spécial empêche le branchement du circuit sur la ligne tant que la tension du courant récupérée est inférieure à 1.500 V, de même qu'un autre relai provoque le déclenchement dès que la tension du courant récupéré dépasse 2.000 V.

La Figure 13 donne le schéma du circuit de récupération. Les deux induits A_1 A_2 d'un même bogie sont montés en série avec les enroulements des pôles auxiliaires; ils sont réunis, d'un côté à la masse en passant par l'un des enroulements de l'inducteur de la génératrice à voltage variable, de l'autre à la ligne à travers une résistance tampon R. La valeur de cette

Fig. 13.— SCHEMA DE CIRCUIT DE RECUPERATION.



résistance est calculée de manière à empêcher le courant récupéré d'atteindre jamais des valeurs dangereuses et d'autre part de manière à obtenir une vitesse suffisante pendant la récupération.

Pour une tension constante sur la ligne, le freinage augmente avec l'excitation des moteurs principaux c'est-à-dire avec le courant fourni par la génératrice à voltage variable.

Or cette génératrice a deux enroulements inducteurs antagonistes :

l'un à gros fil dont nous avons parlé tout à l'heure parcouru par le courant récupéré.

l'autre à fil fin parcouru par du courant pris sur le circuit de commande à 120 V.

La tension de ce courant est réglée au moyen d'un régulateur de champ formé d'une suite de résistances que traverse le courant à 120 V et qui peuvent être éliminées progressivement par la fermeture de 9 contacteurs. Quand le mécanicien agit sur le manipulateur principal, fonctionnant pour le freinage, chaque cran du manipulateur correspond à la fermeture d'un contacteur du régulateur de champ, donc à l'élimination d'une résistance et à l'augmentation de la tension dans l'enroulement i , donc enfin à une augmentation de l'excitation I_1 , I_2 et de l'effort de freinage.

L'enroulement gros fil de la génératrice à voltage variable a pour but d'empêcher une augmentation importante du courant récupéré en cas de baisse de tension brusque sur la ligne.

Il fait varier le voltage de la génératrice avec le courant récupéré même si le manipulateur principal reste sur le même cran de freinage. S'il n'y avait pas ces tours série, le voltage de la génératrice resterait constant pendant tout le temps que le manipulateur est sur le même plot, puisqu'à chaque plot correspond un courant bien défini dans l'enroulement shunt de la génératrice.

L'enroulement série S constitue en somme un régulateur automatique du courant récupéré quand il y a des fluctuations de tension sur la ligne.

Nous avons vu plus haut le but de la résistance tampon R.

Elle a également le rôle de limiter le rapport du courant d'armature ou courant d'excitation, qui ne doit pas dépasser 3,5 pour que la marche soit satisfaisante.

Un relai spécial, dit relai différentiel, apporte une sécurité de plus par le maintien de ce rapport en introduisant progressivement des résistances dans le circuit de l'induit.

Les courbes de la planche XII permettent de se rendre compte, pour chaque position de la manette du contrôleur, de la façon dont se comporte l'équipement quand survient une variation de voltage en ligne.

La méthode de lecture est la suivante :

Les 3 courbes donnent :

1° Celle de gauche, la relation des ampères totaux par locomotive aux volts qui doivent être ajoutés à la tension de la ligne pour donner les volts totaux en récupération par paire d'armatures. En raison de la résistance du circuit sur la locomotive, les moteurs auront à fournir une tension plus élevée que la tension réelle de la ligne, la différence étant fonction de la valeur du courant récupéré.

2° La courbe milieu, la relation entre la tension de récupération et la vitesse.

3° La courbe de droite, pour chaque position de la manette du contrôleur, la relation entre l'effort de freinage et le courant total récupéré.

Supposons le cas où la tension en ligne serait de 1.400 volts et admettons que pour un train donné un effort de freinage de 3.000 kg soit demandé à 22 kilomètres à l'heure approximativement. En mettant en relation la courbe milieu et celle de droite, une première approximation indique que cette exigence sera satisfaite sur la 4^e position quand le courant de récupération est de 100 ampères.

En se reportant à la courbe de gauche, on trouve qu'avec un courant de 100 ampères il faut ajouter 80 volts à la tension de la ligne pour obtenir la tension de récupération, de sorte que les moteurs auront à récupérer à 1.480 volts.

