

Titre général : L'Électricité à l'exposition de 1902

Auteur : Hospitalier, E.

Titre du volume : L'Électricité à l'Exposition de 1900. 5. Canalisation et appareillage

Mots-clés : Exposition internationale (1900 ; Paris) ; Électricité ; Canalisation

Description : 1 vol. (67 p.) ; 32 cm

Adresse : Paris : Vve Ch. Dunod, 1901

Cote de l'exemplaire : 4 XAE 68.5

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?4XAE68.5>

L'Électricité à l'Exposition de 1900

Publiée avec le concours et sous la direction technique de MM.

E. HOSPITALIER

Rédacteur en chef de *l'Industrie électrique*

J.-A. MONTPELLIER

Rédacteur en chef de *l'Électricien*

AVEC LA COLLABORATION

D'INGÉNIEURS ET D'INDUSTRIELS ÉLECTRICIENS

5^e FASCICULE

CANALISATION ET APPAREILLAGE

PAR

M. E. HOSPITALIER

PARIS

V^{ve} CH. DUNOD, ÉDITEUR

49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 49

TÉLÉPHONE 147-92

—
1901

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'ÉLECTRICITÉ

A

L'EXPOSITION DE 1900

CINQUIÈME PARTIE

CANALISATION ET APPAREILLAGE

I

CANALISATION

Nous examinerons successivement les *conducteurs*, les *isolants* et *isolateurs*, les *lignes aériennes*, les *câbles* et leurs *accessoires d'installation*.

CONDUCTEURS

Cuivre. — Le cuivre et ses dérivés sont presque exclusivement employés aujourd'hui pour les canalisations électriques. Le cuivre est obtenu à l'état de grande pureté par un raffinage électrolytique (classé 24) et par des traitements métallurgiques spéciaux (classe 63); on parvient à lui donner des qualités appropriées aux applications spéciales auxquelles on les destine. Ces qualités sont résumées dans le tableau ci-dessous, dressé par la *Compagnie française des Métaux* (Paris). Toutes les grandes maisons françaises et étrangères produisent aujourd'hui des qualités équivalentes.

NATURE DES FILS	CONDUCTIVITÉ RELATIVE A CELLE DU CUIVRE		RÉSISTANCE MÉCANIQUE DE RUPTURE en kg : mm ²
	Écrouti	Recuit	
Fil cuivre rouge haute conductibilité	100	102	47
Fil cuivre rouge durci haute conductibilité pour télégraphe	96	98	49
Fil cuivre rouge haute conductibilité durci	80	82	59
Fil bronze pour téléphone	50	52	70 à 75
Fil bronze extra-dur pour téléphone	36	38	80 à 85
Fil bronze jaune pour téléphone	36	38	72
Fil bronze jaune extra dur pour téléphone	30	32	82

Aluminium. — Employé comme conducteur *nu* sous forme de fils et câbles. Il est plus économique que le cuivre dans certaines conditions; mais il ne faut pas l'employer comme câble isolé, à cause du plus gros diamètre résultant de la faible densité, surtout pour les hautes tensions, qui conduit à un prix de l'isolant trop élevé. La masse d'un conducteur de résistance R' de longueur l, de densité D et de résistivité ρ est donnée par la formule :

$$M = \frac{l^2}{R} \cdot \rho D.$$

Pour une longueur et une résistance donnée, cette masse sera donc proportionnelle au produit ρD . Pour le cuivre et l'aluminium, on a respectivement :

$$\text{Cuivre : } \rho D = 14,24; \quad \text{Aluminium : } \rho D = 7,54.$$

L'aluminium donnera donc une ligne sensiblement deux fois moins lourde, et coûtant, comme métal conducteur, le même prix dès que l'aluminium est à un prix double environ de celui du cuivre.

Des conducteurs en aluminium figuraient classe 24, et les ateliers d'Oerlikon construisent des transformateurs dont le circuit à basse tension est en barres d'aluminium.

Conducteurs divers. — Pour l'établissement des rhéostats et des boîtes de résistance, on a composé un grand nombre d'alliages (constantan, rhéostan, manganine, ferro-nickel, kruppine, etc.), dont les uns présentent une résistivité élevée, les autres un coefficient de température faible, nul ou négligeable. L'examen de ces alliages, dont les propriétés sont données dans les formulaires et aide-mémoires électriques, sortirait de notre cadre.

ISOLANTS

Depuis 1899, le développement de l'emploi des hautes tensions et le prix de plus en plus élevé du caoutchouc ont contribué à la création d'un grand nombre de substances isolantes *spéciales* — mot mystérieux qui dispense d'indications plus précises — en vue de trouver un succédané aux matières employées il y a une dizaine d'années.

L'ardoise, le marbre, l'ébonite, la porcelaine, le verre, le mica et le caoutchouc conservent toujours leurs applications anciennes. Nous n'en parlerons pas ici, nous réservant de donner quelques renseignements, d'ailleurs fort incomplets — et pour cause — sur les isolants nouveaux.

Ambroïne. — Cette matière isolante, présentée par la *Société française de l'Ambroïne*, est une composition dans laquelle entrent, en proportions variables suivant les qualités à obtenir, des résines fossiles, de l'amiante, du mica, etc. Sa densité varie entre 1,4 et 1,7.

Résistance de rupture à la traction.....	150 kg : cm ²
— — — compression.....	400 à 500 kg : cm ²

Sa rigidité électrolytique dépasse 5 000 volts pour une épaisseur de 0,33 mm, et l'isolement spécifique atteint 300 mégohms-cm.

Elle résiste à l'humidité et n'absorbe que 0,32 pour 100 d'eau après immersion prolongée dans de l'eau à 70° C.

Sa fabrication par moulage permet de fabriquer des pièces isolantes de formes les plus compliquées, tels que plots de traction pour contacts superficiels, carcasses de compteurs, etc., et de disposer au préalable dans le moule les garnitures ou les pièces taraudées servant à ménager des trous ou des écrous tout préparés d'avance.

Signalons encore des carcasses de transformateurs pouvant résister à 10 000 volts, des tendeurs de lignes de trolley à 500 volts, des isolateurs de troisième rail pour le Métropolitain de Paris, donnant un isolement individuel de 350 mégohms.

Stabilité. — Matière isolante moulée de l'A. E. G.

Résistivité en mégohms-cm.....	200
Rigidité électrostatique en kilowatts : mm	10 à 15

Cet isolant se fabrique en plaques, en barres et en tuyaux, mais peut se mouler sous toutes les formes.

Amiante vulcanisée. — Isolant incombustible, non fragile aux chocs et peu déformable, fabriqué par l'A. E. G. Obtenu en comprimant à haute pression des fibres d'amiante et du caoutchouc spécial, le caoutchouc ne servant qu'à donner à l'amiante le liant qui lui fait défaut.

Micanite. — Le prix du mica naturel augmente très rapidement avec la dimension et devient bientôt prohibitif. On fabrique depuis quelques années un succédané de mica avec les déchets de bonne qualité et les petits morceaux finement clivés superposés et agglomérés à chaud sous pression par des résines spéciales. La *micanite* ainsi obtenue se moule et sert d'isolant pour le collecteur, les bobines de moteurs et transformateurs, etc. Sa densité est d'environ 2,4.

Toile de micanite. — Est de la micanite couverte de toile qui a pour but de faciliter la manipulation; elle ne se fabrique qu'en plaques dures ou flexibles. L'épaisseur varie de 0,3 à 3 cm format usuel 60×60 cm. Sa densité est de 1,5.

Micanite recouverte de papier japonais. — Se fabrique en plaques, durcies ou flexibles. La couverture ne sert que pour faciliter l'emploi, spécialement lorsqu'on veut obtenir des produits courbés. L'épaisseur varie de 0,3 mm à 3 mm. Format usuel 60×60 cm. Densité : 2,2.

Toile huilée. — Sert à recouvrir les induits et se fabrique en diverses épaisseurs et en couleur jaune.

Papier japonais (Watterproof Felt). — Se fournit en rouleaux de 90 cm de largeur et 90 m environ de longueur, gommé d'un côté, ou non gommé, et en rubans de 6 mm de largeur et au dessus; Ce produit s'emploie à la construction de dynamos, appareils et câbles, à cause de ses qualités de souplesse, de ténacité et de fort isolement.

Cornite. — Cette matière est un bon isolant aux températures élevées et pour les hautes tensions. elle est tout à fait inaltérable jusqu'à 200° C.

Vitrite. — Cette matière, analogue à la cornite, résiste aux températures élevées, mais ne peut être utilisée que pour des pièces robustes, à parois épaisses.

Carton comprimé lustré (Pressspahn). — Ce carton est présenté par la maison *H. Weidmann*, de Rapperswyl (Suisse). Sa préparation spéciale lui donne une densité de 1,23 et une rigidité électrostatique de 3 000 volts efficaces pour une épaisseur de 0,26 mm. Il se fabrique en épaisseur variant de 0,2 à 7 mm, sous le format normal de 70 cm sur 90 cm. Les résistivités sont très variables avec la qualité, car des essais faits à l'Institut polytechnique de Munich ont montré, pour des pièces fabriquées, des résistivités variant entre 1 et 50 000 mégohms-cm, pour des tensions comprises entre 20 et 900 volts.

Carton comprimé lustré micanisé. — Se fabrique en feuilles minces revêtues de mica d'un ou des deux côtés à volonté. S'emploie pour des isollements plus soignés.

Amiante durcie (*Amiante vulcanisée*). — Cette matière exempte entièrement de toute affinité par un procédé spécial de vulcanisation, mais sans employer de caoutchouc, de sorte que ce produit résiste aussi bien à une température assez élevée qu'à toute influence de l'humidité, car il ne contient aucune matière soluble et altérable. Sa couleur naturelle est grise; mais elle s'obtient aussi en noir ou en brun, et ses surfaces prennent un poli parfait. La matière dont la densité est 1,7 se travaille avec facilité, en plaques, bobines, rondelles, boîtes de sûreté, interrupteurs, barres, tubes ronds, elliptiques, carrés, etc.

Pyrostat. — Cette matière, analogue à l'amiante durcie, mais moins facile à travailler, est spécialement préparée pour résister aux hautes températures; elle s'emploie pour des interrupteurs d'étincelles et pour des pare-étincelles.

Papier d'amiante. — Ce papier se fabrique en rouleaux de 90 cm de largeur ou en rubans de 6 mm à 40 mm de largeur. Cette matière s'emploie avantageusement pour l'isolement des induits de dynamos.

Carton durci et laqué. — La maison *Adt Frères*, de Pont-à-Mousson, s'est fait une spécialité de cet isolant, obtenu en imprégnant du papier avec des huiles, des graisses, du bitume et autres matières équivalentes, et en les recouvrant de laques résistantes qui les rendent imperméables et augmentent l'isolement. Le carton durci et laqué est peu coûteux; il possède assez d'élasticité pour résister aux chocs, pour qu'on puisse en faire des récipients de piles dites sèches, en prenant la précaution de le recouvrir intérieurement d'un vernis résistant aux acides. La rigidité électrostatique du carton durci atteint 5 000 volts pour une épaisseur de 5 mm.

Fibre vulcanisée. — Cet isolant bien connu, dont la fabrication remonte à 1875, est présenté par la *Vulcanized Fibre Co*, de Wilmington (Delaware, U. S. A.). Elle se fabrique en deux qualités : dure et flexible, en planches ou en tuyaux. Sa densité est d'environ 1,38. La fibre dure se moule et se travaille à l'outil, comme le bois; elle prend un beau poli, n'est pas cassante et présente un isolement élevé. On en fait des bobines, des montures de commutateurs, des isolants de conducteurs dans les induits dentés, etc. La qualité flexible n'est pas employée en électricité.

Phulaxite. — Isolant dérivé de l'ébonite, et d'une très grande souplesse, présenté par la maison *Pirelli et C^{ie}*, de Milan. On en fait des tubes isolants pour traverser les murs, des gants et des souliers pour monteurs électriciens, etc.

Verre moulé. — La Société de Saint-Gobain fabrique avec le verre moulé des isolateurs pour lignes aériennes, des isolateurs de rails de contact pour chemins de fer électriques, des sabots isolateurs pour dynamos, des dalles pour revêtement de postes électriques de très haute tension.

Opaline. — L'opaline, verre opalin fabriqué par *Saint-Gobain*, s'emploie brute ou polie, laminée ou moulée, pour les tableaux de distribution et les socles d'appareils électriques, en raison de son inaltérabilité, de sa grande résistivité, de sa propreté et de sa facilité de nettoyage. Son homogénéité rend les fissures superficielles sans importance et lui constitue une supériorité, à ce point de vue, sur la porcelaine et les autres matières émaillées.

Porcelaine. — La porcelaine est toujours le meilleur isolant à employer pour les lignes aériennes et les pièces non soumises à des chocs. Les applications aux interrupteurs, coupe-circuits, isolateurs, etc., sont innombrables. Nous signalerons ici plus spécialement les isolateurs pour hautes tensions de la maison *Parvillée et C^{ie}*. Pour les tensions des 2 000 volts, ces isolateurs sont à double cloche, à triple cloche pour les tensions de 3 000 volts, et d'une forme spéciale pour les tensions de 20 000 à 30 000 volts, dont on envisage les applications en France à bref délai. Les formes d'isolateurs ne sont pas encore d'ailleurs définitives, et l'Exposition ne nous a pas fourni d'indications bien précises sur les dispositifs les meilleurs, car toutes les canalisations y étaient souterraines, et il y avait fort peu d'isolateurs exposés.

LIGNES AÉRIENNES

La construction des lignes aériennes est devenue aujourd'hui une industrie classée, et l'Exposition ne présentait rien de spécial à ce point de vue. Nous signalerons cependant deux types de poteaux métalliques présentés dans la section française par M. Joya et M. Génissieu.

Poteaux métalliques en tôle d'acier rivée, système Joya. — Étudiés spécialement pour les lignes de tramway à fil aérien. Le poteau est constitué par une série de viroles tronconiques en tôle d'acier doux et d'épaisseurs différentes, décroissant depuis la base jusqu'au sommet.

Un tel genre de poteau permet ainsi d'obtenir par une constitution bien étudiée de viroles, de diamètre et d'épaisseur voulus, des poteaux de toutes hauteurs et d'efforts différents, depuis 150 kg jusqu'à 800 kg et plus de tension horizontale au sommet.

Ils sont constitués par des viroles tronconiques en tôle d'acier doux, emboîtées et assemblées par rivetage à la presse hydraulique. Les emboîtages sont exécutés par une double rangée de rivets assurant une adhérence parfaite entre les viroles.

Ils sont susceptibles d'une grande tension au sommet avec une flexion très réduite, la composition des viroles étant établie pour donner une égale résistance aux efforts dans chacune des parties du poteau. C'est là le plus grand avantage de ce système.

Les poteaux têtes de lignes et tendeurs à haute tension sont du même type et établis spécialement pour être renforcés par un remplissage en ciment armé, en vue d'en augmenter la résistance dans une très grande proportion.

Pour l'adaptation de ce ciment armé, il est fixé, dans chacun des poteaux, trois équerres au sommet, et trois équerres à la base, reliées entre elles par des barres de fer rond de 15 mm de diamètre, portant à chacune de leurs extrémités un écrou spécial à l'aide duquel on fait tendre ces barres avant la mise en place des poteaux. Le béton en ciment est ensuite introduit par la partie supérieure de ces derniers, ou bien encore il peut être introduit dans le poteau avant la mise en place de celui-ci dans le sol.

Dans ce système de poteaux, la composition des viroles est établie pour chaque effort de tension demandé, quelle qu'en soit la hauteur d'application au-dessus du sol. Il offre donc un avantage considérable sur tous les poteaux similaires.

Le poteau « type Campagne », qui est d'un prix assez réduit, remplace avantageusement, au point de vue de la durée et de l'esthétique, le poteau ordinaire en bois, qui est mis rapidement hors de service et dont les ruptures fréquentes, par suite d'orages, peuvent occasionner de très graves accidents, et des interruptions de service prolongées.

Poteaux métalliques système André. — La maison *Génissieu et C^e* expose des spécimens d'un système de poteaux métalliques destinés à être scellés dans le sol. Ce système consiste essentiellement dans l'emploi de quatre cornières à angles arrondis dites couvre-joints, formant arêtières, assemblées et maintenues rigides par un frettage extérieur formé de fers plats, et par un contrefretage intérieur, réalisé par des contrefrettes en fonte. Le serrage se fait à chaud, et l'on obtient des poteaux absolument solides et rigides sans emploi de rivets ni boulons, sans percement d'aucun trou. Ce type de poteaux a reçu de nombreuses applications à des lignes de tramways, de distributions d'énergie, comme supports de lampes à arc, etc.

En faisant varier les dimensions des cornières, l'espacement des frettes entre elles, on peut exactement proportionner la construction du poteau à la résistance qu'il a à supporter.

Ce système de poteaux s'établit jusqu'à 10 et 12 m de hauteur hors terre, et jusqu'à 5 à 600 kg de résistance au sommet. Pour l'intérieur des villes, il est très facile de rendre ces poteaux décoratifs en y ajoutant des embases, socles, chapiteaux, etc...

CABLES INDUSTRIELS

Les câbles industriels sont constitués par une *âme* conductrice en cuivre, un *isolant* continu plus ou moins parfait et, dans certains cas, une armature formant protection mécanique.

Chaque fabricant de câbles a des spécifications spéciales, et il serait fastidieux d'en faire l'énumération pour chacun d'eux. Nous nous contenterons d'indiquer les plus courantes et qui constituent les éléments moyens caractéristiques de la fabrication actuelle.

En général, l'âme en cuivre est en fil unique jusqu'à des diamètres de 5 mm. On la fait en câble à partir de 3 ou 4 mm de section jusqu'à 400 mm², avec 7, 19, 37 et 61 fils.

Isolement léger pour endroits secs. — Guipage coton imprégné. Ruban imprégné. Tressage coton enduit.

Isolement moyen pour endroits secs. — Conducteur en cuivre étamé. Une couche caoutchouc naturel, un guipage coton imprégné. Un tressage enduit.

Pour le conducteur câblé, le guipage est remplacé par un ruban imprégné.

Isolement de 5 mégohms-km. — Conducteur en cuivre étamé. Une couche caoutchouc vulcanisé. Un ruban caoutchouté avec enduit noir pour les fils ou un ruban caoutchouté et un tressage avec enduit noir ou deux rubans caoutchoutés avec enduit noir ou un ruban enduit et un tube de plomb pour les câbles.

Isolement de 250 mégohms-km. — Conducteur en cuivre étamé. Une couche caoutchouc naturel; une couche caoutchouc vulcanisé et deux rubans caoutchoutés avec enduit noir ou deux rubans caoutchoutés et un tressage enduit noir, ou deux rubans caoutchoutés et un tube de plomb.

Isolement de 600 mégohms-km. — Conducteur en cuivre étamé. Deux couches de caoutchouc vulcanisé. Deux rubans caoutchoutés avec enduit noir ou deux rubans caoutchoutés et un tressage enduit noir, ou deux rubans caoutchoutés et un tube de plomb.

Isolement de 1 200 mégohms-km. — Conducteur en cuivre étamé. Une couche caoutchouc naturel. Deux couches caoutchouc vulcanisé et deux rubans caoutchoutés avec enduit noir ou deux rubans caoutchoutés et un tressage enduit noir, ou deux rubans caoutchoutés et un tube de plomb.

CABLES SOUS PLOMB

Câbles sous plomb isolés au jute imprégné. — Ces câbles sont fabriqués par la *Société alsacienne de constructions mécaniques* de Belfort, de la façon suivante :

Un toron de fil de cuivre de section convenable est recouvert d'une ou plusieurs couches de fils de jute calibrées à un diamètre et une épaisseur déterminés. Le câble ainsi recouvert est mis à l'étuve, où, par l'effet d'un courant d'air chaud, le jute qui l'entoure perd la plus grande partie de son humidité. Le câble est ensuite transporté dans une cuve chauffée et soumis au vide qui en achève la dessiccation parfaite. A ce moment, la matière isolante, chaude et fluide, est introduite dans la cuve et imprègne d'une façon complète le textile dont les pores sont privés d'air.

Au sortir de la cuve, le câble est passé dans la presse à plomb qui le recouvre d'un tube homogène sans soudure ni couture, d'épaisseur déterminée et croissante avec son diamètre. Le câble recouvert de son tube de plomb est mis aussitôt dans un bassin rempli d'eau, où, après un séjour prolongé, il est soumis aux essais d'isolement, de capacité et de résistance, ainsi qu'aux épreuves sous haute tension. Ces épreuves sont faites au double de la tension de régime pour lequel le câble a été construit. Le système de fabrication reste le même s'il s'agit de câbles à un ou plusieurs conducteurs pour basse ou haute tension, le nombre de couches de fil, leur épaisseur et le nombre de passages à l'étuve ou au bain variant seuls suivant les cas. Le câble ayant satisfait aux essais électriques est recouvert de son armature, qui se compose de : un enduit bitumineux et une enveloppe de papier bitumé, un matelas de filin de jute bitumé, sur lequel sont enroulés, dans le même sens, deux rubans d'acier superposés, dont le second recouvre les vides restant entre les spires du premier. La cuirasse protectrice est ainsi continue, tout en laissant une grande souplesse au câble.

L'épaisseur des rubans d'acier augmente avec le diamètre des câbles, de façon à opposer

aux détériorations accidentelles une résistance d'autant plus sérieuse que le câble est d'un diamètre et d'un poids plus grands. L'armature d'acier est elle-même asphaltée et recouverte d'une dernière enveloppe de filin de jute asphalté. Dans certains cas, cette armature peut être remplacée ou recouverte par des fils ou torons de fils d'acier destinés à lui donner, suivant le cas, un plus grand poids ou une plus grande résistance à la traction.

Ces câbles s'établissent avec 1, 2 ou 3 conducteurs, égaux ou inégaux, et pour des tensions variant entre 600 et 6 000 volts.

Câbles à haute tension de la Société industrielle des Téléphones. — La Société fabrique dans ce but des câbles armés et isolés au caoutchouc ; mais elle recommande, de préférence, pour les canalisations souterraines, les câbles isolés au jute et au papier imprégné, dont les qualités

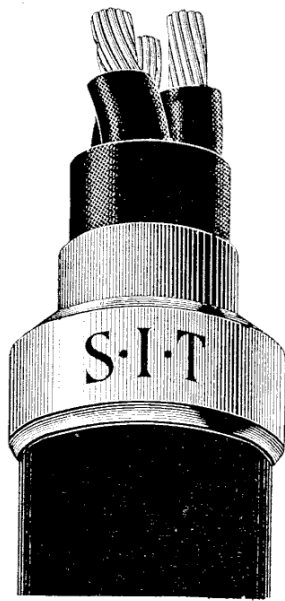


FIG. 1. — Câble pour courants triphasés de la Société industrielle des Téléphones.