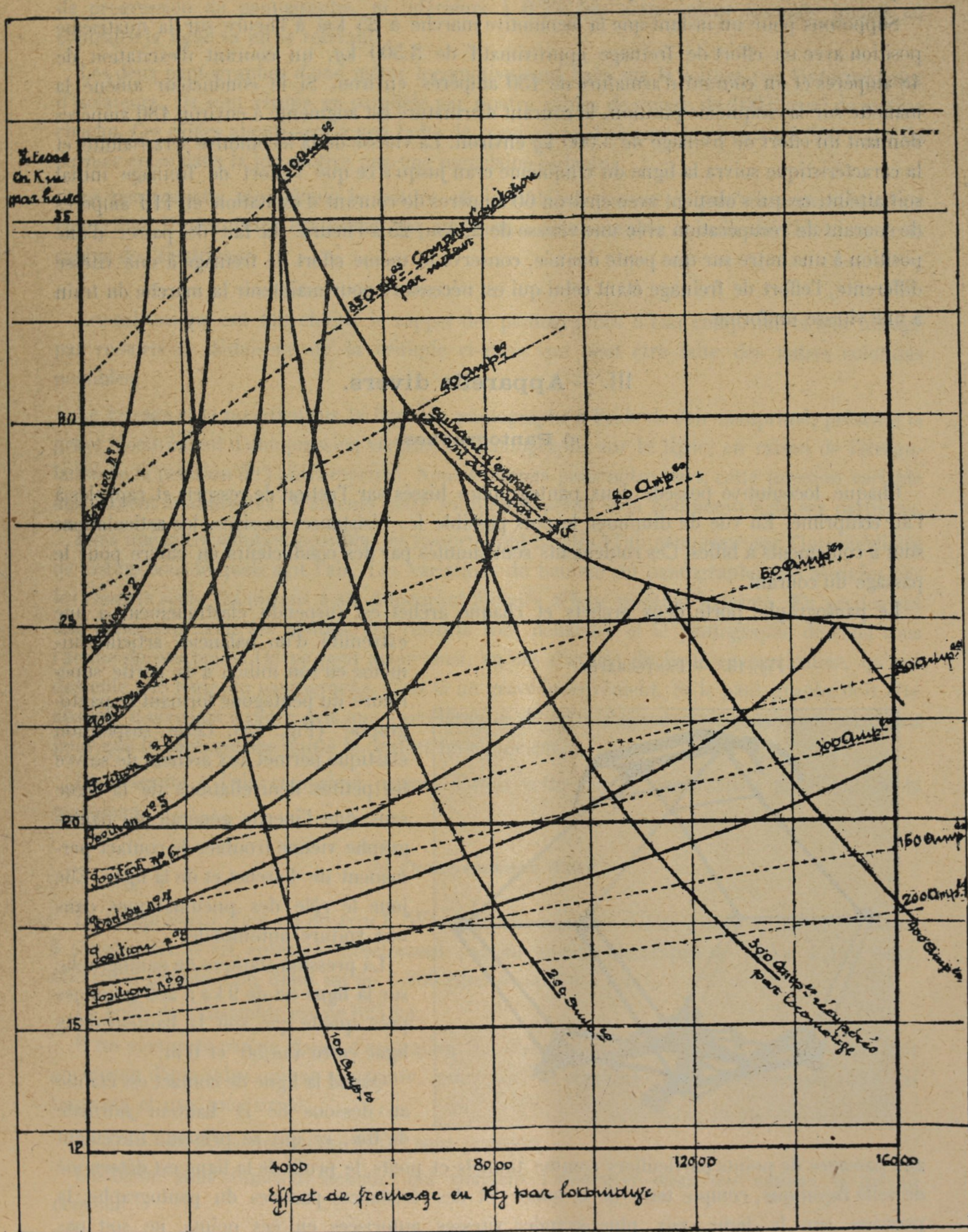
Prenons maintenant sur la courbe de droite le point d'intersection de la courbe de la 4^e position avec la courbe correspondant à 100 ampères et suivons à partir de ce point la ligne horizontale jusqu'à l'endroit où elle coupe la courbe milieu à 1.480 volts. De ce nouveau point, descendons verticalement et nous trouverons que la vitesse sera en réalité de 21 km, 5 à l'heure.

Supposons maintenant une chute de 200 volts sur la ligne ; il y aura naturellement une augmentation momentanée de courant causant une augmentation de l'effort de freinage, lequel en retour réduira la vitesse de la locomotive en supposant que le conducteur laisse la manette du contrôleur dans la même position. La vitesse sera réduite jusqu'à ce que l'effort de freinage initial reprenne, lequel naturellement est produit par le même courant de récupération qu'auparavant ; la tension de récupération sera maintenant de 200 volts au-dessous de la précédente c'est-à-dire 1.280 volts. En lisant sur la courbe milieu, la vitesse sera de 18 km, 5 à l'heure.

Par analogie une augmentation de la tension en ligne causera une augmentation de vitesse, mais ensuite le même effort de freinage se rétablira avec le même courant de récupération.

La courbe de la figure 14 représente l'effort de freinage rapporté à la vitesse pour chaque position de la manette du contrôleur avec les courbes correspondantes du courant d'excitation

Fig. 14. — FREINAGE EN RÉCUPÉRATION. — COURBES MONTRANT LA RELATION ENTRE L'EFFORT DE FREINAGE, LA VITESSE, LE COURANT D'EXCITATION, LE COURANT D'ARMATURE.



et du courant d'armature. L'examen de ces courbes indique clairement les changements qui s'opèrent en manœuvrant cran par cran.

Supposons pour un instant que la locomotive marche à 25 km à l'heure sur la quatrième position avec un effort de freinage approximatif de 3.500 kg, un courant d'excitation de 48 ampères et un courant d'armature de 130 ampères environ. Si le conducteur amène la manette sur la cinquième position, le courant d'armature est augmenté à environ 180 ampères donnant un effort de freinage de 5.000 kg environ. La vitesse de la locomotive sera réduite et la caractéristique suivra la ligne du cinquième cran jusqu'à ce que l'effort de freinage initial soit atteint, ce qui s'obtient avec environ 60 ampères de courant d'excitation et 110 ampères de courant de récupération avec une vitesse de 22 km, 25 à l'heure. Le fait de passer d'une position à une autre sur une pente donnée, conserve le même effort de freinage à une vitesse différente, l'effort de freinage étant celui qui est nécessaire pour maintenir la marche du train à une vitesse uniforme.

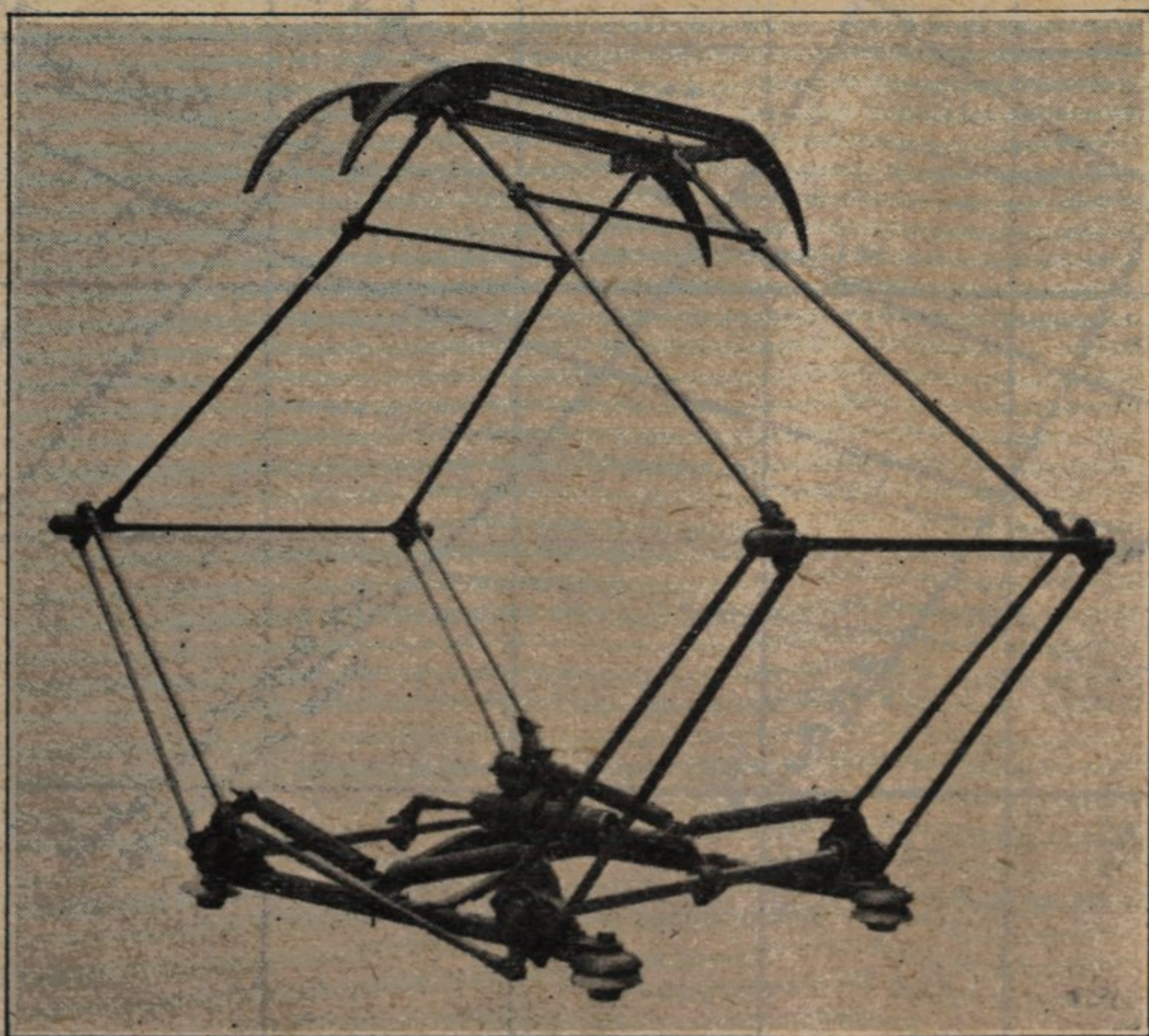
III. — Appareils divers.