FIG. 2. — Câble concentrique à deux conducteurs de la Société industrielle des Téléphones.

sont au moins égales aux câbles en caoutchouc et dont le prix est moins élevé. C'est ce genre de câbles que la Société a livré pour les services de l'Exposition, d'une part à l'Administration même de l'Exposition, d'autre part au secteur de la rive gauche. Les premiers étaient des câbles à trois conducteurs tordus ; les derniers, des câbles concentriques. Voici leur spécification :

Câbles à trois conducteurs tordus (fig. 1). — Chaque conducteur est formé d'un toron de fils de cuivre rouge de haute conductibilité ; sur ce toron sont enroulées des bandes de papier. Les trois conducteurs ainsi isolés sont câblés avec des fils de jute de manière à former un ensemble à section circulaire ; sur cet ensemble sont enroulées d'autres bandes de papier, et le câble, à cette période de son avancement, est, par des procédés spéciaux, soigneusement desséché et enduit d'une composition isolante ; puis on le recouvre successivement de deux gaines de plomb, d'un guipage de jute goudronné, de deux rubans de feillard enroulés dans le même sens et d'un guipage extérieur de jute, d'abord goudronné, puis enduit avec une composition à base de bitume.

Câbles concentriques (*fig. 2*). — Le conducteur central est isolé comme chacun des conducteurs du câble précédent, puis une couronne de petits fils de cuivre rouge de haute conductibilité est placée sur la dernière bande de papier et, par-dessus cette couronne, sont enroulées

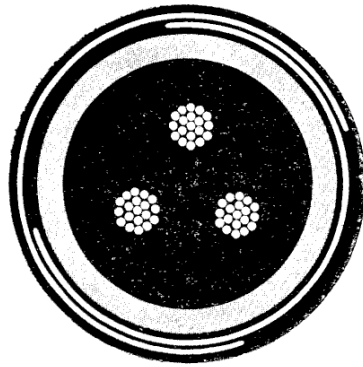


FIG. 3. — Coupe de câble triphasé.

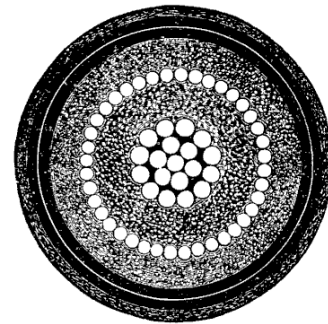


FIG. 4. — Coupe de câble concentrique à deux fils.

d'autres bandes de papier. Le câble est alors desséché, et la fabrication s'achève comme celle des câbles à trois conducteurs.

Câbles pour haute tension de MM. Geoffroy et Delore. — Ces câbles sont constitués par des fils de cuivre toronnés isolés par plusieurs enveloppes de fibres imprégnées, et une gaine de plomb dont l'épaisseur varie avec le diamètre du câble. Sur l'enveloppe en plomb est un matelas

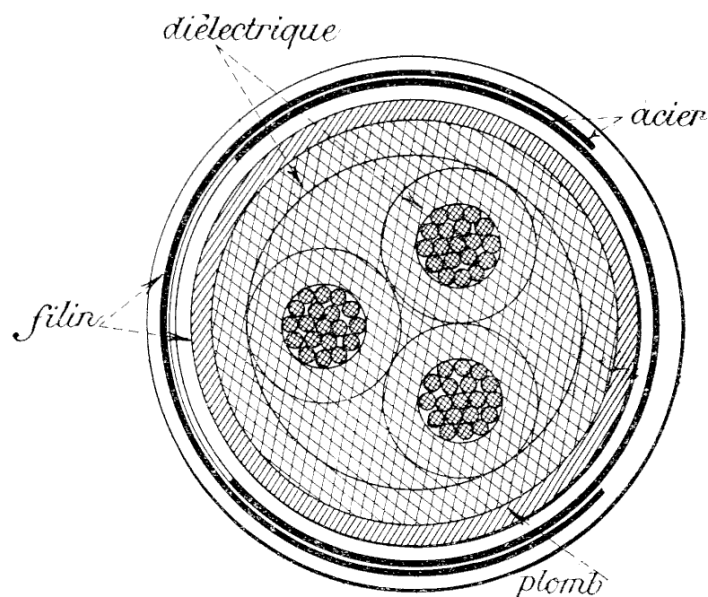


FIG. 5. — Câble armé de MM. Geoffroy et Delore, pour tension de 10 000 volts (grandeur naturelle).

de filins goudronnés de 1 à 2 mm d'épaisseur, et, sur ce matelas, un double ruban d'acier de 0,6 à 1,2 mm d'épaisseur, le tout recouvert d'un second matelas de filins goudronnés de 2 mm d'épaisseur environ. Les câbles ainsi établis résistent à des tensions de 5 000 à 10 000 volts. La figure 5 représente une coupe grandeur naturelle d'un câble triphasé établi pour 10 000 volts.

Câbles isolés pour haute tension. — Les câbles concentriques sont abandonnés aujourd'hui à cause de leur grande capacité qui produit, dans certaines conditions, des effets de résonance nuisibles à leur conservation. Suivant les fabricants, on emploie comme isolant les matières suivantes : jute imprégné, caoutchouc partie naturel, partie vulcanisé, caoutchouc spécial, papier comprimé et imprégné, etc.

La qualité des matières premières, le soin apporté à la fabrication, et certains tours de main dont chacun garde le secret, spécialisent et distinguent les maisons importantes qui figuraient en grand nombre à l'Exposition.

On a réalisé ainsi des câbles résistant à 25 000 volts efficaces.

Câbles de fleuves et de mines. — Lorsque le câble doit traverser une rivière ou être installé dans une mine, il doit présenter des qualités spéciales d'isolement et de résistance mécanique. L'A. E. G. présente un câble étudié dans ce but ; il est isolé au caoutchouc et recouvert d'une armature en fils d'acier.

ACCESSOIRES DE CANALISATION

Appareils de raccordement. — L'installation des câbles isolés se complète par une série d'appareils accessoires destinés à raccorder ces câbles avec facilité et avec une sécurité absolue, et permettant d'effectuer toutes les connexions et combinaisons que comporte un réseau, quels qu'en soient l'importance et le système. Ces appareils sont basés sur le principe de l'obturation parfaite des extrémités des câbles, leur seul point faible, par une composition isolante spéciale qui en assure l'étanchéité absolue. Ils ne diffèrent les uns des autres que par les dispositions pratiques, le soin dans la construction et les qualités de la composition isolante.

Les principaux genres d'appareils accessoires sont les suivants :

Manchons de jonction et de dérivation servant au raccordement des longueurs de câbles bout à bout et aux dérivations à effectuer sur ces câbles. Les modèles sont nombreux, par suite de la grande variété de types et grosseurs de câbles.

Ces manchons se composent, en principe, de deux coquilles en fonte assemblées par des boulons, à l'intérieur desquelles les connexions sont faites au moyen de serre-fils convenables. Le manchon est rempli de composition isolante et reste dans le sol.

Boîtes de distribution permettant le raccordement de plusieurs câbles entre eux au moyen de plombs fusibles facilement accessibles. Ces boîtes se composent d'une caisse en fonte, fermée par un couvercle hermétique, placée dans le sol au niveau des câbles et surmontée d'une cheminée avec tampon. Par des ouvertures latérales pénètrent les câbles terminés par des serre-fils facilitant la fixation des plombs fusibles. Les câbles sont maintenus par des coquilles en fonte remplies de matière isolante, comme les précédentes. A l'intérieur des boîtes sont disposés des rails collecteurs, auxquels viennent aboutir les différents câbles.

Boîtes de raccordement : Ces boîtes se composent d'une coquille en fonte remplie de matière isolante, dans laquelle le câble est connecté soit aux fils de l'installation intérieure, soit à des câbles souples le reliant aux lignes aériennes. Elles sont placées, suivant le cas, au sommet d'un mât ou contre un mur. Elles peuvent renfermer des plombs fusibles accessibles en ouvrant un couvercle.

Les boîtes de raccordement sont des *Boîtes de tableau*, lorsqu'elles relient les câbles au tableau de distribution ; des *Boîtes aériennes*, lorsqu'elles relient des lignes souterraines à des lignes aériennes ; des *Boîtes d'interruption*, lorsqu'elles servent à séparer momentanément des tronçons de câbles de la canalisation générale, en vue de vérifications périodiques, de réparations éventuelles ou des remplacements ; des *Boîtes d'intervention* lorsque, dans une canalisation double établie pour parer rapidement à un accident, elles permettent d'intervertir deux tronçons d'une canalisation, en vue de la substitution d'un tronçon en bon état au tronçon mis accidentel-

lement hors de service; des *Coffrets d'abonnés* lorsqu'elles relient un branchement en câbles à la canalisation d'un abonné.

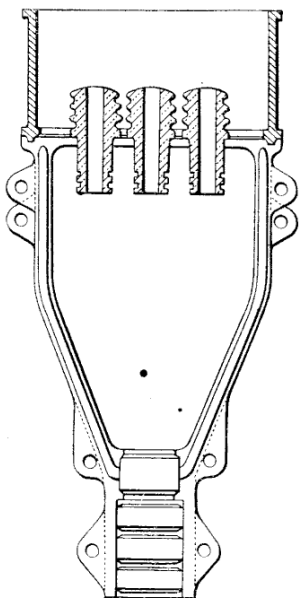


FIG. 6. — Boîte de tableau.

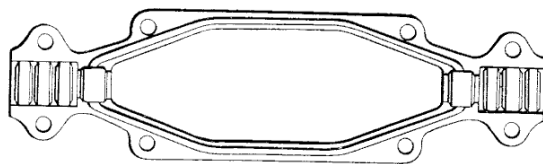


FIG. 7. — Manchon de jonction.

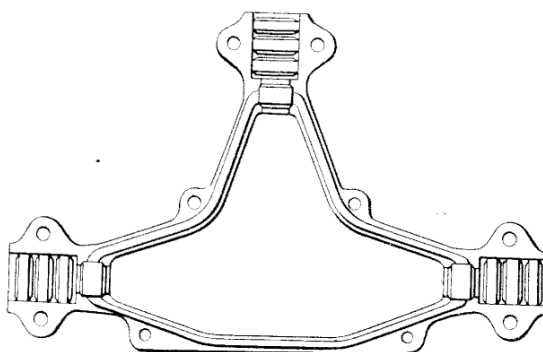


FIG. 8. — Manchon de branchement.

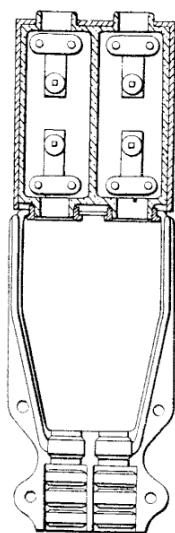


FIG. 9. — Coffret d'abonné.

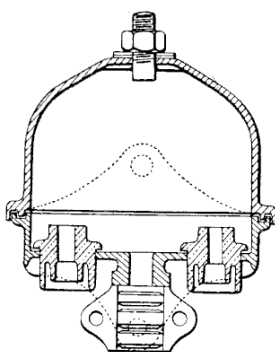


FIG. 10. — Boîte aérienne.

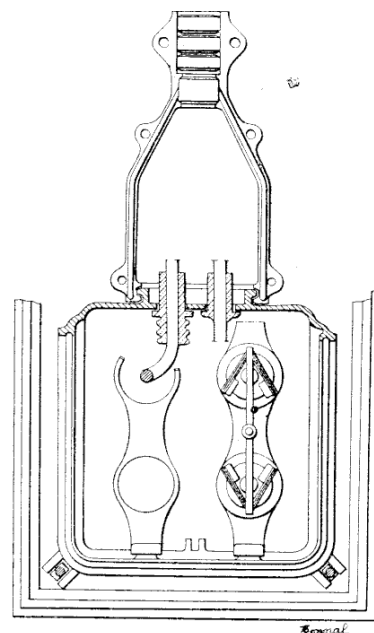


FIG. 11. — Boîte d'interruption.

Un certain nombre de ces appareils de raccordement étaient exposés ou installés pour les services électriques de l'Exposition. Ne pouvant les décrire tous, nous avons reproduit, à titre d'exemple, les types principaux de MM. *Geoffroy et Delore* (fig. 6 à 10).

II

APPAREILLAGE

L'appareillage général des installations électriques, en laissant de côté les dispositifs relatifs à des applications spéciales, peut se diviser en quatre groupes¹ :

Appareils de manœuvre, comprenant les interrupteurs, les commutateurs, les inverseurs, etc. ;

Appareils de contrôle ou indicateurs, servant à l'indication des réglages à effectuer et à la vérification de ces réglages ;

Appareils de réglage, comprenant les rhéostats, les réducteurs, etc. ;

Appareils de sécurité, comprenant les coupe-circuits, les disjoncteurs, les parafoudres, les protecteurs, etc.

APPAREILS DE MANŒUVRE

INTERRUPTEUR A MAIN

Les dispositions des interrupteurs électriques varient avec la nature des courants employés (continus ou alternatifs), l'intensité au moment de la rupture, et les tensions en jeu dans le circuit.

Leur construction s'est aujourd'hui systématisée, et, bien que les types varient beaucoup d'un constructeur à l'autre, les appareils obéissent à des règles générales appliquées plus ou moins heureusement.

Les sections sont calculées, pour que la densité de courant ne dépasse jamais 1 ampère par mm² dans les conducteurs, et 40 ampères par cm² sur les surfaces de contact.

Les lames élastiques, en cuivre dur ou en laiton, sont d'un emploi général. On les dispose sur plat, ou mieux, sur bout, pour que chacune d'elles agisse, élastiquement et électriquement, d'une façon indépendante. Un corps étranger interposé, ou une dénivellation accidentelle, n'intéresse ainsi qu'une lame ou un petit nombre de lames. Le cuivre rouge donne, par fusion, des granulations qui rendent cette précaution indispensable. Le laiton est préférable à ce point de vue.

Le contact doit s'établir par frottement, de façon à dresser et polir les surfaces en contact. Le courant ne doit jamais passer par les axes des interrupteurs.

La rupture du circuit doit se produire en un point le plus éloigné possible des surfaces de contact, au-dessus de ces surfaces de préférence, pour que l'arc formé ne vienne pas oxyder ou brûler ces surfaces.

La rupture doit être brusque pour que l'arc formé à l'interruption ne dure pas assez longtemps pour fondre les parties entre lesquelles il prend naissance.

On emploie souvent des pare-étincelles en charbon ou en laiton, sur lesquels l'arc de rupture se produit, un instant après l'interruption sur les contacts. Ces pare-étincelles, faciles à nettoyer et à remplacer, en peu de temps et à peu de frais, ménagent l'interrupteur et les contacts.

La distance des points d'interruption doit être largement calculée pour éviter la formation et le maintien d'un arc amorcé accidentellement.

1. Les interrupteurs de 1 à 5 ampères seront examinés à propos de l'appareillage d'éclairage électrique.

Pour les hautes tensions, il y a intérêt à multiplier les points de rupture montés en série, de façon à fractionner l'arc, à le refroidir et à assurer son extinction.

Interrupteurs à basse tension. — On peut faire figurer dans ce groupe les appareils fonctionnant jusqu'à 250 volts.

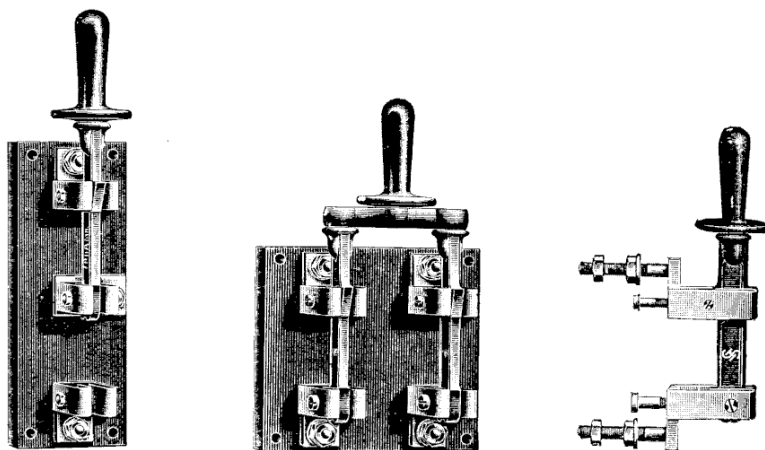


Fig. 12. — Interrupteurs à levier à basse tension, de la maison Siemens et Halske.

Pour de faibles intensités¹, jusqu'à 10 ampères, on peut se contenter de simples interrupteurs à levier dont la figure 12 représente, à titre d'exemple, un type de la maison *Siemens et Halske*, dit type à levier. Il est constitué par un levier en bronze, pivotant autour de mâchoires en laiton, repliées de façon à former ressort, et à s'appliquer fortement contre les faces latérales du levier. La manœuvre du levier établit un frottement entre les contacts et le maintient en bon état de propreté. La rupture se produit entre les pointes du levier et les lames élastiques, en dehors des faces de contact, et sur deux points à la fois. Le modèle se monte directement sur les tableaux en marbre, ou s'établit sur des socles en ardoise dont l'isolement est suffisant pour ces basses tensions.

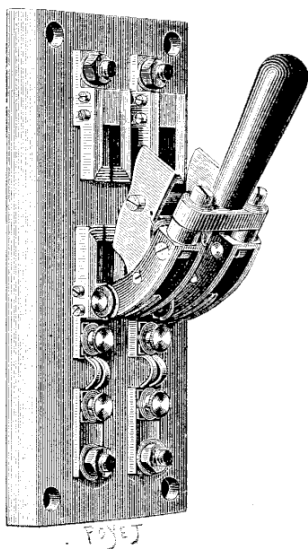


Fig. 13. — Interrupteur bipolaire avec coupe-circuits de M. J.-A. Genteur.

Interrupteurs à block-système. — Il peut être utile, dans certains cas, afin d'éviter les fausses manœuvres, que certains circuits ne puissent pas être fermés simultanément ou ne puissent être ouverts et fermés que dans un certain ordre.

On obtient ce résultat à l'aide d'interrupteurs solidarisés par des verrouillages mécaniques, dont les dispositions varient à l'infini. Voici, à titre d'exemple (fig. 14), un interrupteur à block-système présenté par la *Compagnie française de Constructions électriques*, et combiné pour fermer trois circuits de 1 500 ampères, un seul des circuits pouvant être fermé à la fois et tel que l'on ne puisse envoyer le courant dans le circuit principal d'une des directions qu'après avoir fermé l'un des interrupteurs à excitation et rien qu'un, et avoir coupé le courant sur toutes les autres directions; réciproquement, on ne peut interrompre l'excitation qu'après avoir coupé le courant sur l'armature.

1. Les interrupteurs de 1 à 5 ampères seront examinés dans le fascicule consacré à l'éclairage électrique.

Tous les verrouillages sont obtenus par des leviers disposés derrière le panneau en fonte qui sert de support général à l'appareil.

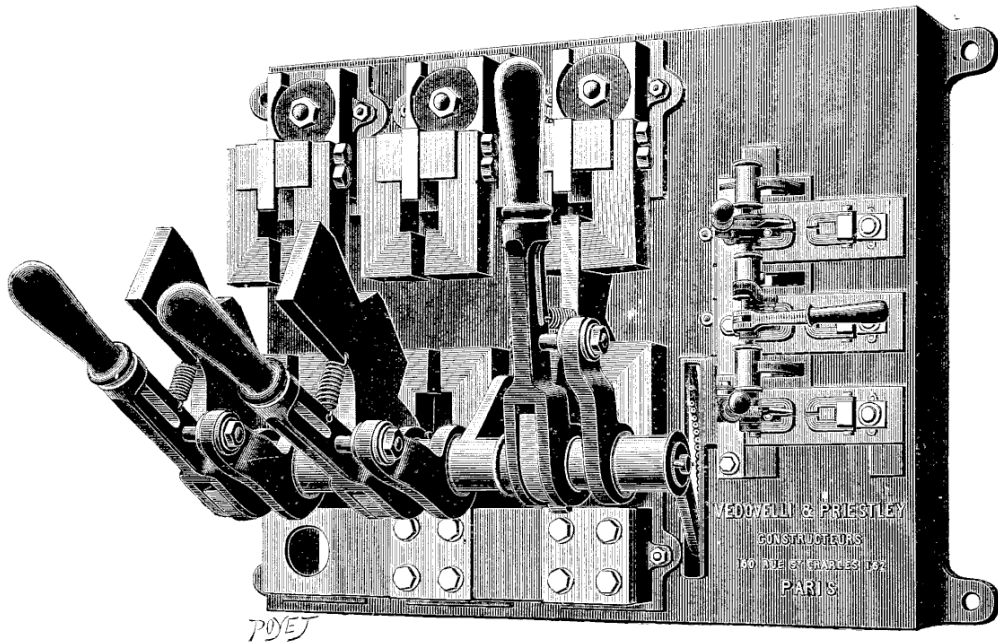


FIG. 14. — Interrupteur à verrouillage de la Compagnie française de constructions électriques.

Interrupteurs à tension moyenne. — Interrupteurs rapides. — Lorsque la tension dépasse 400 volts (distribution à cinq fils et tramways), la rupture doit se faire rapidement, afin d'éteindre l'arc qui se forme, et persisterait en mettant l'interrupteur hors de service.

On emploie dans ce but, des interrupteurs à couteau. La figure 15 représente, à titre d'exemple, l'interrupteur unipolaire à couteau de M. J.-A. Genteur, avec lequel la rupture se

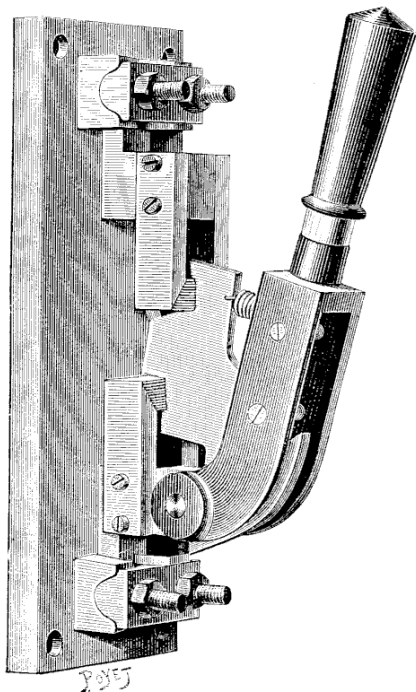


FIG. 15. — Interrupteur rapide (modèle de M. Genteur).

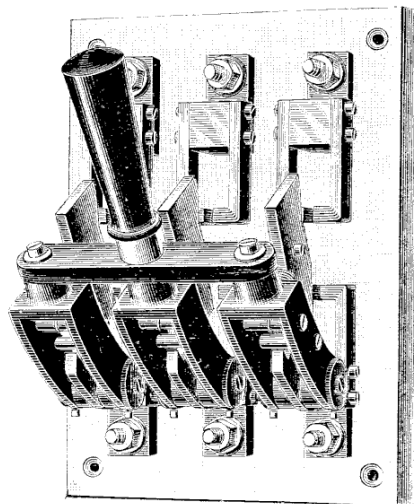


FIG. 16. — Interrupteur tripolaire à rupture brusque de M. J.-A. Genteur.

fait entre un couteau en laiton pris entre deux séries de balais en cuivre dur et élastique. En agissant sur le levier, on tend un ressort interposé entre ce levier et le couteau, jusqu'à ce que

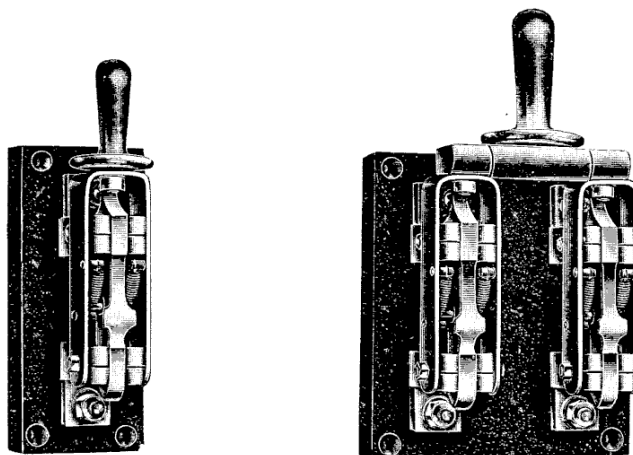


FIG. 17. — Interrupteurs unipolaires et bipolaires à rupture brusque de la maison Siemens et Halske.

l'effort exercé sur ce ressort soit égal à celui qui maintient le couteau serré entre les balais. A ce moment, le couteau, rappelé par le ressort, échappe avec une grande vitesse. La rupture se produit en quatre points différents à la fois, ce qui réduit l'importance de l'étincelle de rupture.

La figure 17 représente les dispositifs analogues de la maison *Siemens et Halske*.

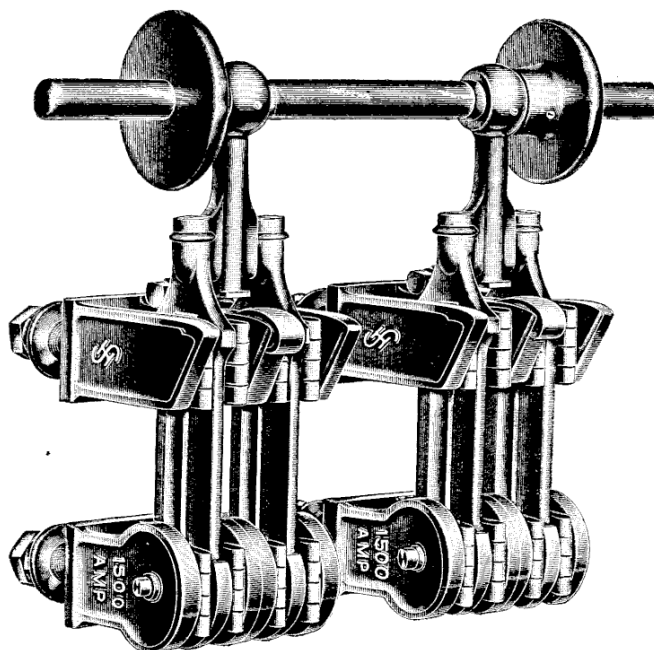


FIG. 18. — Interrupteur bipolaire pour 1 000 volts et 1 500 ampères de la maison Siemens et Halske (Échelle: 1,5).

C'est comme intermédiaire entre les hautes tensions (2 000 volts et au dessous) et des tensions moyennes (500 à 600 volts) que doit figurer l'interrupteur de la maison *Siemens et Halske* représenté figure 18, et dont le type est établi pour des tensions de 1 000 volts et ces intensités jusqu'à 2 000 ampères. Les contacts sont établis entre des lames et des plots en laiton, et la

rupture brusque est obtenue sans aucun mécanisme spécial, par le seul fait de l'effort exercé sur les poignées pour vaincre le frottement des contacts, frottement qui diminue rapidement dès que les leviers se trouvent suffisamment dégagés. Des pare-étincelles en charbon reportent l'étincelle de rupture sur une saillie métallique ménagée sur la pièce fixe du milieu de chaque interrupteur. L'appareil se monte directement sur le tableau par des boulons et des écrous, sur lesquels viennent se fixer les câbles derrière le tableau.

Interrupteur bipolaire à doubles ressorts. — Le modèle d'interrupteur bipolaire (pour 500 volts) de la *Compagnie générale de Constructions électriques*, représenté figure 19, est muni, outre les ressorts de rupture brusque, de ressorts de position qui ont pour but de maintenir l'appareil soit ouvert, soit fermé. Ces ressorts de position sont disposés à la partie inférieure du levier, et leur tension est telle qu'elle agit pour maintenir et même entraîner le levier dans une des deux positions normales d'ouverture ou de fermeture. On évite ainsi la position indifférente que tend à prendre l'interrupteur, lorsque le circuit est ouvert, surtout lorsque l'interrupteur est posé horizontalement.

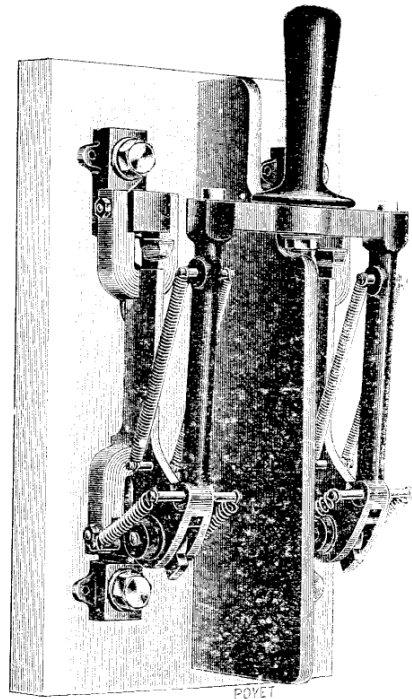


FIG. 19. — Interrupteur bipolaire à deux ressorts, de la Compagnie générale de Constructions électriques.

Interrupteurs à haute tension. — **Interrupteur à haute tension de la Compagnie Schuckert.** — L'interrupteur à haute tension est disposé à l'intérieur d'un kiosque; seule la poignée à laquelle il est réuni par une longue bielle se trouve à l'extérieur. L'interrupteur est basé sur ce fait d'expérience que

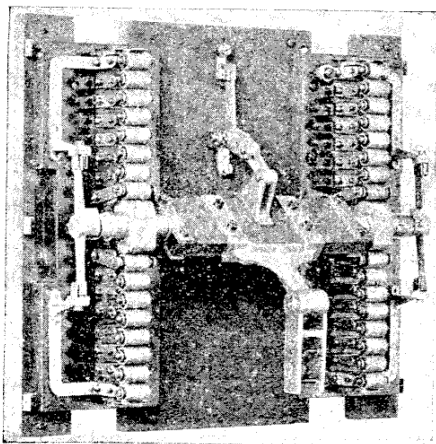


FIG. 20. — Interrupteur à galets de la maison Schuckert.

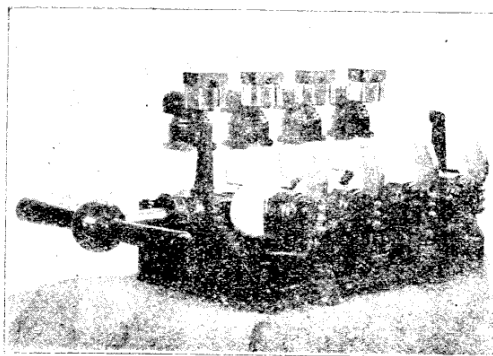


FIG. 21. — Interrupteur à couteaux de la maison Ganz et Co de Budapest.

c'est entre des galets ou des billes métalliques séparées l'une de l'autre par un espace de quelques millimètres seulement qu'un arc lumineux à courant alternatif s'éteint le plus facilement. Il se

compose essentiellement *fig. 20* d'une série de galets très mobiles disposés sur des ressorts plats. Ces galets forment une ligne continue; ils sont poussés de côté et serrés les uns contre les autres

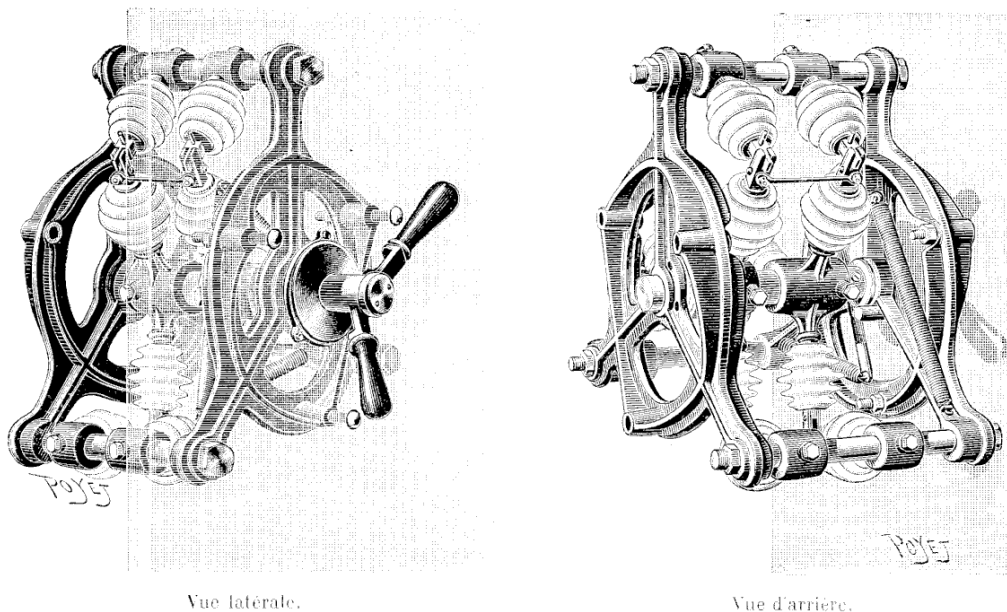
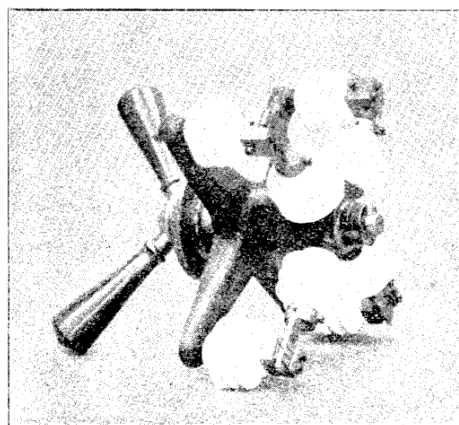
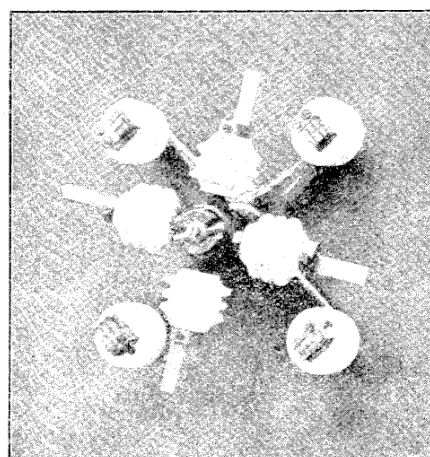


FIG. 22. — Interrupteur pour haute tension de la Compagnie française de Constructions électriques.

par des cames excentriques, lorsque le levier à main est tourné dans la position de marche, tandis que les plots de ces cames les rendent libres, quand le levier est ramené dans la position d'in-



Vue latérale



Vue d'arrière.

FIG. 23. — Interrupteur pour courants alternatifs simples (jusqu'à 5 000 volts) de la maison Brown, Boveri et C.

terruption. La course des galets extrêmes est limitée par de forts ressorts à lames, de façon qu'ils cèdent le moins possible à la pression exercée par les autres.

Les galets sont montés de telle façon qu'ils sont forcés de tourner aussi bien quand on ferme que quand on ouvre le circuit; les points en contact de ces galets se renouvelant continuelle-

ment et l'oxyde formé par l'arc lumineux étant enlevé au fur et à mesure par le frottement, l'appareil peut servir longtemps sans nécessiter de réparation.

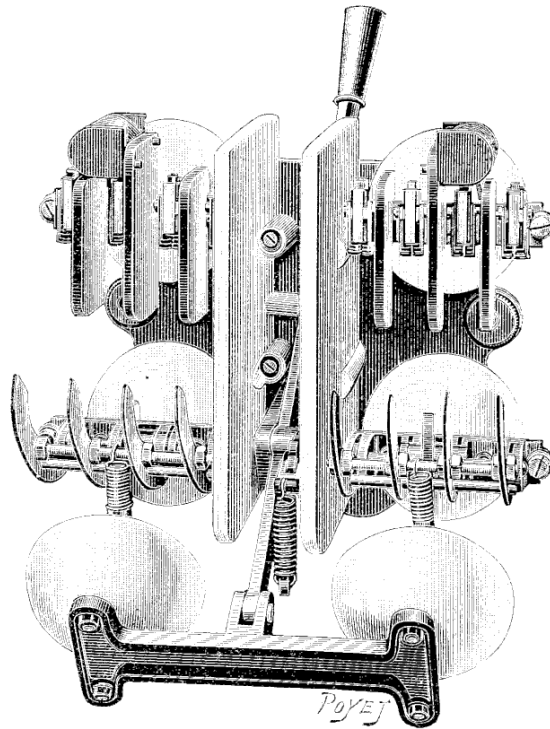


FIG. 24. — Interrupteur pour 8 000 volts de M. J.-A. Genteur.

Interrupteurs de la Maison Ganz et C^{ie}. — Le modèle représenté dans la position de fermeture 21 est bipolaire et muni de quatre couteaux, la partie fixe de quatre contacts correspondants.

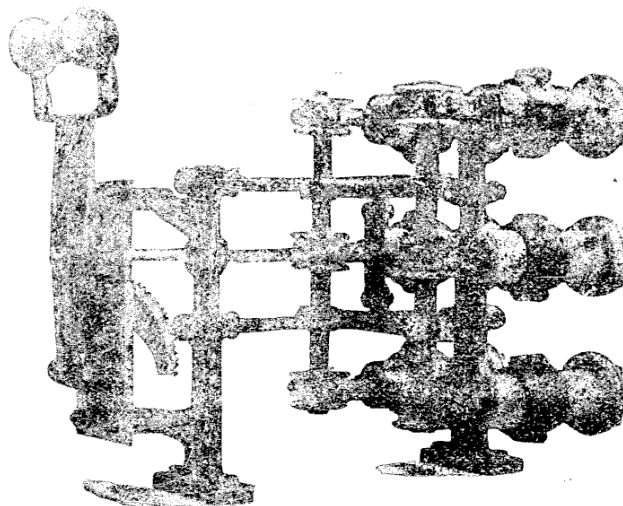


FIG. 25. — Interrupteur pour 10 000 volts, 300 amperes, des ateliers d'Oerlikon (modèle pour tableaux).

Par suite de l'augmentation du nombre de points d'interruption, chacun d'eux ne supporte que 1 100 volts. Les couteaux et les contacts sont montés sur des isolateurs en porcelaine à

double cloche, isolés des parties en fer qui les supportent par de l'ébonite. La mise en action de l'interrupteur se fait par un levier en bois à deux bras; les interrupteurs de l'Exposition étaient tripolaires; ils portaient six couteaux et six contacts.

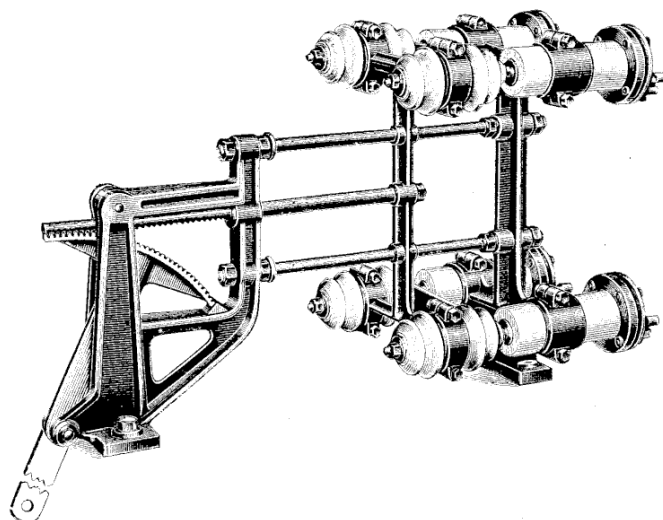


FIG. 26. — Interrupteur pour 10 000 volts, 300 amperes des ateliers d'Oerlikon (modèle disposé en sous-sol et commandé par leviers.)

Le type à couteaux rotatifs montés sur porcelaine est également construit par la *Compagnie française de Constructions électriques* (fig. 22) et par la maison *Brown, Boveri et C^{ie}*, de Baden (fig. 23). Les interrupteurs sont toujours disposés *derrière* le tableau, en marbre généra-

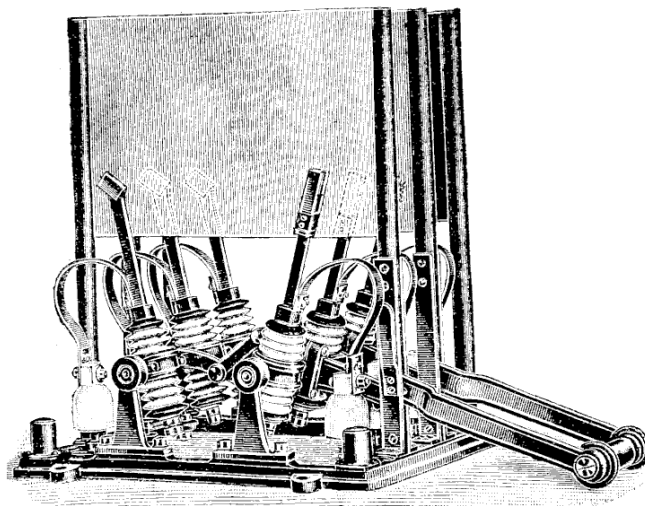


FIG. 27. — Interrupteur tripolaire à haute tension de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft.

lement, et les leviers de manœuvre isolés *devant* le tableau, pour éviter tout contact entre l'électricien chargé de les manœuvrer et les parties de l'appareil ou des circuits soumises à des tensions élevées.

Pour des courants de 80 ampères et des tensions jusqu'à 8 000 volts, M. J.-A. Genteil présente un interrupteur (*fig. 24*) monté sur socle en fonte et isolateurs en porcelaine. Cet interrupteur comporte des ruptures brusques, des coupures multiples et des écrans isolants pour empêcher la formation d'arcs permanents. Les figures 25, 26 et 27 représentent des dispositions d'interrupteurs pour hautes tensions qui n'exigent aucune explication.

Interrupteur à huile. — Pour des tensions comprises entre 1 000 et 3 000 volts, et des intensités de 30 ampères, M. J.-A. Genteil emploie un interrupteur à huile (*fig. 28*) à rupture et fermeture brusques monté sur marbre. La communication entre les deux plots s'établit par une traverse en laiton montée sur tige isolante, dont la longueur peut être modifiée à volonté, pour placer l'interrupteur hors de la portée de la main.

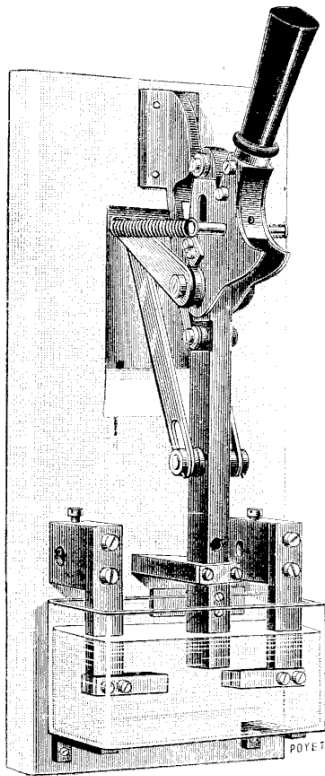


FIG. 28. — Interrupteur à huile de M. J.-A. Genteil.

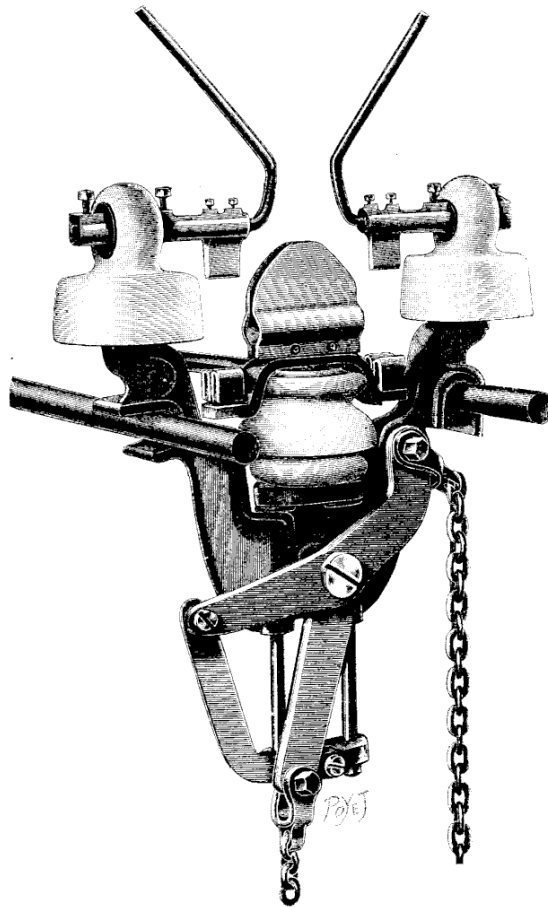


FIG. 29. — Interrupteur à cornes de la Compagnie française de Constructions électriques.