a) Pantographes.

Chaque locomotive possède deux pantographes hissés par l'action de ressorts et rappelés à l'air comprimé. En vue de diminuer le plus possible les résistances passives, les articulations sont à roulements à billes. Ces roulements sont shuntés par des conducteurs en cuivre pour le passage du courant.

Le pantographe porte deux archets et chaque archet est suspendu élastiquement à une

Fig. 15. — PANTOGAPHE.



extrémité d'un balancier articulé lui-même en son milieu à la partie supérieure du pentagone formant le pantographe (Fig. 15). Cette suspension élastique permet aux archets de suivre les petites dénivellations de la ligne sans que l'inertie générale du pantographe vienne troubler le contact permanent de l'archet et de la ligne. Elle joue le rôle des pneumatiques dans une voiture automobile.

La pression statique du pantographe sur la ligne est de 9 kg à 200 grammes près, quelle que soit la hauteur de la ligne entre 4 m,50 et 6 m.

Quand la ligne de contact est établie au-dessous de la hauteur normale de 6 m, ce qui se présente forcément

aux passages de points particuliers comme tunnels et ponts, le profil de la ligne est déterminé de telle façon que, compte tenu de la masse et des résistances passives du pantographe, la pression sur la ligne, aux plus grandes vitesses autorisées en ces points, ne soit pas

supérieure à 1,25 fois la pression normale quand la ligne va en s'abaissant dans le sens de progression du pantographe, ni inférieure à 0,75 fois cette valeur normale quand au contraire la ligne va en se relevant.

Les deux pantographes d'une même locomotive sont fixés sur la toiture par l'intermédiaire d'isolateurs. Ils sont réunis en parallèle par quatre câbles de cuivre de $100,2 \text{ mm}^2$ de section chacun. Ces câbles aboutissent à une boîte de connexions d'où part le circuit à 1.500 volts. Ce dernier entre dans la locomotive par une porcelaine isolante.

Le pantographe abaissé sur la toiture est immobilisé par un cliquet manœuvrable à l'air comprimé. Il peut l'être également par un verrou manœuvrable à main de l'intérieur de la cabine de l'électricien.

Les raisons qui ont fait choisir le rappel des pantographes à l'air comprimé et leur hissage par ressorts se déduisent de la critique ci-après qui peut être faite des autres solutions possibles.

Le hissage et le maintien sur la ligne du pantographe à l'aide de l'air comprimé, présente le grave inconvénient d'une pression variable du pantographe sur la ligne, en raison de l'irrégularité de la pression de l'air comprimé. Nous estimons pour notre part, cette pression variable absolument inadmissible. D'ailleurs cette solution a perdu déjà bon nombre de ses partisans.

Dans une autre solution possible, les ressorts sont bandés à l'air comprimé par l'intermédiaire de pistons sous lesquels agit l'air. Les variations de hauteur du pantographe sont assurées par les ressorts seuls, les pistons à air demeurant bloqués à leur position extrême. En produisant une dépression sous les pistons, les ressorts sont débandés et le pantographe descend sous l'action de son poids. On ne peut avoir ainsi, en cas d'avarie de ligne en particulier, qu'une descente très lente du pantographe. C'est là un grave inconvénient. Si le pantographe doit être abaissé, il convient à notre avis que l'accélération de cette descente soit maximum au début pour que le pantographe quitte le contact brusquement.