Interrupteurs à antennes. — Pour des très hautes tensions, et des courants de l'ordre de 50 ampères, l'arc amorcé persisterait sur une très grande longueur. Dans l'interrupteur exposé par la *Société des Anciens Etablissements Daydé et Pillé Creil*, l'arc formé et amorcé entre les deux points de séparation vient s'amorcer entre deux tiges de cuivre reliées aux deux pôles et disposées en forme d'antennes, comme dans le parafoudre à cornes de Siemens. L'arc ainsi amorcé monte par convection, s'allonge et s'amincit jusqu'à ce qu'il se coupe automatiquement, mais la distance des antennes à la base est suffisante pour qu'il ne puisse se reformer à la partie inférieure.

La figure 29 représente un interrupteur basé sur le même principe construit par la *Compagnie française de Constructions électriques*. L'interrupteur se manœuvre à l'aide de deux chaînes qui, par une combinaison des leviers, soulèvent ou abaissent une pièce de contact montée sur isolateur en porcelaine et dont l'objet est d'établir deux interruptions ou fermetures distinctes, l'une entre les cornes ou antennes, l'autre entre des ressorts et des plots montés sur les antennes. A la rupture, l'interruption se produit d'abord sur les plots, puis à l'extrémité inférieure des cornes où elle amorce un arc qui s'allonge en remontant et s'amincit jusqu'à rupture.

Interrupteur système Steele. — Cet appareil, construit par la *Compagnie générale de Constructions électriques*, a des dimensions assez petites pour être placé sur un tableau de distribution. Les deux pièces d'arrivée et de départ du câble sont mises en communication au moyen

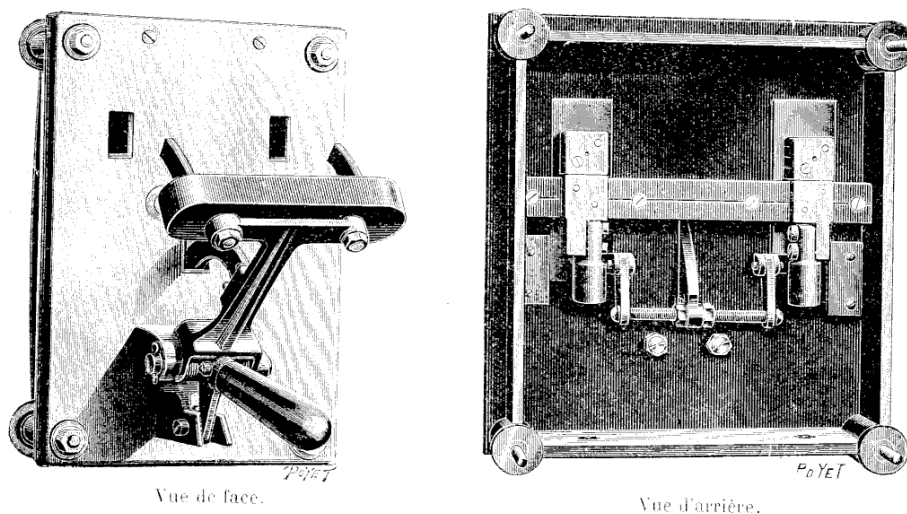


Fig. 30. — Interrupteur Steele pour tension de 3 000 volts.

d'un pont mobile manœuvré par la poignée de l'appareil; quand on coupe le courant, un **volet en mica** vient s'interposer brusquement entre les pièces fixes de contact et le pont mobile pour couper l'arc qui pourrait se former. Ce dispositif donne les meilleurs résultats.

Interrupteurs à rupture liquide, système M. Buchet. — Dans ce système, construit et exposé par MM. *A. Guénée et C^{ie}*, le circuit se trouve coupé entre deux molécules de mercure se séparant au sommet d'une cloison en porcelaine ou autre matière isolante. Cette cloison sépare deux cavités correspondant aux bornes. Celles-ci descendent au-dessous du sommet de la cloison, mais ne sont pas en contact avec le mercure à circuit ouvert. Par suite, la coupure n'a lieu que sur la cloison, et les bornes sont complètement isolées de la chambre de rupture par la disposition de l'appareil formant siphon. L'élévation du mercure est obtenue par l'immersion d'un plongeur ou par un mouvement de bascule de l'appareil. Aucune partie métallique solide n'intervenant à la rupture, on est en présence de points d'interruption liquides qui, par leur constitution même, se renouvellent indéfiniment.

L'isolement entre les deux bornes ne dépend que de la matière sur laquelle ces prises de courant sont établies, et celles-ci, pouvant être extérieurement recouvertes d'enduits, on a un isolement toujours constant et indépendant de l'endroit dans lequel l'appareil se trouve.

La résistance entre les bornes à circuit fermé ne dépend que de la section du mercure et de la surface de contact des bornes; elle est donc, par le principe de l'appareil, indépendante de la fabrication et de la durée de fonctionnement. Le contact des bornes et du mercure ne peut s'altérer, puisqu'il n'y a jamais rupture entre ces parties. Le dispositif s'applique aux interrupteurs manœuvrés à la main, à distance ou automatiquement.

Interrupteurs de court-circuit pour système série. — La *C^{ie} d'Industrie électrique*, de Genève, qui expose le système série de M. R. Thury, présente un interrupteur de court-circuit qui reste du même modèle, qu'il s'agisse d'une génératrice d'une grande puissance ou d'un petit moteur quelconque. Il a pour but de mettre l'appareil de production ou d'utilisation en circuit ou hors circuit sans causer d'interruption même momentanée (fig. 31).

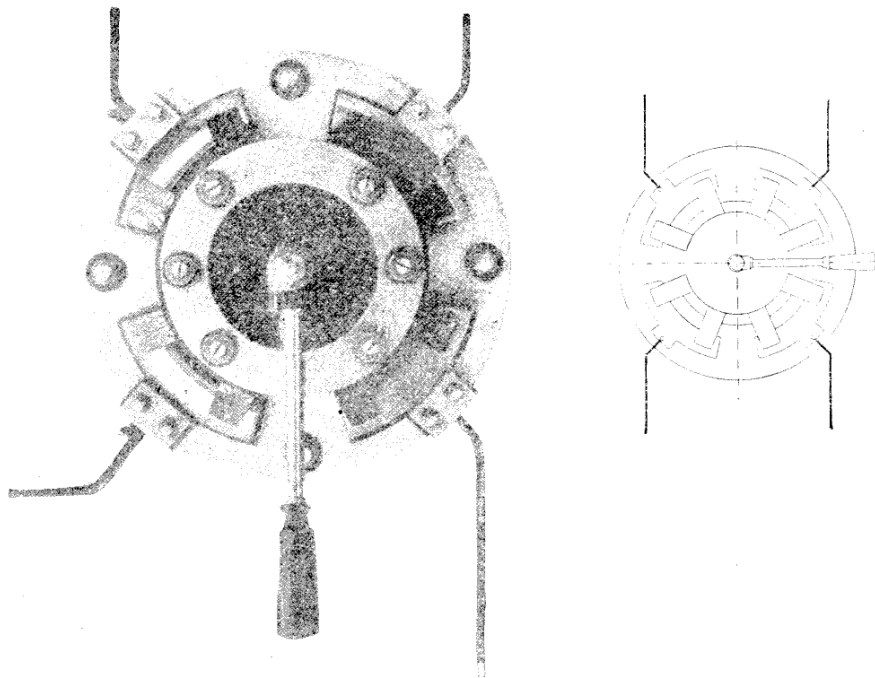


FIG. 31. — Interrupteur de court-circuit de la Compagnie d'Industrie électrique.

Au moment de la manœuvre, l'appareil maintient le court-circuit de la machine et de la ligne jusqu'au moment où la machine peut être insérée sans interruption du courant.

Au repos, la machine reste isolée du circuit général, tout en étant court-circuitée sur elle-même. Les bornes de départ de la ligne sont également en court-circuit, et il n'y a plus ainsi aucune communication quelconque entre la ligne et la machine.

Lorsque l'interrupteur de court-circuit sert à la mise en marche d'un moteur puissant (plus de 75 kilowatts, par exemple), il s'y produit une étincelle assez forte due à la résistance de self-induction des inducteurs et de l'induit du moteur. Pour éviter la production de cette étincelle et les inconvénients qui en résulteraient, l'interrupteur est complété par un petit appareil nommé *pare-étincelles*, monté en série avec le moteur (fig. 32).

Pare-étincelles. — Deux blocs de charbon, dont l'un est fixé sur l'armature mobile d'un électro-aimant, sont reliés aux deux bornes du moteur et, dans la position de repos, font contact entre eux. Il ne se produit aucune étincelle à l'interrupteur lors de la manœuvre, puisque cet appareil est court-circuité par ces contacts de charbon. Mais le courant traversant l'électro-aimant, produit l'attraction de l'armature, écarte les blocs entre lesquels l'étincelle se produit momentanément, et le moteur se met en marche. Toute usure de l'interrupteur est ainsi évitée; les blocs de charbon durent fort longtemps; leur remplacement éventuel est d'ailleurs peu coûteux.

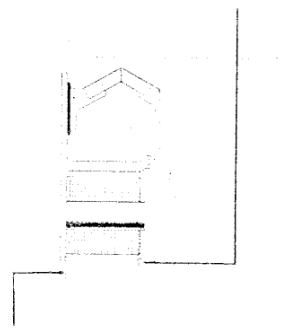


FIG. 32. — Pare-étincelles pour système série.

INTERRUPTEURS A DISTANCE

Ces appareils sont généralement combinés pour être manœuvrés soit à la main, soit à distance, en ne mettant en jeu qu'un léger effort initial transmis à l'appareil, soit par un courant emprunté à une source électrique étrangère, soit par de l'air comprimé.

Interrupteur à distance de courant primaire. — La *Compagnie française d'Appareillage électrique* expose un interrupteur pour courant primaire, adopté par les secteurs parisiens pour couper ou envoyer directement le courant du transformateur. Spécial aux ascenseurs, cet appareil peut être alimenté par le courant d'une pile, soit actionné par le courant alternatif à 110 volts.

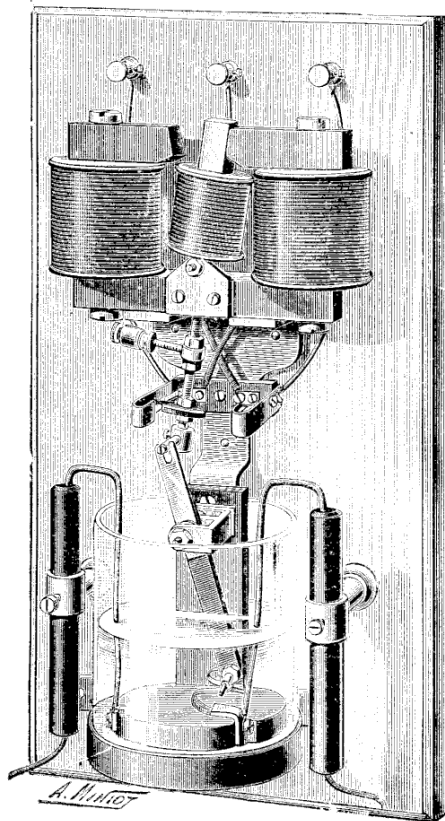


FIG. 33. — Interrupteur à distance de la C^e française d'Appareillage électrique.

Un commutateur spécial permet d'envoyer ou de couper le courant de cet interrupteur primaire en même temps qu'on coupe le courant du secondaire.

L'interrupteur dit est formé par une tige de cuivre argenté avec ses deux extrémités recourbées. Cette tige est portée sur une pièce isolante mobile. Au dessous est un bloc de matière isolante, portant à gauche et à droite des bornes fixes. Sur la borne de gauche, en avant, est maintenue une petite lamelle de cuivre argentée; il en est de même sur une autre borne semblable placée en arrière. Sur cette dernière borne est fixé un câble du circuit primaire, qui vient à gauche traverser un tube en ébonite. A droite du petit socle se trouve une autre borne, présentant devant elle un petit godet rempli de mercure. A cette borne est relié un autre câble qui ressort par un autre tube d'ébonite.

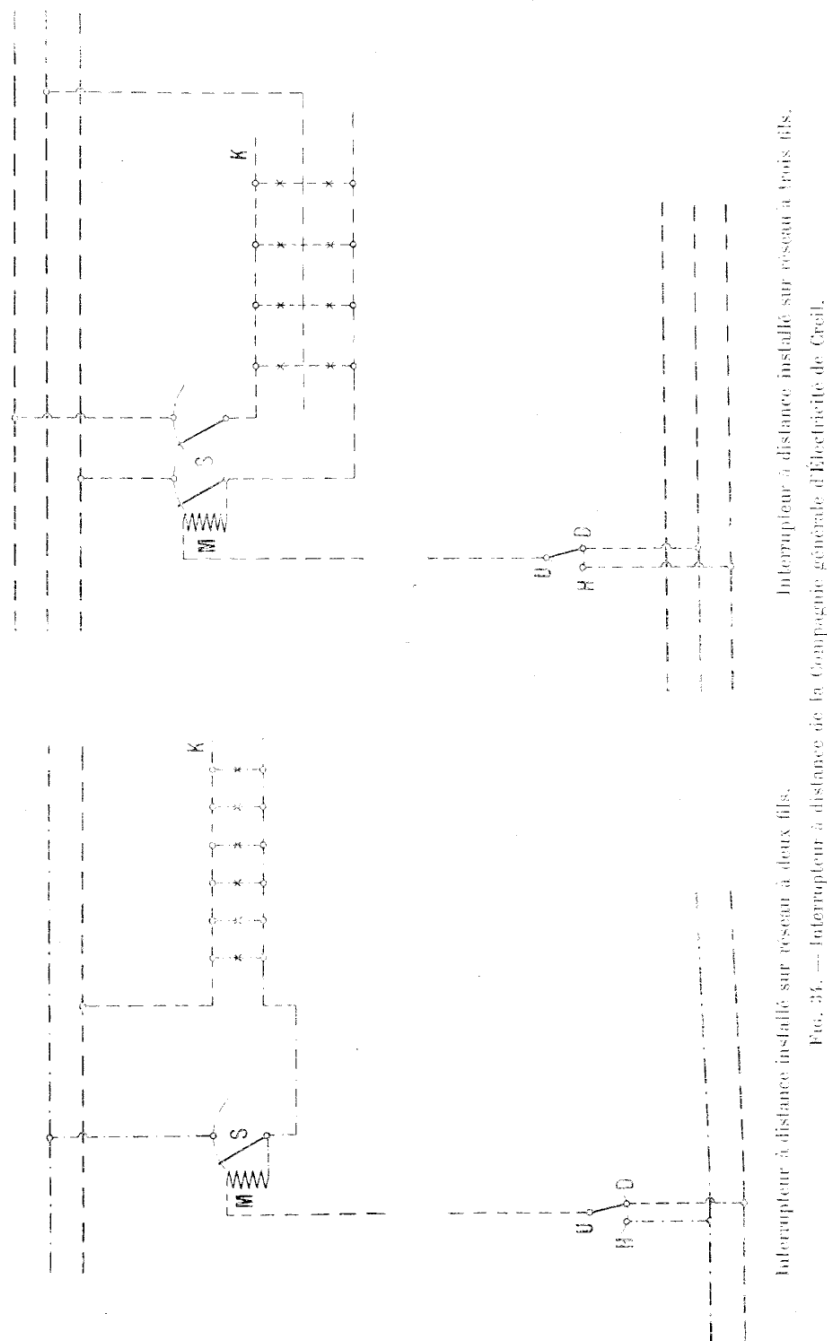
Lorsque la tige de cuivre argenté recourbée s'abaisse, elle vient appuyer sur les deux lamelles, et en même temps les deux extrémités tombent dans les godets de mercure. La jonction des deux câbles est donc assurée par le contact des lamelles et par le mercure.

La pièce fixe, autour de laquelle est mobile l'axe portant la tige métallique, est pourvue d'une glissière dans laquelle se déplace l'extrémité d'une

tige mobile autour d'un axe et fixée à une autre tige. L'ensemble des pièces servant à établir les contacts est plongé dans un verre contenant de l'huile de ricin. On obtient ainsi des ruptures sans étincelles.

A la partie supérieure de l'appareil se trouve une tige mobile autour d'un point central et portant à une de ses extrémités un électro-aimant. Son autre extrémité agit sur le contact. A la partie supérieure de l'interrupteur sont disposés trois électro-aimants alimentés par des piles locales. L'électro central conserve toujours sa polarité; les électros latéraux changent de pôle suivant le sens du courant envoyé de l'extérieur. Aux points de mise en marche ou d'arrêt des ascenseurs sont disposés des commutateurs qui envoient ou non le courant des piles locales dans les circuits d'électro-aimants pour la manœuvre de l'interrupteur.

Interrupteur à distance. — Cet appareil, présenté par la *Compagnie générale d'Électricité de Creil*, permet d'ouvrir ou de fermer un circuit depuis un endroit éloigné, par exemple d'allumer ou d'éteindre depuis une station centrale un groupe de lampes servant à l'éclairage



Interrupteur à distance installé sur réseau à trois fils.

Interrupteur à distance installé sur réseau à deux fils.

FIG. 34. — Interrupteur à distance de la Compagnie générale d'Électricité de Creil.

public, et situé à une certaine distance de la station. L'interrupteur, placé à proximité du circuit, est relié à la station par un seul fil de faible section.

Les schémas figure 34 montrent les connexions de l'appareil, le premier dans une installation à deux fils, le second dans une installation trois fils: *K* est le circuit des lampes, *S*

l'interrupteur, et M l'électro-aimant dont l'armature fait fonctionner l'interrupteur. L'une des extrémités de la bobine de cet électro-aimant est reliée au circuit K; l'autre extrémité est reliée par un simple fil à un commutateur ordinaire à deux directions, placé à la station et dont les deux contacts sont marqués, l'un « ouvert » et l'autre « fermé ».

Pour fermer le circuit K, on met le commutateur sur le contact « fermé ». Cette manœuvre a pour effet de faire passer un courant à travers les lampes, la bobine M et le fil qui la relie au commutateur. La bobine excitée attire de nouveau son armature et ferme l'interrupteur. Celui-ci en fonctionnant met la bobine hors circuit, de sorte que l'armature revient à sa première position, l'interrupteur restant fermé.

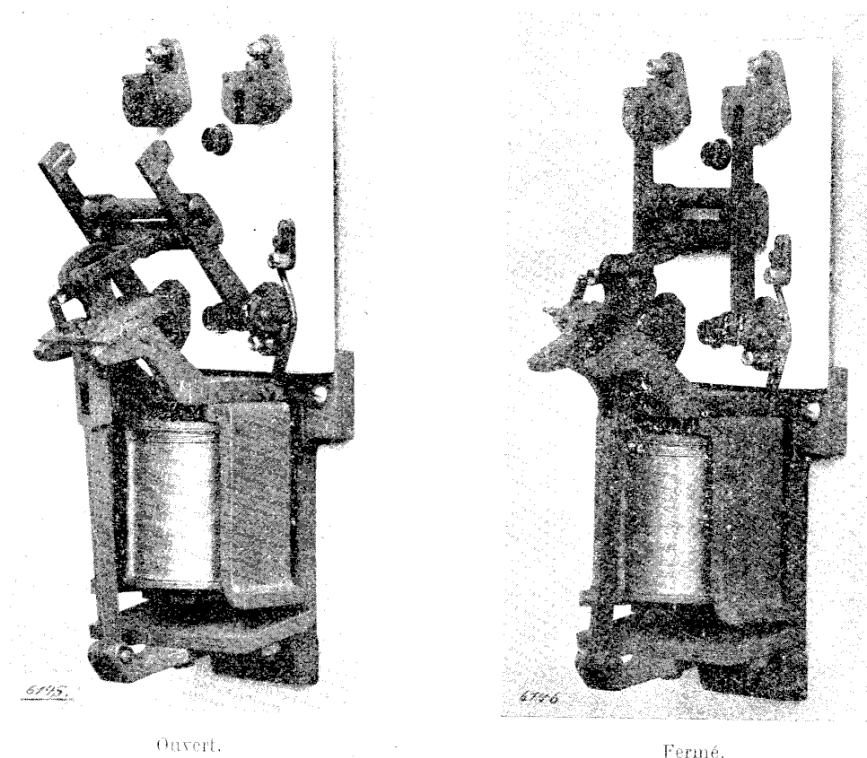


FIG. 35. — Interrupteur à distance de la Compagnie générale d'Électricité de Creil.

Pour ouvrir le circuit, on ramène le commutateur sur le contact « ouvert »; la bobine M reçoit aussitôt la tension totale du réseau; elle attire de nouveau son armature, qui ouvre l'interrupteur. On reconnaît facilement que la bobine M ne reçoit que de courtes impulsions de courant, de sorte que sa consommation d'énergie est sensiblement nulle.

La figure 35 montre l'appareil dans ses deux positions, ainsi que la manière dont l'armature de la bobine fait fonctionner l'interrupteur. L'appareil est réglé sur le minimum des lampes en circuit, la résistance des lampes étant en série avec l'enroulement de la bobine M, lors de la fermeture du circuit. Une boîte en fonte protège l'appareil contre l'humidité et contre les intempéries.

Interrupteur de primaire dans la distribution par courants alternatifs. — Cet appareil ouvre ou ferme automatiquement le circuit primaire d'un transformateur, lorsqu'on ouvre ou ferme le circuit secondaire; il permet ainsi de réaliser une économie notable d'énergie. On sait, en effet, que les transformateurs ont un rendement à pleine charge très élevé, mais que le

rendement total annuel est de beaucoup inférieur au rendement à pleine charge, lorsque la consommation de courant secondaire est interrompue régulièrement par des arrêts prolongés, ce qui arrive dans la plupart des installations. Cette différence provient de ce que le circuit primaire reste constamment fermé, et qu'il est toujours parcouru par le courant magnétisant, qui est le même à vide qu'en charge.

Supposons, par exemple, qu'un transformateur de 30 kilowatts serve à alimenter seulement un moteur qui fonctionne 10 heures par jour pendant 300 jours par an. L'énergie absorbée en pure perte par le courant magnétisant est d'environ 1,5 0 0, soit 750 watts, ce qui représente par an $300 \cdot 14.750 \cdot 63 \cdot 24 \cdot 750 = 4320$ watts-heure. Le prix moyen du combustible et de l'huile (sans tenir compte des autres frais d'exploitation) est d'environ 10 centimes par kilowatt-

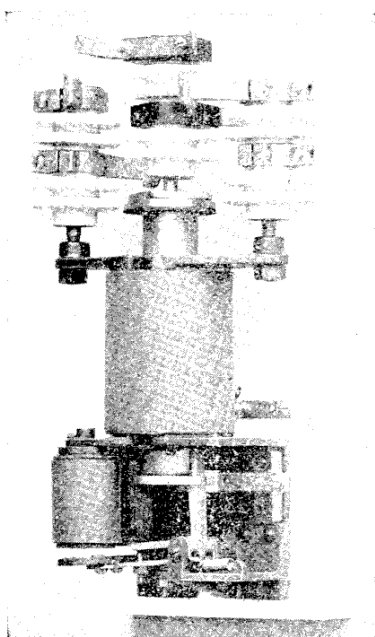


Fig. 36. — Ouvert.

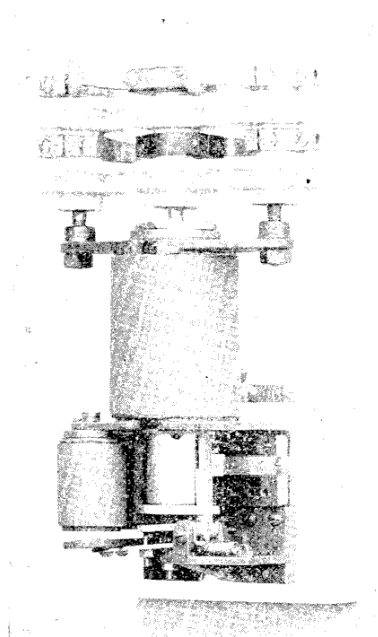


Fig. 37. — Fermé.

Interrupteur de circuit primaire pour distribution par courants alternatifs
de la Compagnie générale d'Electricité de Creil.

heure, soit une dépense annuelle de 432 francs en pure perte. Dans la plupart des cas, ce chiffre n'atteint pas toujours 3000 heures de marche par an. On conçoit donc combien il est important de pouvoir économiser cette dépense inutile, en interrompant le circuit primaire en même temps que le circuit secondaire.

La *Compagnie générale d'Electricité de Creil* exposait des interrupteurs étudiés en vue de résoudre ce problème. Les figures 36 et 37 montrent l'appareil en circuit ouvert ou fermé. Les schémas *fig. 38* et *39* montrent les connexions dans une installation à courant alternatif simple et dans une installation à courant triphasé.

Lorsqu'on ferme l'interrupteur secondaire A_2 , on ferme en même temps le circuit d'une source de courant auxiliaire B (piles sèches), le contact k_1 et la bobine S. Cette dernière attire son armature a , ce qui fait pivoter le levier condé ah autour du point a ; la branche h_1 en s'écartant abandonne la douille H du noyau E. Cette douille tombe et ferme l'interrupteur à haute tension A_1 .

Quand on ouvre l'interrupteur A_2 , le levier, en passant sur le contact h_3 , ferme le circuit de la bobine S , fortement excitée par du courant alternatif secondaire; elle attire le noyau de fer E qui entraîne la douille H et ouvre l'interrupteur A_1 . En même temps la branche h du levier coudé vient s'engager dans la douille H et l'empêche de retomber. Dans ces positions extrêmes, l'appareil est complètement hors circuit; il n'absorbe donc aucune puissance et ne fait aucun bruit.

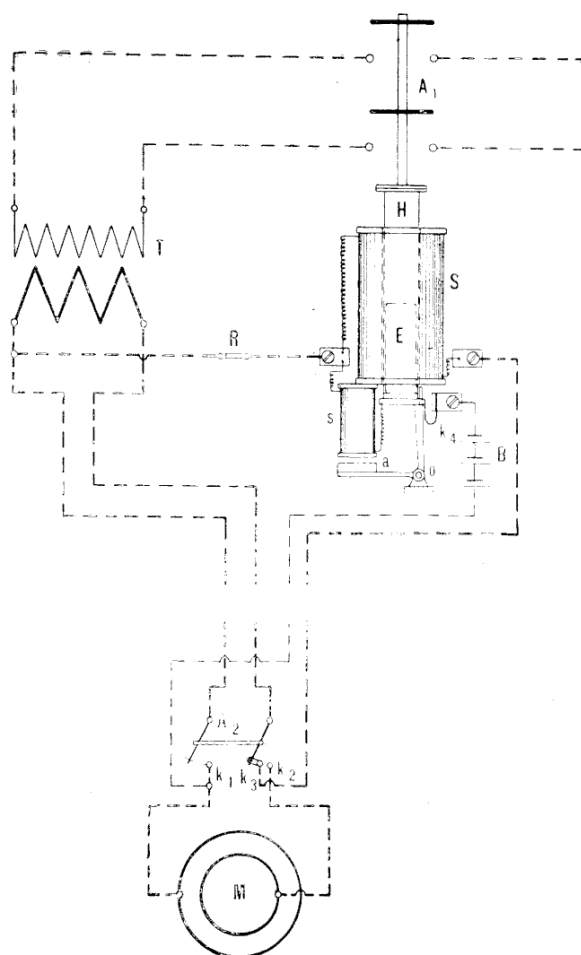


FIG. 38. — Courants alternatifs simples.

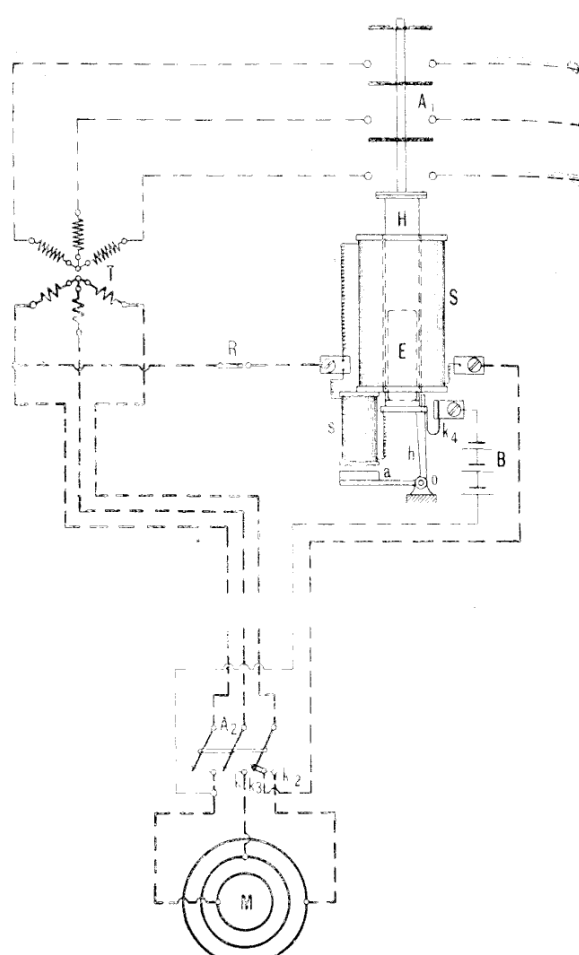


FIG. 39. — Courants alternatifs polyphasés.

Schémas des interrupteurs de circuit primaire pour distribution par courants alternatifs de la Compagnie générale d'Electricité de Creil.

Interrupteur électro-pneumatique. — L'appareil présenté par la *Compagnie française Thomson-Houston*, pour couper à distance des courants de haute tension (10 000 volts), se compose essentiellement de six cylindres en laiton remplis d'huile, dans lesquels six plongeurs métalliques peuvent prendre un mouvement de haut en bas par l'intermédiaire d'une bielle supportant les plongeurs par paire, fixée en son milieu à la tige d'un piston se déplaçant dans un cylindre communiquant avec un réservoir d'air comprimé (fig. 40).

Veut-on interrompre le courant, on introduit l'air dans la partie inférieure du cylindre à air, et les six plongeurs échappent aux mâchoires qui les retenaient; il se produit sur chaque

phase une double rupture qui n'est pas, d'ailleurs, accompagnée d'étincelles, si élevée que soit la tension, grâce à l'huile qui recouvre les contacts.

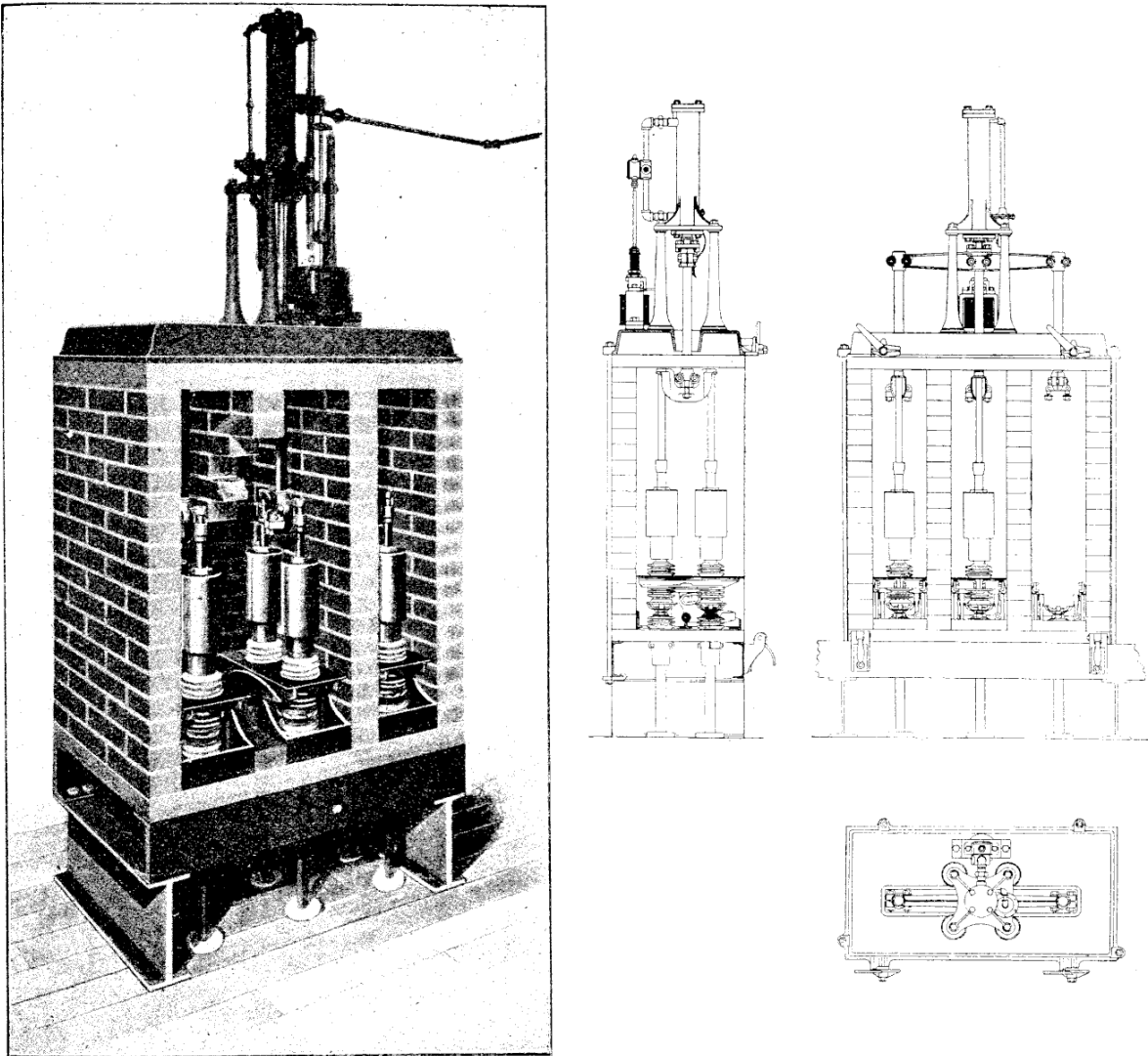


FIG. 40. — Interrupteur électro-pneumatique de la Compagnie Thomson-Houston.

Trois leviers que l'on peut placer à la partie inférieure permettent d'interrompre complètement les circuits à la main en élevant l'ensemble des cylindres à huile au-dessus du bâti sur lequel il repose, par l'intermédiaire de 6 contacts de grande surface, en forme de coupe.

COMMULATEURS. INVERSEURS. DÉVIATEURS.

Les commutateurs sont, en principe, des interrupteurs qui permettent de connecter à

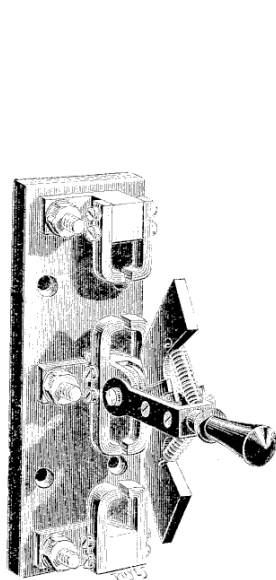


FIG. 41. — Commutateur unipolaire à rupture brusque de M. Genteur, pour 250 volts.

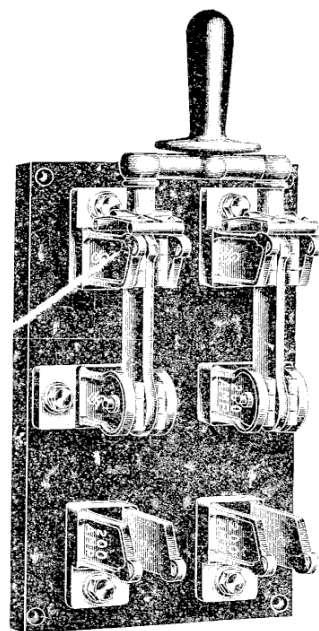


FIG. 42. — Commutateur bipolaire de la maison Siemens et Halske.

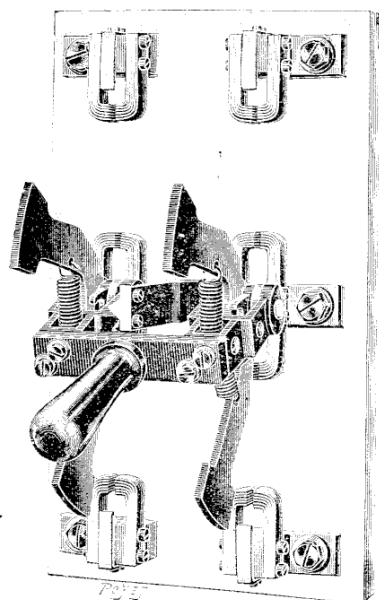


FIG. 43. — Commutateur bipolaire de M. Genteur pour 350 volts, avec pare-étincelles.

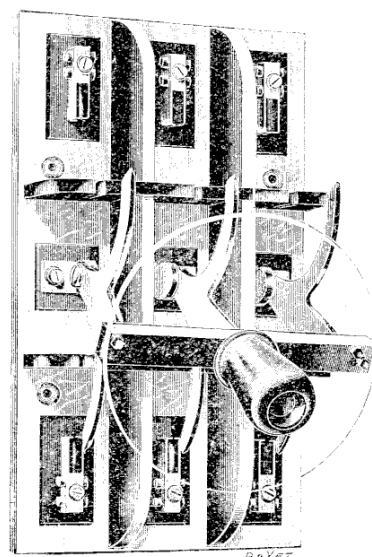


FIG. 44. — Commutateur tripolaire pour 5 ampères, 4000 volts, avec cloisons protectrices et plaques de garde, de M. Genteur.

volonté un point A d'un circuit à deux autres points B et C par la manœuvre d'un levier. Les dispositions des contacts, des ruptures brusques, des leviers de manœuvre isolés, des cloisons

protectrices, des pare-étincelles, etc., sont donc analogues à celles des interrupteurs précédemment décrits.

Nous reproduisons, à titre d'exemple, les appareils présentés par M. *Genteur* pour des tensions de 250 volts *fig. 41*, 500 à 550 volts *fig. 43*, pour 1 000 à 3 000 volts, 30 ampères unipolaires montés sur un arbre avec rupture brusque et, dans l'huile, pour 4 000 volts (*fig. 44*).

La figure 42 représente un type bipolaire de la maison Siemens et Halske avec pare-étincelles en charbon venant frotter sur des lames de bronze rapportées et d'un remplacement facile.

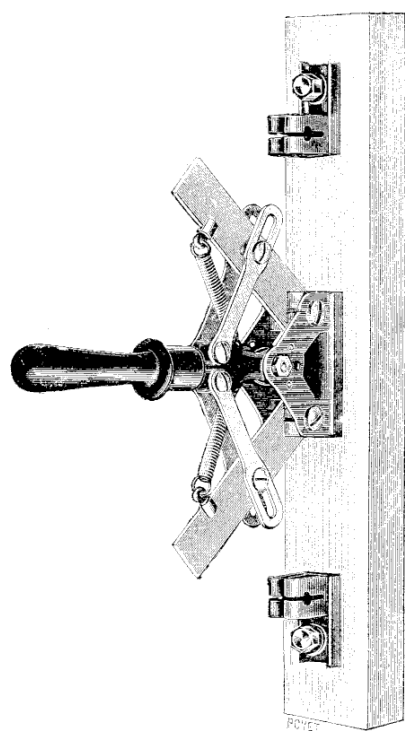


FIG. 45. — Inverseur unipolaire de la Compagnie générale de Constructions électriques.

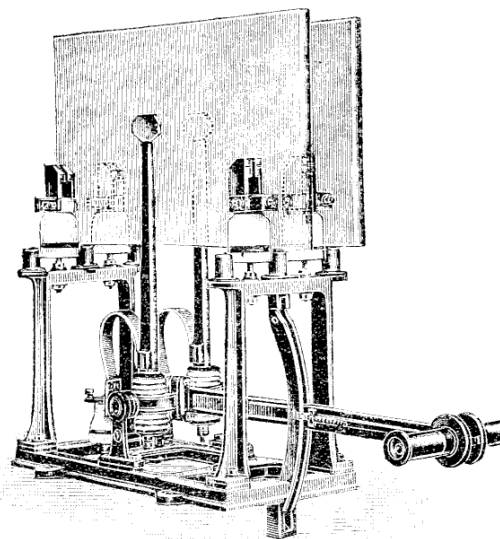


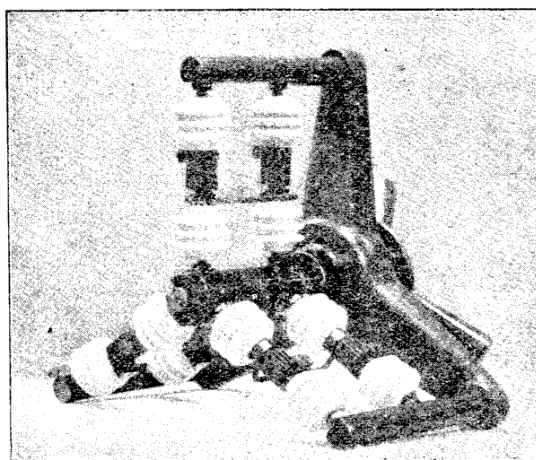
FIG. 46. — Inverseur bipolaire de l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft.

L'inverseur unipolaire de la *Compagnie générale de Constructions électriques* (*fig. 45*) établi pour tensions moyennes, jusqu'à 500 volts, est caractérisé par des dispositifs étudiés pour en assurer une fabrication économique, toutes les pièces étant décollées, découpées ou estampées. Pour éviter d'exercer une traction trop grande sur les ressorts dans le cas où les mâchoires de contact seraient trop serrées, on a disposé de chaque côté des couteaux, des leviers à coulisse dont le rôle se comprend à la simple inspection de la figure. Ces leviers limitent l'effort exercé sur le ressort et n'empêchent pas la rupture brusque, rupture qui commence dès que l'effort exercé par le ressort dépasse l'action des mâchoires en contact.

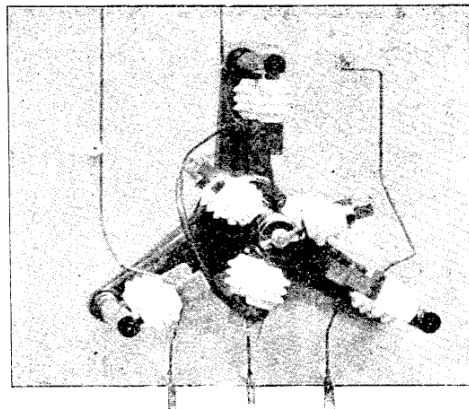
Inverseurs à haute tension. — La figure 46 représente l'inverseur à haute tension de l'*Allgemeine Electricitäts Gesellschaft*, pour courant à haute tension avec cloisons isolantes protectrices et à coupure unique à chaque pôle.

La figure 47 est un inverseur ou déviateur à haute tension de la maison *Beuch, Borel et C^{ie}* de Baden, établi pour des tensions élevées, jusqu'à 8 000 volts. L'appareil est à trois bras et a

double coupure sur chacun d'eux, ce qui permet de l'utiliser comme déviateur ou comme inter-



Vue latérale.



Vue d'arrière.

FIG. 47. — Déviateur de la maison Brown, Boveri et C^{ie}.

rupteur tripolaire en établissant, au préalable, les connexions correspondant à chacun des modes d'emploi.

INTERRUPTEURS AUTOMATIQUES

Les interrupteurs automatiques étaient fort nombreux à l'Exposition de 1900, aussi nous contenterons-nous d'en décrire quelques-uns seulement à titre d'exemple.

Interrupteur automatique pour ascenseurs sur distribution à cinq fils. — Les moteurs d'ascenseurs sont excités sur 110 volts et ont l'induit monté sur 440 volts. Pour éviter des accidents, il faut que les trois fils du montage soient coupés simultanément, lorsque l'un quelconque des trois plombs vient à fondre.

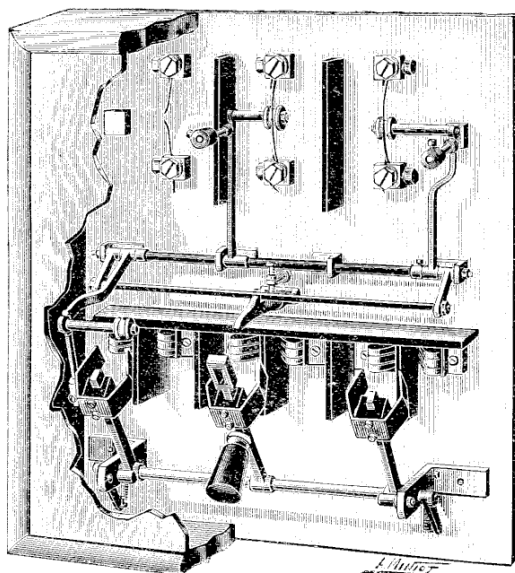


FIG. 48. — Interrupteur pour moteurs d'ascenseurs dans les distributions à cinq fils de la Compagnie française d'Appareillage électrique.

Le levier de contact est mobile autour d'un axe. Deux ressorts tendent à maintenir ce levier à la rupture, mais un doigt horizontal fixé sur le socle permet l'encadenement du levier et son maintien au contact. Sur ce doigt repose une traverse en cuivre.