La descente à l'air comprimé permet d'avoir cette grande accélération au début de la manœuvre.

(b) Compresseur d'air.

Le compresseur d'air est du type F. Westinghouse à grande vitesse à deux cylindres verticaux à simple effet. Il est entraîné directement par un moteur électrique de 14 kw à 120 volts, 650 tours-minute. Son débit est de 1.800 litres-minute à 7 kg.

Le poids de l'ensemble est de 625 kg.

Il ne comporte pas de clapet d'aspiration. La distribution d'air aux deux cylindres se fait au moyen d'une valve unique tournante, genre Corliss, entraînée à demi-vitesse par une vis tangente et une roue striée.

Le graissage des articulations se fait sous pression.

Les bielles sont munies de lécheurs qui viennent s'alimenter dans des canaux à niveau constant.

Les cylindres sont refroidis par rayonnement.

Le compresseur se met automatiquement en marche dès que la pression dans le réservoir est inférieure à 5 kg et il s'arrête dès que cette pression est remontée à 7 kg.

Ce compresseur a été soumis à un essai d'endurance de 3 jours consécutifs sans arrêt. On n'a relevé aucune défaillance ni aucune usure sensible.

(c) **Appareil de mesure.**

Dans chaque cabine, l'électricien a sous les yeux un voltmètre et un ampèremètre. L'ampèremètre est à deux cadrans : un pour la marche en puissance, l'autre pour la marche en freinage par récupération.

Chaque locomotive est munie d'un compteur d'énergie.

CHAPITRE IV. — **ESSAIS**

Mesure de la période d'oscillation. — Les oscillations transversales de la locomotive ont été provoquées en mettant brusquement en marche dans un sens et dans l'autre le chariot transbordeur sur lequel avait été amenée la locomotive.

L'amplitude des oscillations de la caisse était enregistrée à l'aide d'ampoules Marey, montées entre cylindre et piston d'un équilibreur de chaque bogie, sur un tambour de Chauveau placé sur la locomotive. En même temps, un diapason battant le 1/50^e de seconde enregistrait les temps sur le même tambour.

Les oscillations ainsi enregistrées, ont une période de l'ordre de 90/100 de seconde.

Essai de traction en rampe. — Sur la rampe de Tournay à Capvern de 33 mm par mètre, la locomotive à marchandises n° 4.002 a remorqué des trains dans les conditions ci-après :

CRAN du manipulateur	COUPLAGE DES MOTEURS	VITESSE kmh	TENSION en ligne volts	INTENSITÉ dans l'induit d'un moteur Ampères
(c) Charge : 205 tonnes (non compris la locomotive)				
9	Série.....	12	1.300	75
15	Parallèle.....	26	1.300	150
(b) Charge : 237 tonnes (non compris la locomotive)				
15	Parallèle.....	26	1.400	160
(a) Charge : 254 tonnes (non compris la locomotive)				
15	Parallèle.....	27	1.400	172
17	Parallèle et shuntage.....	46	1.450	175

La puissance continue correspond à une intensité de 160 ampères par moteur, et la puissance unihoraire à une intensité de 200 ampères.

Essais de freinage en récupération. — Ces essais ont été effectués dans la rampe de Capvern, de 33 mm par mètre. Nous donnons ci-dessous quelques relevés effectués avec différentes charges sur la locomotive à marchandises N° 4.002.

CRAN du manipulateur	VITESSE	TENSION en ligne à vide	TENSION récupérée	INTENSITÉ dans les moteurs principaux	INTENSITÉ dans les inducteurs principaux
	kmh	V	V	A	A
(a) Charge : 104 tonnes (non compris la locomotive)					
5.....	24	1.540	1.650	150	150
6.....	22	d°	1.650	155	175
7.....	20	d°	1.650	155	197,5
8.....	20	d°	1.645	150	195
9.....	18	d°	1.640	135	280
(b) Charge : 168 tonnes (non compris la locomotive)					
4.....	31	1.500	1.600	260	85
5.....	26,5	d°	1.650	260	120
6.....	22	d°	1.630	220	155
7.....	21	d°	1.650	210	165
8.....	20	d°	1.650	210	175
9.....	19	d°	1.650	190	255
(c) Charge : 205 tonnes (non compris la locomotive)					
5.....	20		1.600	200	110
6.....	20		1.550	250	170
7.....	19		1.650	250	270