L'appareil de la *Compagnie française d'Appareillage électrique* (fig. 48) et qui remplit ces conditions se compose d'un interrupteur tripolaire, dans lequel le levier de contact est mobile autour d'un axe. Deux ressorts tendent à maintenir ce levier à la rupture, mais un doigt horizontal fixé sur le socle permet l'encadenement du levier et son maintien au contact. Sur ce doigt repose une traverse en cuivre.

Au-dessus de l'interrupteur sont placés trois coupe-circuits unipolaires indépendants les uns des autres, et, sous le plomb de chacun de ces trois coupe-circuits, se trouve engagée une poulie en

Si l'un des plombs vient à fondre, le levier correspondant frappe sur la traverse qui repose sur le doigt d'enclenchement ; celui-ci s'abaisse, dégage le levier de contact ; la rupture brusque de l'interrupteur se produit aussitôt, et le courant est ainsi coupé sur les trois fils, lors de la rupture de l'un quelconque des plombs. Cet appareil fonctionne dans bon nombre d'installations d'ascenseurs électriques, à Paris.

Interrupteur automatique à maximum. — Cet appareil *fig. 49*, exposé par la maison *Schuckert* (Nuremberg), peut servir également d'interrupteur à levier, est relié au levier à main, de telle sorte que le premier ayant ouvert le circuit, il est impossible de le retenir avant d'avoir préalablement ouvert le circuit au moyen du levier. A cet effet, l'interrupteur à main seul est muni d'une poignée ; toute fausse manœuvre est donc impossible. Pour retenir, il suffit d'ouvrir, puis de refermer une seule fois l'interrupteur à main. Indépendamment du contact principal constitué par des ressorts en cuivre, il en existe un autre en charbon cuivré disposé dans le champ d'une bobine puissante qui sert de souffleur magnétique. L'action de la bobine est renforcée par l'adjonction d'une bobine dérivée, qui ne fonctionne qu'à l'instant de la rupture du circuit par l'interrupteur automatique, et qui peut, dès lors, être très fortement chargée. Le contact principal se trouve, il est vrai, en dehors du champ extingueur, mais un puissant contact en cuivre, disposé à l'intérieur de ce champ, sert au passage du courant au moment de la rupture. Un cliquet empêche d'ouvrir le circuit au moyen de l'interrupteur à levier, qui serait facilement détruit par l'étincelle de rupture. En cas d'urgence, on peut cependant interrompre à la main le courant principal avec l'interrupteur automatique au moyen d'une poignée isolante fixée à l'armature de l'électro-aimant. L'appareil est très sensible, car la pression de rupture agissant sur le déclic de l'armature, est considérablement réduite par un levier réducteur à bascule, de telle sorte que le frottement d'ouverture est négligeable devant la force attractive de l'électro-aimant. Au moyen d'une vis qui se déplace sur une échelle graduée, l'interrupteur automatique peut se régler à tout instant pour une intensité quelconque jusqu'à 2 000 ampères.

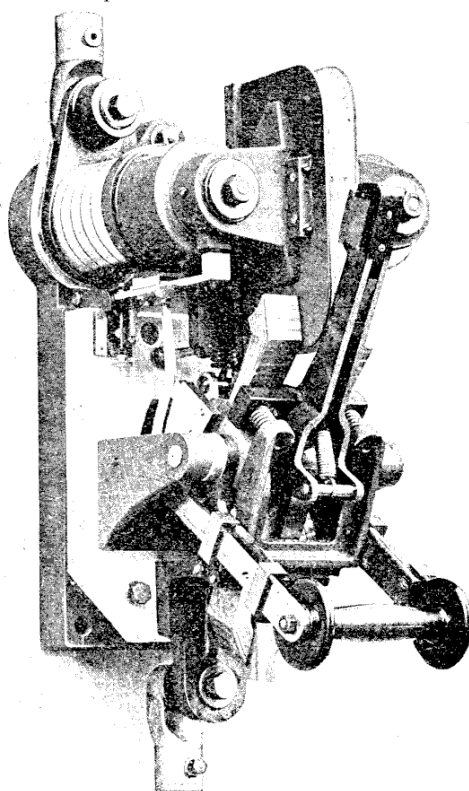


FIG. 49. — Interrupteur automatique à maximum combiné avec interrupteur à main.

Interrupteur automatique à inversion de la Société alsacienne de constructions mécaniques. — Lorsqu'une usine d'électricité fonctionne avec un certain nombre d'unités accouplées en quantité, il peut arriver qu'une des unités ralentisse, s'arrête ou subisse une avarie ; à ce moment, cette unité, au lieu de produire du courant, en absorbe et peut parfois établir un court-circuit sur les barres communes.

Si toutes les unités sont munies d'interrupteurs à maxima, l'interrupteur de l'unité en question ne déclenchera avant les autres que dans des cas tout spéciaux : il ne déclenchera en tout cas que si le courant *inverse* que cette unité reçoit atteint une valeur supérieure au courant normal qu'elle doit débiter. Dans un pareil cas, les autres unités éprouvent une surcharge

notable, parce qu'elles ont à fournir non seulement le courant fourni précédemment avec le concours de l'unité en défaut, mais encore celui que cette unité absorbe. Dans la plupart des cas, les interrupteurs à maxima des machines restant en service déclencheront, et toute l'installation pourra passer rapidement de la charge complète à l'arrêt complet, sans autre raison qu'une fausse manœuvre ou un ralentissement momentané de l'une des unités.

L'interrupteur à minima coupe le courant lorsqu'il s'approche de zéro ; l'unité en défaut devrait donc être coupée en passant par zéro si ce genre d'appareil automatique était employé. Mais l'inversion se fait parfois si rapidement qu'elle est produite avant que cet interrupteur ait pu déclencher. Le courant inversé le tient alors fermé. D'autre part, les interrupteurs à maxima déclenchent, en général, lorsque la charge se réduit à un dixième environ, c'est-à-dire avant que le courant soit réellement tombé à zéro, de sorte qu'ils coupent les génératrices d'une installation avant que la consommation de courant n'ait complètement cessé.

L'interrupteur à inversion évite ces inconvénients ; il ne coupe le courant que lorsqu'il prend une légère valeur en sens inverse. Il laisse donc les machines en service tant qu'elles débitent si peu que ce soit, mais les met hors circuit aussitôt qu'elles reçoivent du courant au lieu d'en fournir.

L'appareil se compose d'un interrupteur à main, maintenu en position fermée par un déclie et tendant à s'ouvrir sous l'action d'un ressort. Le déclie est commandé par un électro à fil fin commandé par un relai polarisé.

Ce relai bute à droite ou à gauche suivant le sens du courant qui le traverse et envoie du courant dans l'électro à fil fin du déclie lorsque, sous l'influence du courant inversé, il vient buter à gauche.

Le courant fourni au relai et à l'électro est simplement obtenu par le shuntage d'une des barres de cuivre du tableau ou de l'un des conducteurs qui relie la dynamo au tableau.

By-pass automatique pour système série. — L'appareil a pour but d'isoler une partie du circuit qui troublerait le service général, en absorbant une tension exagérée. Le *by-pass* de la Compagnie l'Industrie électrique, de Genève (fig. 50), se compose : d'un interrupteur à enclenchement commandé par un électro-aimant à armature libre. L'électro-aimant est excité par une dérivation qui, de même que l'interrupteur, est branchée sur les extrémités de la partie du circuit à protéger. Une résistance plus ou moins grande permet de régler la limite de tension qu'il importe de ne pas atteindre. Si cette limite est dépassée, en cas de rupture accidentelle du circuit par exemple, l'électro-aimant fait jouer le déclenchement de l'interrupteur, et la boucle est alors mise en court-circuit automatiquement.

Chaque moteur est pourvu de ce *by-pass* automatique, comme aussi chaque boucle de ligne ; toute rupture du circuit est ainsi localisée et ne compromet pas le service général.

Le *by-pass* peut aussi servir d'interrupteur supplémentaire, permettant le démontage des appareils pour leur entretien.

Les génératrices n'en sont ordinairement pas pourvues, parce qu'elles sont surveillées par un personnel compétent : en lieu et place on dispose alors une bride ou une fiche permettant de court-circuiter à la main en cas de besoin.

Déclencheur automatique de vitesse pour système série. — Cet appareil a pour but de mettre en court-circuit tout moteur dont la vitesse dépasserait la valeur maxima assignée, et de parer aux conséquences d'un accident au régulateur de vitesse. Le déclenchement s'opère au premier choc donné par une petite masse mobile fixée à l'extrémité de l'arbre du moteur à protéger. Un ressort antagoniste maintient cette masse contre un butoir ; mais, lorsque la force centrifuge dépasse la force du ressort, la masse s'écarte et heurte la détente de l'interrupteur. Une fois mis en court-circuit, le moteur s'arrête nécessairement en un temps très court.

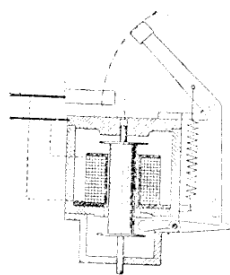


FIG. 50. — By-pass automatique pour système série.

Déclencheur automatique par inversion pour système série. — Cet appareil a pour but de mettre en court-circuit, dans une distribution en série, un générateur dont le sens de rotation viendrait à changer de signe (fig. 31).

Il s'emploie pour chaque génératrice, qu'il protège contre les conséquences d'une rupture d'un accouplement, ou un arrêt du service qui la commande.

Une génératrice qui cesse d'être actionnée et qui est cependant encore un circuit, tend en effet à fonctionner en moteur en inversant son sens de rotation, et peut alors prendre une grande vitesse.

Le déclencheur par inversion, tout en parant à cet inconvénient, permet au surveillant de l'usine d'arrêter une unité par la simple fermeture de la turbine et du moteur. Lorsque le couple moteur devient alors plus faible que celui de la génératrice, qui est constant à toutes les vitesses, l'arrêt se produit, suivi du renversement du sens de rotation et, au premier tour inverse, le déclencheur par inversion fonctionne et met la génératrice en court-circuit. Ce n'est qu'après cela, le groupe étant complètement arrêté, que le surveillant passe au tableau pour isoler complètement la machine par la manœuvre de l'interrupteur.

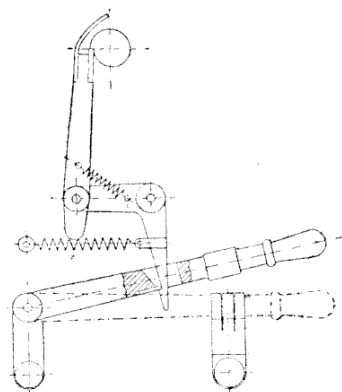


FIG. 31. — Déclencheur automatique par inversion pour système série.

APPAREILS DE CONTROLE

INDICATEURS

Les indicateurs sont des appareils établis généralement sur les tableaux de distribution dans le but de fournir à l'électricien les renseignements nécessaires à la manœuvre opportune des appareils de réglage.

En dehors des voltmètres, des ampèremètres et des wattmètres décrits dans le fascicule 13, consacré aux mesures électriques, nous signalerons quelques types plus spécialement établis pour remplir les fonctions que nous venons de définir.

Indicateurs de tension. — Cet appareil est, en principe, un voltmètre à sensibilité exagérée

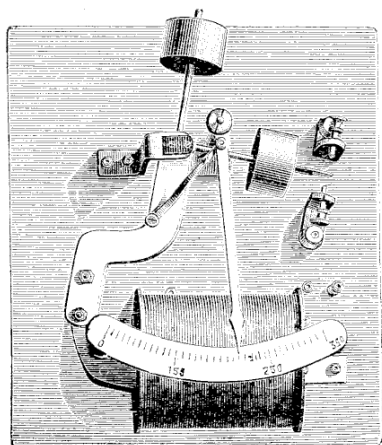


FIG. 32. — Indicateur de tension de la Compagnie générale de Constructions électriques.

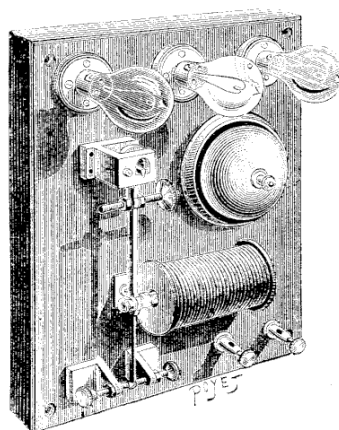


FIG. 33. — Indicateur de tension de M. Genteur.

dans la région où il doit fonctionner normalement. En oscillant autour de sa position d'équilibre, un levier fixé sur son axe touche deux butoirs correspondant, l'un, à une tension trop

haute, l'autre à une tension trop basse. Ces contacts ferment le circuit à volonté sur des lampes (signal optique), sur des sonneries (signal acoustique), ou sur des régulateurs automatiques décrits plus loin.

Nous signalerons, par exemple, l'indicateur de la *Compagnie générale des Constructions électriques* (fig. 52), réglable par des contrepoids, et celui de M. *Genteur* (fig. 53).

Indicateur d'équilibre. — Cet appareil a pour but d'indiquer l'instant pour lequel deux dynamos à courant continu que l'on doit coupler en parallèle ont atteint la même tension. On peut employer dans ce but deux voltmètres ou un voltmètre portant deux bobines égales couplées en sens inverse sur les deux dynamos. Au moment de l'équilibre, l'aiguille du voltmètre est au zéro. La *Compagnie française de Constructions électriques* présente un appareil (fig. 54) dans lequel l'équilibre est indiqué par la chute d'un index.

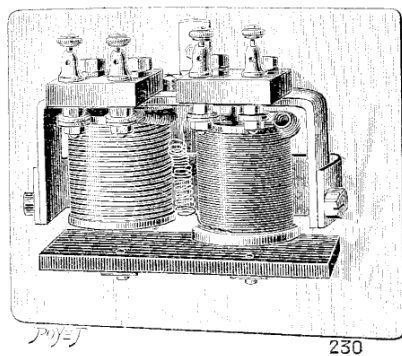


FIG. 54. — Indicateur d'équilibre de la Compagnie française de Constructions électriques.

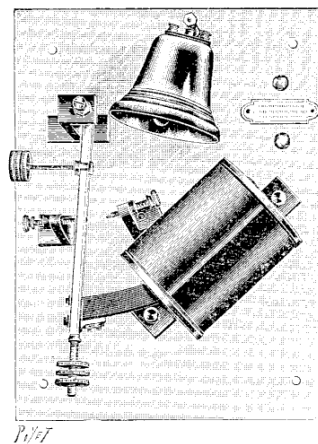


FIG. 55. — Indicateur de fin de charge d'accumulateurs de M. Genteur.

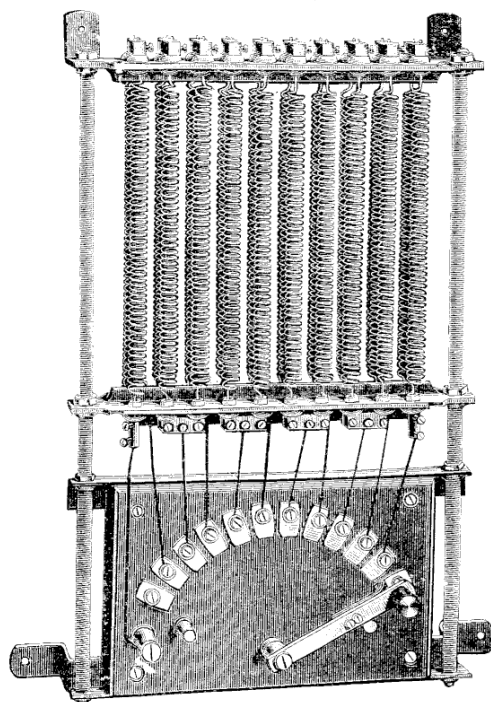
Indicateur de fin de charge d'accumulateurs. — La différence de potentiel aux bornes d'une batterie d'accumulateurs en charge augmente rapidement à la fin de la charge. Ce fait a été mis à profit par M. *J.-A. Genteur* pour un indicateur de fin de charge (fig. 55), constitué par un solénoïde à fil fin monté en dérivation sur 20 éléments de la batterie. Ce solénoïde attire de plus en plus un noyau suspendu à un levier qui, à un moment donné, vient fermer un contact sur une sonnerie. Des contrepoids à vis réglables permettent de donner à l'appareil toute la sensibilité nécessaire.

APPAREILS DE RÉGLAGE

RHÉOSTATS

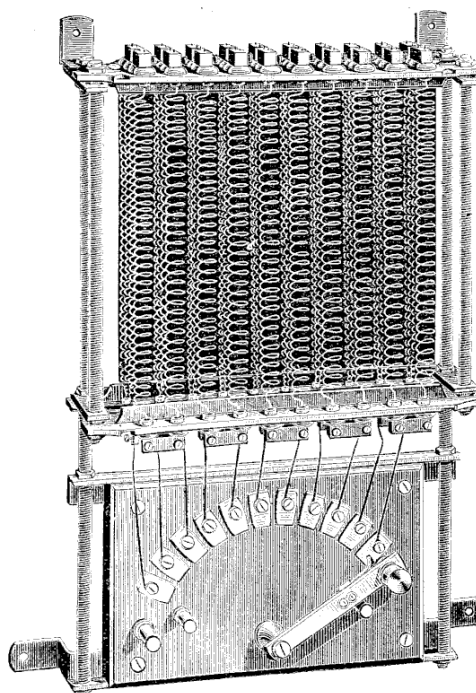
Les rhéostats industriels sont presque tous établis aujourd'hui sur les mêmes lignes générales : Cadre en fer supportant la résistance roulée en spirales ou boudins suspendus verticalement et fixés à leurs extrémités dans des plots fixés sur des isolateurs en porcelaine. Les différents éléments aboutissent à des plots disposés en cercle ou en arc de cercle, sur lequel vient appuyer l'extrémité du levier de contact. Les touches sont assez rapprochées pour que le contact touche simultanément deux plots en passant d'une position donnée à la suivante. Nous représentons, à titre d'exemple (fig. 56), le type de rhéostat universel de la *Compagnie française*

d'Appareillage électrique. Il permet de doubler ou de tripler la puissance absorbée par le rhéostat



Rhéostat simple.

FIG. 56. — Rhéostat universel extensible de la Compagnie française d'Appareillage électrique.



Rhéostat avec cadre supplémentaire.

par l'emploi d'un ou de deux cadres supplémentaires que l'on fixe devant le cadre principal, sans augmenter l'encombrement (fig. 57).

Rhéostats émaillés. — La *Ward Leonard Electric Co.*, de Bronxville (États-Unis), présentait une série très variée de rhéostats industriels destinés au réglage de l'excitation des dynamos, de la lumière dans les théâtres, du démarrage des moteurs, etc. (fig. 58).

Ces rhéostats sont constitués par une lame très mince de métal résistant (0,05 millimètre d'épaisseur environ) et de largeur proportionnée au courant qui doit la traverser. Cette lame, repliée en bandes ondulées parallèles, est fixée sur une plaque métallique conductrice et noyée dans un émail isolant. La faible épaisseur du métal empêche la dilatation du métal, chauffé par le passage du courant, de rompre l'émail interposé, d'autant mieux que les coefficients de dilatation du métal et de l'émail sont extrêmement voisins.

Le rhéostat ainsi constitué présente une grande surface de refroidissement, qui lui permet de dissiper la chaleur qui s'y dégage par radiation et par convection.

La plaque métallique qui sert de support au rhéostat emmagasine la chaleur et la dissipe pendant les intervalles de repos. Ces rhéostats, économiques, légers, solides, compacts et peu encombrants, conviennent particulièrement aux appareils à démarrages fréquents (moteurs de presses à imprimer, moteurs d'automobiles, etc.). Ils sont inattaquables aux acides, aux vapeurs, et ne sont pas affectés par les vibrations, comme le sont les rhéostats à boudins.

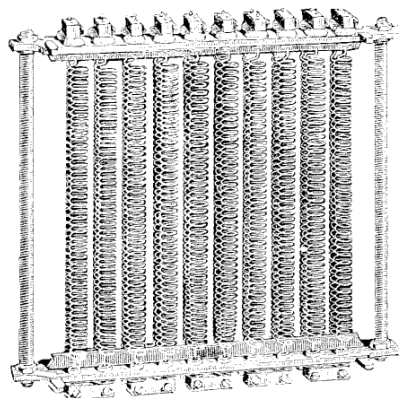


FIG. 57. — Cadre supplémentaire à placer devant le rhéostat.

Pour faciliter le refroidissement, la plaque de fonte sur laquelle la lame ondulée est maintenue par l'émail porte des nervures qui augmentent sa capacité thermique et sa surface

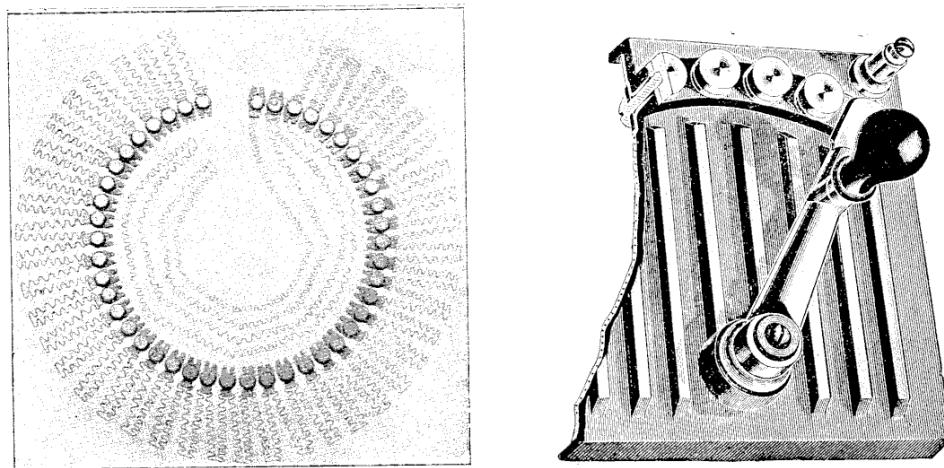


FIG. 58. — Rhéostats en rubans minces noyés dans l'émail de la Ward Leonard Electric Co.

de refroidissement. Un rhéostat plat de ce système dissipe, en marche continue, 80 watts par décimètre carré de surface. Ce chiffre permet de calculer rapidement son encombrement.

Rhéostat disjoncteur pour charge d'accumulateurs. — Les postes de charge d'accumulateurs pour électromobiles sont munis d'un rhéostat qui a pour but de régler le courant de charge; mais il importe que ce rhéostat soit toujours intercalé dans le circuit lorsqu'on relie une batterie au tableau, afin d'éviter les fausses manœuvres et les courants excessifs si la batterie est épuisée, mal couplée, inversée, etc.

Dans ce but, la *Compagnie française d'Appareillage électrique* a combiné un rhéostat spécial représenté figure 59. Le levier commandant le plot de contact sur le toucher de ce

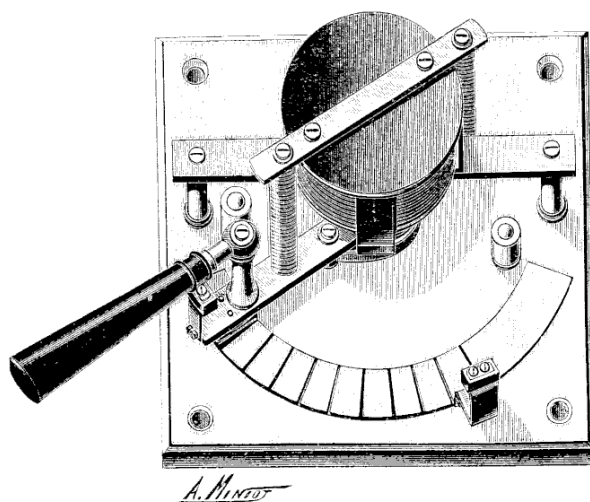


FIG. 59. — Rhéostat-disjoncteur de la Compagnie française d'Appareillage électrique.

d'intensité suffisante, le disque se solidarise avec l'électro-aimant et se maintient dans la posi-

tion correspondant à la résistance maxima introduite dans le circuit. Pour le maintenir dans une position différente, il faut que le système soit traversé par un courant d'une certaine intensité. Ce résultat est obtenu en disposant sur l'axe du rhéostat un électro-aimant à bobine unique montée en série sur le circuit de charge. Cet électro-aimant fixe porte un noyau et trois branches extérieures dont le circuit magnétique vient se fermer par un disque en fer mobile fixé sur le levier du rhéostat et légèrement éloigné du noyau et des branches par deux ressorts à boudin. Lorsque l'électro-aimant est traversé par un courant

tion qu'on lui donne sous l'influence de l'attraction magnétique. On peut changer la position du rhéostat en faisant glisser le disque sur le noyau et les branches de l'électro-aimant, mais il reste dans la dernière position acquise jusqu'au moment où, pour une cause quelconque, le courant étant interrompu ou affaibli au-dessous d'une certaine valeur, le disque est libéré, l'attraction cesse, et le ressort rappelle le plot à sa position de résistance maxima. Le système peut s'appliquer également comme rhéostat de moteur.

Rhéostats liquides. — Lorsque le fonctionnement des appareils exige qu'une résistance introduite dans un circuit électrique varie d'une façon continue, en vue d'éviter les à-coups, on emploie des résistances liquides constituées par une solution moyennement conductrice placées dans un récipient métallique, dans lequel vient plonger une électrode dont on augmente progressivement la surface d'immersion.

La solution employée est généralement du carbonate de soude, et les électrodes plongeant dans le liquide sont en fer.

La figure 60 montre, à titre d'exemple, le rhéostat triple à liquide pour courants triphasés de la maison *Ganz et Cie*, de Budapest.

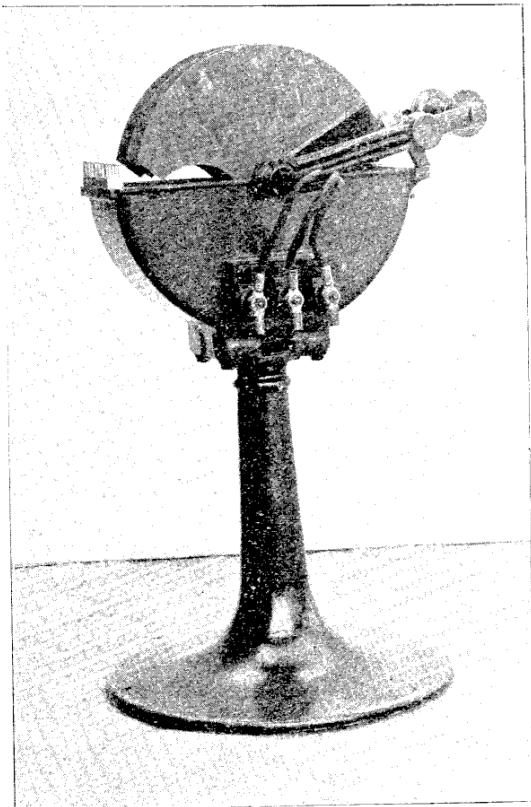


FIG. 60. — Rhéostat liquide. Type pour démarrage de moteurs à courants triphasés de la maison *Ganz et Cie*, de Budapest.

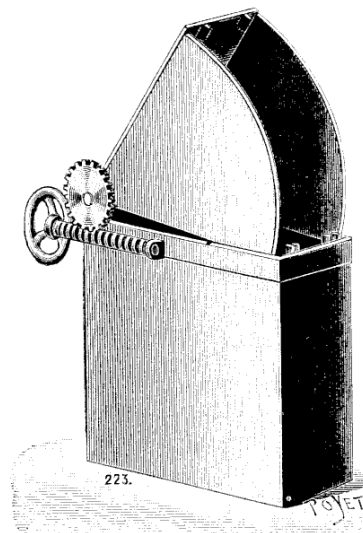


FIG. 61. — Rhéostat liquide de la Compagnie française de Constructions électriques.

circulaires formant électrodes plongeantes, il s'établit un court-circuit franc du rhéostat par l'intermédiaire des lames disposées sur le bord de la cuve demi-cylindrique.

Pour éviter que la manœuvre du rhéostat ne se fasse trop brusquement, ce qui présente, dans certains cas, des inconvénients, la *Compagnie française de Constructions électriques* a établi un modèle (fig. 61), dans lequel les électrodes se manœuvrent par une vis sans fin, à l'aide d'un volant auquel il est impossible d'imprimer une trop grande vitesse.

Rhéostats spéciaux. — Les rhéostats pour *lampes à arc* seront examinés à propos de l'éclairage, les *rhéostats automatiques* avec les régulateurs, et les *rhéostats de moteurs* dans le fascicule consacré aux moteurs.

RÉGULATEURS AUTOMATIQUES

Nous ne parlerons ici que des appareils destinés à régler les éléments de la circulation électrique dans un circuit, différence de potentiel et intensité. Les régulateurs de lampes à arc seront examinés dans le fascicule consacré à l'éclairage.

Les régulateurs sont à action *directe* ou *indirecte*, suivant qu'ils agissent directement ou indirectement sur le mécanisme de réglage.

Lorsqu'il s'agit d'actionner des organes de réglage lourds et mettant en jeu une puissance assez grande, on ne peut employer que des régulateurs à action indirecte, utilisant les variations d'une différence de potentiel ou de l'intensité d'un courant pour actionner un rhéostat ou déplacer des balais.

Régulateur automatique de tension. — Pour parer aux variations produites dans la tension d'une dynamo provenant des variations du débit ou de la vitesse angulaire, on emploie des régu-

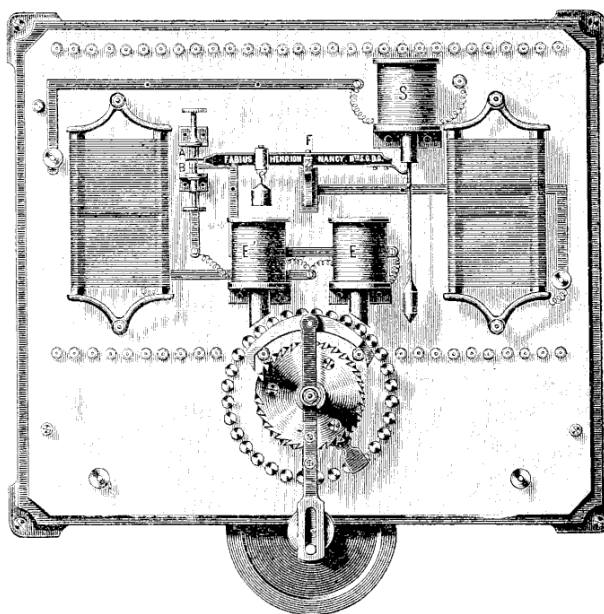


FIG. 62. — Régulateur automatique de tension de M. Fabius Henrion.

lateurs automatiques qui ont pour effet de faire varier la résistance d'excitation. Nous décrivons, à titre d'exemple, le type cité et exposé par M. *Fabius Henrion*, de Nancy (*fig. 62*). Dans ce système, un double cliquet est animé, par une transmission mécanique, d'un mouvement de va-et-vient sur deux roues dentées en sens inverse, solidaires l'une de l'autre.

Un fléau horizontal F porte à l'une de ses extrémités un tube de fer doux qui peut être aspiré par un solénoïde S. Cette attraction est contrebalancée par un curseur mobile, de telle sorte que, dans une marche normale, le fléau est horizontal et oscille entre deux points A et B. Le fléau est relié à l'un des pôles de la machine. Si la tension varie, il vient buter contre A ou B, et fait passer un courant dans l'un ou l'autre des électros E, E'. Cet ensemble constitue un véritable relai. Le double cliquet, attiré par l'un ou l'autre de ces électros, bascule à droite ou à gauche. Il peut alors agir sur l'une ou l'autre des deux roues dentées. Suivant que l'une ou l'autre de ces roues est en mouvement, une manette fixée en leur centre se déplace sur les touches d'une résistance variable, intercalée dans le circuit d'excitation de la machine. Cette résistance se trouve ainsi réglée automatiquement, de façon à maintenir la tension constante malgré les variations de vitesse angulaire et de débit.

Régulateur Thury. — Cet appareil, construit et exposé par M. H. Cuénod, de Genève, se compose essentiellement d'un appareil de mesure (voltmètre ou ampèremètre) à course très réduite et d'un mécanisme à encliquetage destiné à transmettre le mouvement au rhéostat de réglage ou à tout autre organe régulateur.

L'appareil de mesure est électromagnétique pour le courant continu et thermique pour le courant alternatif.

L'appareil de mesure du régulateur à courant continu est formé d'un inducteur à circuit magnétique fermé, sauf un entrefer unique de forme annulaire, dans lequel se ment une bobine parcourue par une dérivation du courant à régler (fig. 63).

Cette bobine très légère, construite de manière à rendre l'appareil apériodique, est fixée sur un des bras d'un levier contre-coudé, qui pivote en son milieu et porte, à une de ses extrémités, un ressort de réglage A et, à l'autre, une butée en acier trempé C.

Dans le régulateur alternatif, ce même levier se déplace suivant les dilatations ou les contractions d'un fil de platine, soumis à l'action du courant; lorsqu'un courant d'intensité normale

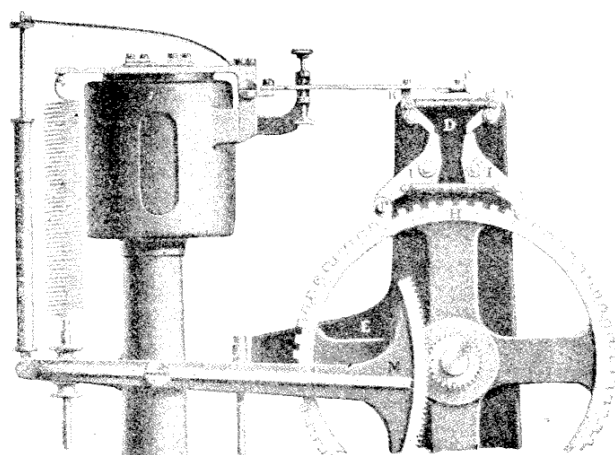


FIG. 63. — Principe du régulateur automatique de M. Thury.

circule dans la dérivation qui forme la bobine mobile, en même temps que dans l'enroulement inducteur, la bobine prend une position d'équilibre, déterminée par la tension du ressort A, correspondant à une position moyenne du levier. Si le courant dépasse sa valeur normale, la bobine est soulevée par l'action magnétique, et la butée, portée par le levier, occupe sa position inférieure. Si, au contraire, le courant est au-dessous de la normale, cette butée se trouve dans sa position supérieure.

Cette butée est placée sur la trajectoire d'un système d'encliquetage, D, supporté par une pièce en forme d'équerre E, qui reçoit un mouvement de balancement régulier autour de l'axe de l'appareil au moyen d'un arbre à manivelle, actionné par le moteur du régulateur.

Pour déterminer le réglage, il faut que la roue dentée H, calée sur l'axe du régulateur, soit entraînée, dans un sens ou dans l'autre, par ce mouvement de balancement; cela se produit dès que l'un des cliquets I, portés par la pièce E, s'engage dans la denture de la roue.

Si le courant à régler est normal, la butée n'est pas touchée par le balancement des leviers coudés K, qui servent d'arrêts aux cliquets: l'un se déplace au dessus et l'autre au dessous; l'appareil reste donc à l'état de repos. Si le courant est trop intense, la butée C se place en regard du petit levier coudé K de droite, lequel est alors relevé à chaque balancement, et laisse ainsi le cliquet qui lui correspond tomber sur la roue dentée qu'il entraîne.

Si le courant est trop faible, c'est au contraire le levier de gauche qui est touché par la butée et permet au cliquet correspondant de s'engager sur la roue dentée pour l'entraîner dans l'autre sens.

L'asservissement est obtenu par l'intermédiaire d'un ressort L, dont une extrémité est fixée sur l'équipage mobile de l'appareil de mesure, et l'autre reliée à un levier M dont le déplacement est en relation directe avec la manette du rhéostat.

Le sens dans lequel ce levier se déplace est tel que le ressort s'oppose au mouvement de l'équipage mobile.

Le ressort lui-même se tend ou se détend proportionnellement à la course effectuée par le levier ; le courant nécessaire pour maintenir l'équilibre de l'équipage mobile varie donc proportionnellement à l'angle de déplacement de la manette.

Il en résulte que, d'une extrémité à l'autre du réglage, le régime du courant réglé diffère, dans une certaine proportion, qui est en rapport avec la résistance du ressort choisi.

Cette différence, ou pourcentage de régulation, a l'avantage d'assurer à l'appareil une parfaite stabilité de fonctionnement, mais aurait, par contre, l'inconvénient d'amener une variation du régime du courant, qui peut être gênante dans certains cas : aussi, pour y obvier, l'extré-

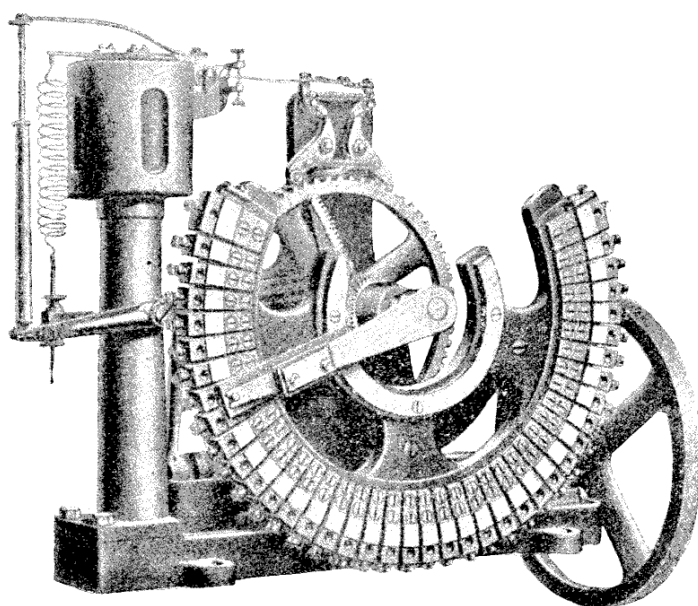


FIG. 64. — Application du principe du régulateur de M. Thury à un rhéostat automatique.

mité du ressort L est fixée au levier M par l'intermédiaire d'un amortisseur à huile N qui, peu à peu, permet au ressort de se détendre et de reprendre, dans toutes les positions, le même degré de tension. L'asservissement n'est ainsi que momentané, et le régime du courant peut être ramené exactement à la même valeur dans toutes les positions du réglage.

L'appareil permet un réglage très précis, indépendant de l'effort mécanique à exercer pour l'obtenir, provoqué par des organes entièrement mécaniques, sans aucun contact électrique.

La puissance du régulateur est pratiquement illimitée, tout en conservant la mobilité absolue de l'appareil de mesure.

Le régulateur automatique Thury peut agir aussi bien sur le rhéostat que sur le calage des balais d'une machine électrique à régler, comme sur l'admission ou la détente du moteur à vapeur ou sur le distributeur de la turbine qui la commande.

Il permet donc de maintenir dans un circuit une force électromotrice constante, soit :

1° En faisant varier la résistance du circuit d'excitation d'une machine shunt ou à excitation indépendante (*fig. 64*) ;

2° En faisant varier la résistance du circuit extérieur dans le cas d'une distribution par feeders ;

3° En modifiant les rapports de transformation dans une distribution à courants alternatifs par transformateurs;

4° En faisant varier le nombre d'éléments d'une batterie d'accumulateurs ou en introduisant des résistances variables dans son circuit de décharge.

Il permet de maintenir constante l'intensité d'un courant utilisé pour la distribution en série, pour l'éclairage à arc ou la force motrice, soit : 1° en shuntant plus ou moins le circuit d'excitation d'une dynamo-série; 2° en décalant dans les limites voulues les balais; 3° en introduisant des résistances variables dans le circuit de distribution.

Au lieu d'agir sur les générateurs électriques, il peut être utilisé tout aussi bien à régler la vitesse des moteurs à vapeur ou hydraulique qui les actionnent. Il peut être appliqué au réglage de la vitesse des moteurs électriques. Il permet encore de régler automatiquement les fours électriques, en maintenant constante la différence de tension utilisée au moyen de l'écartement ou du rapprochement des électrodes, par l'intermédiaire d'un treuil de suspension.

Rhéostat automatique Blathy. — Ce rhéostat, exposé par la maison *Ganz et Cie*, de Budapest, comporte un cadre métallique en cornière élargi à sa partie supérieure et portant le rhéostat proprement dit, qui est intercalé dans le circuit inducteur de la machine à régler, ou dans l'excitation de l'excitatrice pour les alternateurs. Les points de jonction des résistances sont reliés à des fils parallèles de longueurs différentes venant plonger dans un vase contenant du mercure. Ce vase est porté par un tube dont l'autre extrémité est munie d'un flotteur destiné à l'équilibrer et qui plonge dans une caisse à eau portée par la monture; le tube de support traverse une solénoïde et porte intérieurement, à hauteur de ce dernier, un noyau en fer doux; une résistance additionnelle placée en série avec le solénoïde et réglable à la main permet d'ajuster l'appareil à la tension voulue; la bobine et sa résistance sont montées en dérivation sur le circuit principal. Toute variation du courant principal agit sur le noyau en fer doux, le fait monter ou descendre, et, par suite, le vase à mercure met en court-circuit ou augmente les résistances à intercaler dans le circuit inducteur, par suite de l'inégalité de longueur des fils reliés aux résistances et baignant dans le vase.

Pour les machines à haute tension, la bobine est reliée à un transformateur réducteur; elle ne reçoit ainsi que du courant secondaire à basse tension.

RÉDUCTEURS

Les réducteurs sont des appareils reliés à un circuit d'accumulateurs, en vue de faire varier

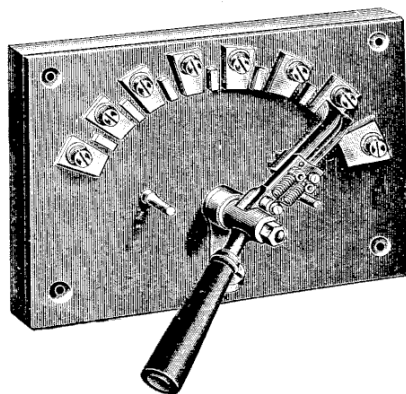


FIG. 65. — Réducteur simple, modèle de M. Fabius Henrion.

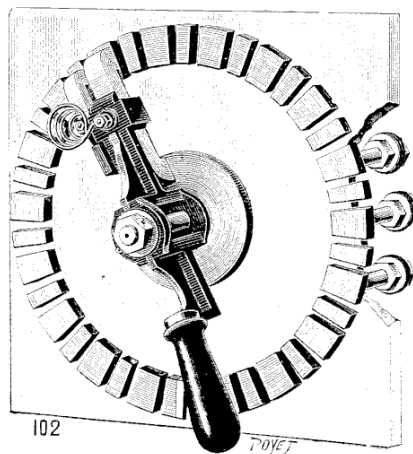


FIG. 66. — Réducteur simple circulaire de la Compagnie générale de Constructions électriques.

le nombre d'éléments mis à chaque instant en charge ou en décharge. Ils sont simples ou

doubles, circulaires ou rectilignes, manœuvrés à la main ou à distance, commandés directement ou automatiquement par un indicateur. Ils ne se différencient que par les détails de leurs dispositions, qui se comprennent à la simple inspection des figures 65 à 68, qui se rapportent à quelques types caractéristiques. Dans tous les modèles, des dispositions sont prises pour que le passage d'un plot au plot suivant ne mette pas l'accumulateur ajouté ou retranché en court-circuit, pendant la manœuvre de l'appareil. Le résultat est obtenu à l'aide de deux contacts se déplaçant ensemble, et dont l'un est relié au circuit par une résistance calculée d'après le débit maximum normal de l'élément. Dans les réducteurs manœuvrés à distance, le mécanisme d'avancement du contact est combiné pour que le déplacement soit égal à l'intervalle compris entre deux plots successifs, et que le contact ne reste jamais *à cheval* entre deux plots.

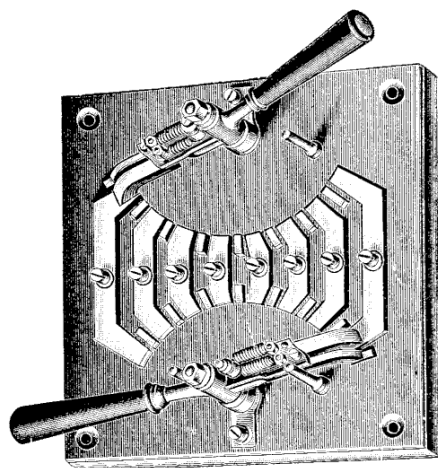


FIG. 67. — Réducteur double, modèle de M. Fabius Henrion.

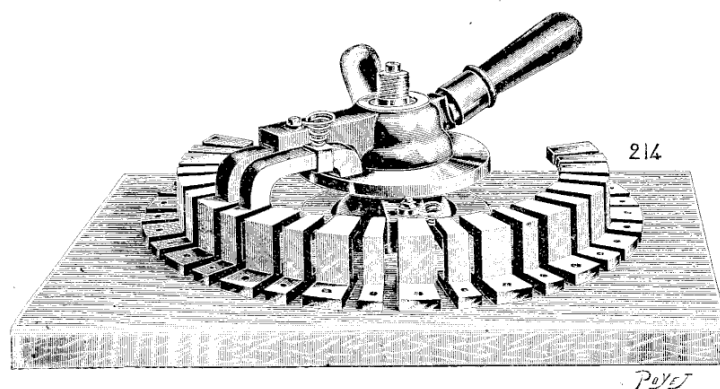


FIG. 68. — Réducteur double de la Compagnie générale de Constructions électriques.

Dans les très gros appareils, installés près des éléments de réduction, en vue d'économiser les conducteurs, la position du réducteur est indiquée au tableau de commande par l'allumage d'une lampe à incandescence correspondant au plot en service à chaque instant. On a ainsi une vérification permanente du bon fonctionnement de l'appareil.

Nous avons reproduit à titre d'exemple, figures 65 à 68, quelques types de réducteurs simples ou doubles manœuvrés à la main. L'Exposition renfermait un certain nombre d'autres réducteurs à commande mécanique à distance pour courants intenses. Nous nous contenterons de décrire le plus puissant, établi pour 4 000 ampères.

Réducteur d'accumulateurs pour 4 000 ampères. — Cet appareil, construit par la *Compagnie française de Constructions électriques*, était le plus puissant de l'Exposition. Son but est de faire déplacer brusquement le balai sur les plots, de manière qu'il ne reste jamais à cheval sur le plot actif et le plot de réduction, ce qui pourrait arriver dans de gros appareils de ce genre, et ne ferait porter le balai que sur une fraction peut-être minime du contact nécessaire (fig. 69).

En principe, cet appareil se compose d'un pignon fixe portant huit dents, et d'un cliquet venant en contact avec ces dents; c'est-à-dire que le cliquet se déplace de $1/8$ de tour par déplacement. Le mécanisme a pour objet de dégager ce cliquet de la dent pour le faire passer par de puissants ressorts sur la dent suivante où il s'arrête, et ainsi de suite.

A cet effet, le cliquet porte un contre-cliquet, que l'on soulève progressivement au moyen d'une pièce spéciale manœuvrée à la main ou à distance, par un moteur. Chaque fois que ce

cliquet et ce contre-cliquet avancent de $1/8$ de tour, la pièce en question avance en même temps et revient prendre, par rapport au cliquet, la position qu'elle occupait primitivement.

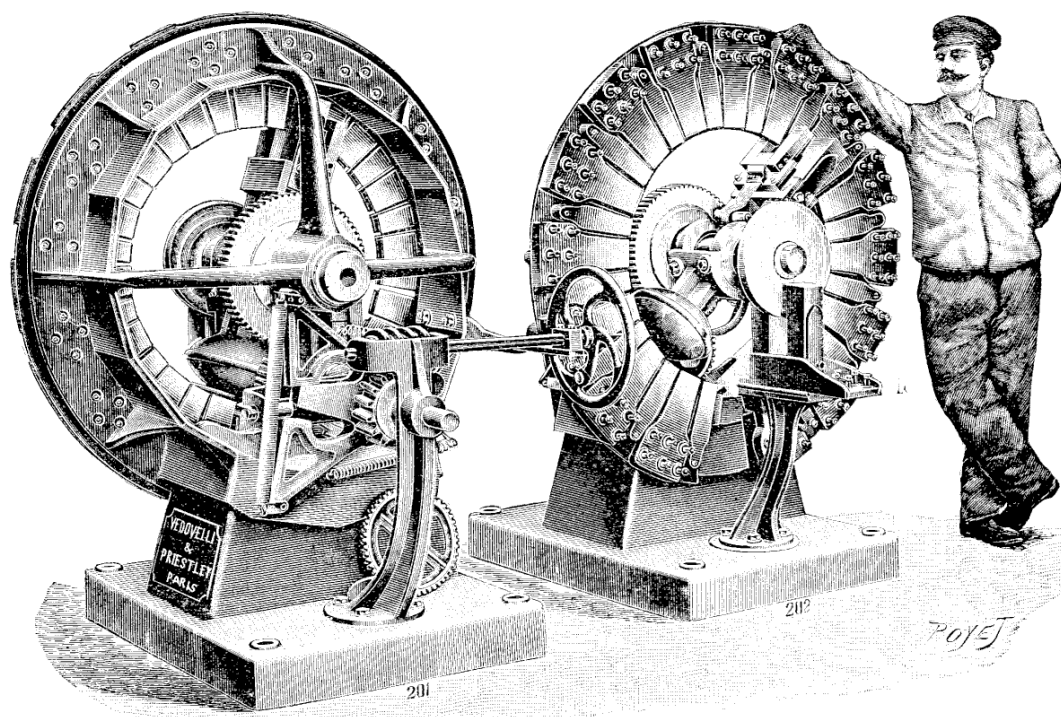


FIG. 69. -- Réducteur d'accumulateur pour 4 000 ampères de la Compagnie française de Constructions électriques.

La manœuvre recommence de même pour le plot suivant. Le système est symétrique, de sorte que le mouvement dans l'autre sens se fait de la même façon.

APPAREILS DE SÉCURITÉ

Les appareils de sécurité peuvent se diviser en trois groupes, suivant qu'ils ont pour but de protéger les installations contre :

- 1° Des accroissements excessifs de courant. Le problème est résolu par les *coupe-circuits* et les *disjoncteurs automatiques* ;
- 2° Des tensions intempestives par défaut d'isolement entre plusieurs points d'une canalisation, ou entre ces points et la terre. On emploie dans ce but des *protecteurs* ;
- 3° Des décharges atmosphériques. Ce sont des *parafoudres*.

COUPE-CIRCUITS

Les *coupe-circuits* ont pour objet de protéger les circuits sur lesquels ils sont montés contre un courant d'intensité excessive. On les emploie sous forme de *fusibles* ou de *disjoncteurs à maxima* pour les courants très intenses.

Fusibles. — Les dispositions données aux fusibles dépendent de la tension de la source qui les alimente et de l'intensité normale des circuits à protéger.

Ces fusibles sont constitués par des fils de plomb ou d'alliage fondant à basse température, montés tantôt directement sur les bornes de l'appareil, tantôt sur de la fibre ou du mica et pris entre des œillets (*fig. 70*). Ils sont enfermés dans une enveloppe entièrement



FIG. 70. — Fusibles à fils et à œillets.

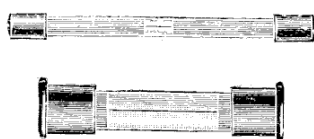
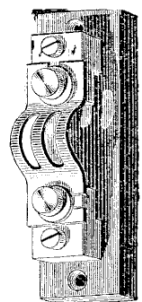
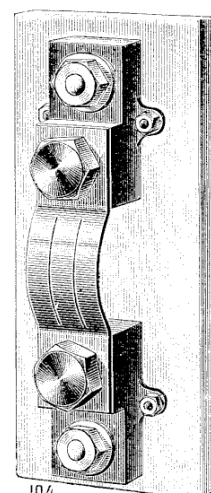


FIG. 71. — Fusibles dans des tubes en verre.



Faible intensité.



104

Grande intensité.

FIG. 72. — Fusibles à lames.

fermée, afin d'éviter les projections de métal fondu et en matière incombustible, généralement de la porcelaine ou du verre (*fig. 71*).

Pour les courants intenses, les fils sont remplacés par des lames (*fig. 72*) ou des grilles fondues portant deux encoches disposées à angle droit qui permettent leur installation facile.

Coupe-circuits fusibles à 220 volts. — La distance des points de serrage doit être assez grande pour empêcher l'étincelle de persister à la rupture. Cette distance dépend de l'intensité. Il faut au moins :

2,5	cm	pour	2	ampères
3	—	—	5	—
3,5	—	—	15	—
4	—	—	30	—

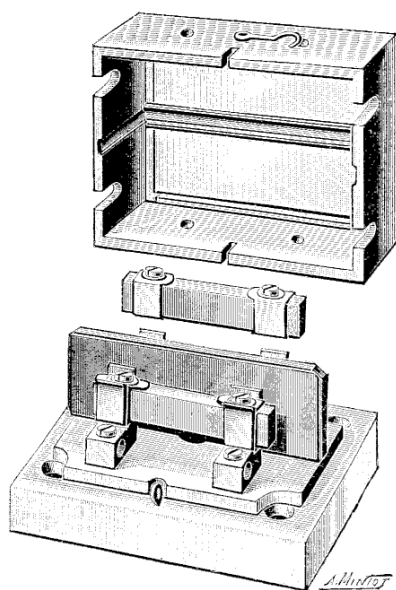
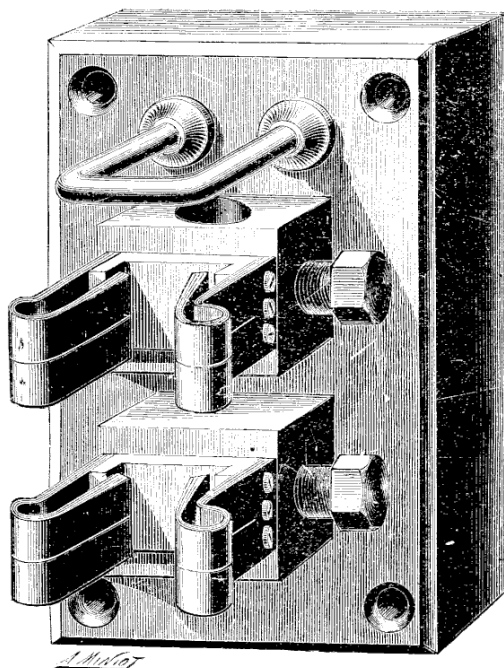


FIG. 73. — Coupe-circuits à barrettes pour 220 volts de la Compagnie française d'Appareillage électrique.

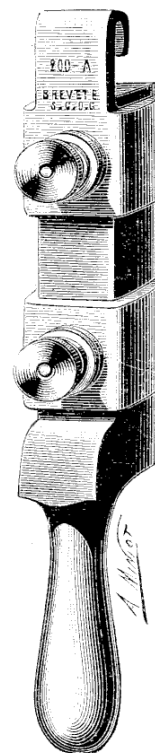
Les deux chambres sont ainsi rendues étanches, et, pour permettre l'évacuation des vapeurs provenant de la fusion du plomb, on a ménagé des trous percés dans le couvercle en face les points d'attache des plombs.

La *Compagnie française d'Appareillage électrique* monte les fusibles sur barrettes amovibles (*fig. 73*) pour en rendre le remplacement plus facile et plus rapide.

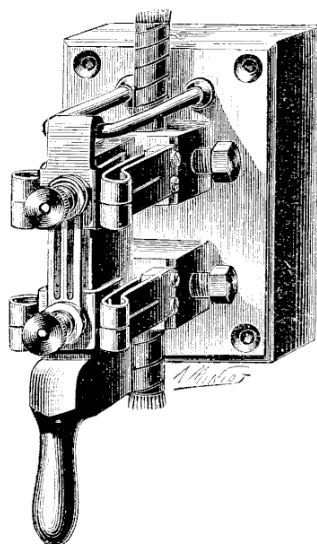
Coupe-circuits fusibles amovibles. — La *Compagnie française d'Appareillage électrique* présente une série complète de coupe-circuits à barrettes amovibles (fig. 74), montés sur ardoise



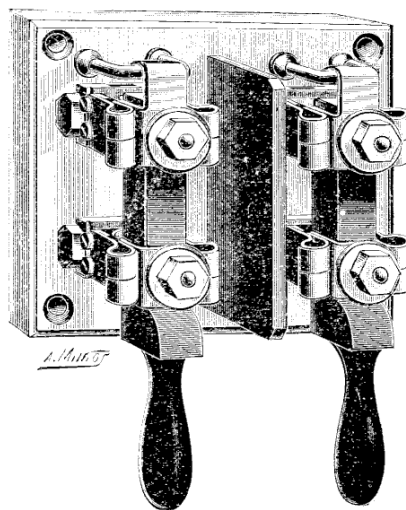
Monture du coupe-circuit.



Barrette.



Type unipolaire.



Type bipolaire.

Coupe-circuit disposé sur sa monture.

FIG. 74. — Coupe-circuits à barrettes de la *Compagnie française d'Appareillage électrique*.

ou sur porcelaine, avec barrettes en bois, en fibre, en ambroine ou en porcelaine. Ce système, qui se comprend à l'inspection des figures, a l'avantage de permettre le remplacement rapide

des fusibles ayant fonctionné, et l'emploi de l'appareil comme interrupteur en cas d'urgence.

La figure 75 montre un autre type de coupe-circuit interrupteur, établi par la *Compagnie française de Constructions électriques*, qui a l'avantage de fonctionner également comme interrupteur à levier, mais présente l'inconvénient de ne pas être aussi facilement amovible et remplaçable en cas de fusion du plomb.

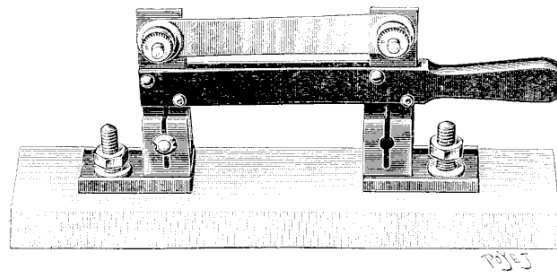


FIG. 75. — Coupe-circuit interrupteur de la Compagnie française de Constructions électriques.

Coupe-circuits pour haute tension. — La *Compagnie française d'Appareillage électrique* expose des coupe-circuits à barrettes (*fig. 76*) pour tensions de 2 400 à 5 000 volts. Les coupe-circuits

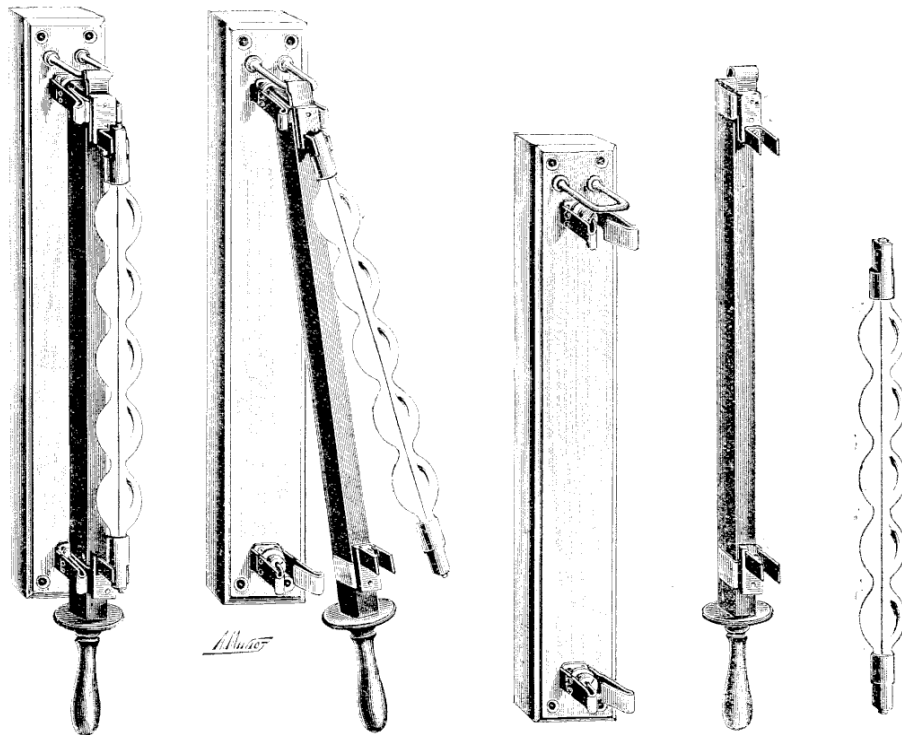


FIG. 76. — Coupe-circuits amovibles à barrettes interchangeables de la Compagnie française d'Appareillage électrique.

pour 5 000 volts portent des tubes à boules de verre à étranglement et renflement permettant le soufflage de l'étincelle; des coupe-circuits (4 500 volts), adoptés par la *Compagnie électrique*

du secteur de la rive gauche de Paris, formés d'une boîte en porcelaine munie de pinces-ressorts destinées à recevoir un tube porte-plomb en verre. Dans ce tube, se trouvent deux rondelles en ébonite percées d'un trou pour le passage du plomb et permettant le soufflage de l'étincelle. Ce coupe-circuit est peu encombrant, étant donnée la tension élevée pour laquelle il est établi.

Coupe-circuit pour haute tension, système Steele. — Pour éteindre l'arc formé à la rupture d'un courant alimenté par une source à haute tension, on a intérêt à disposer l'appareil pour que la rupture se produise dans l'huile. C'est ce que réalise l'appareil Steele, construit par la *Compagnie générale de Constructions électriques* (fig. 77).

A l'intérieur d'un tube en U rempli d'huile passe un fil de plomb qui le tient suspendu. Lorsque le courant atteint une intensité suffisante pour produire la fusion du plomb, le tube en U, qui n'est plus retenu, tombe; par suite une des extrémités du fil de plomb est entraînée dans l'intérieur de l'huile, et l'arc se trouve rompu d'une manière très simple. La vitesse d'entraînement de l'extrémité du fil de plomb dans l'huile est double de celle de la chute du tube en U. La course du tube en U est limitée.

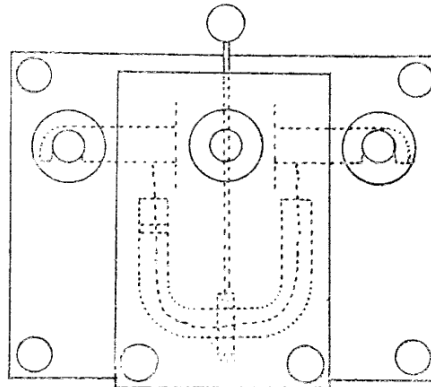


FIG. 77. — Coupe-circuit pour haute tension, système Steele.

Coupe-circuits à cornes pour hautes tensions. — Pour éteindre facilement et rapidement l'arc formé au moment de la fusion d'un coupe-circuit, la *Compagnie générale de Constructions*

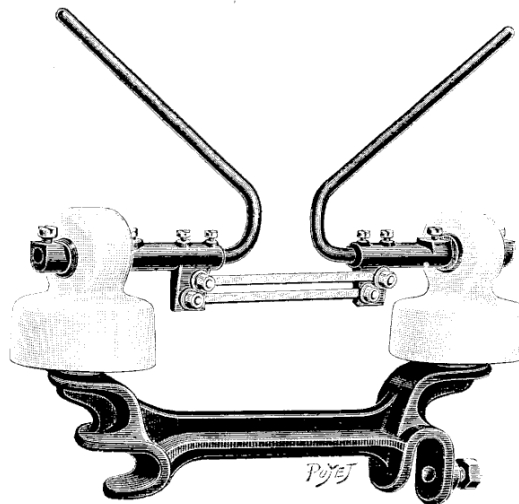
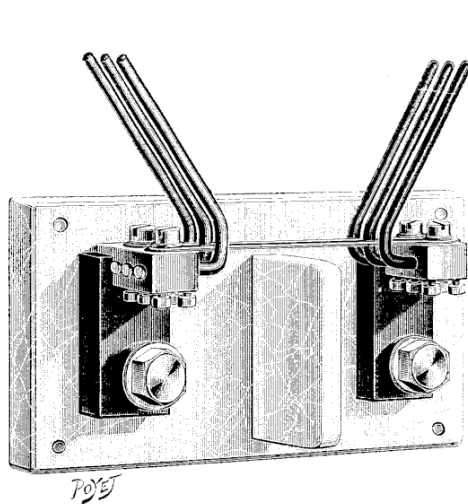


FIG. 78. — Coupe-circuit pour tableau de distribution. — FIG. 79. — Coupe-circuit pour installations extérieures.

Coupe-circuits à cornes de la *Compagnie générale de Constructions électriques*.

électriques dispose le fil fusible *entre* les cornes fig. 78, ou *au-dessous* de cornes fig. 79 en zinc sur lesquelles, au moment de la fusion, l'arc formé vient s'amorcer et s'éteindre par convection, comme dans les parafoudres à cornes de Siemens.

Coupe-circuits à tube pour hautes tensions. — La maison *Brown, Boveri et C^{ie}*, de Baden, dispose le fil fusible dans un tube de porcelaine qui sert de poignée pour sa pose, son enlèvement et son remplacement faciles, et qui constitue en même temps une chambre isolante dans laquelle la fusion du fil se produit sans projections. Ces coupe-circuits se fixent sur des tableaux en marbre ou en fer, à l'aide de deux boulons et de deux écrous (fig. 80).

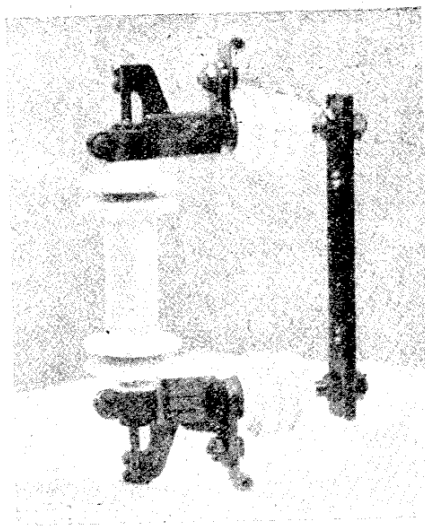
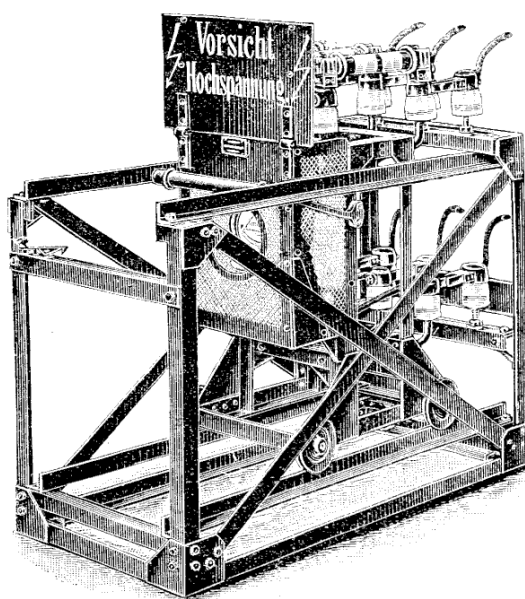


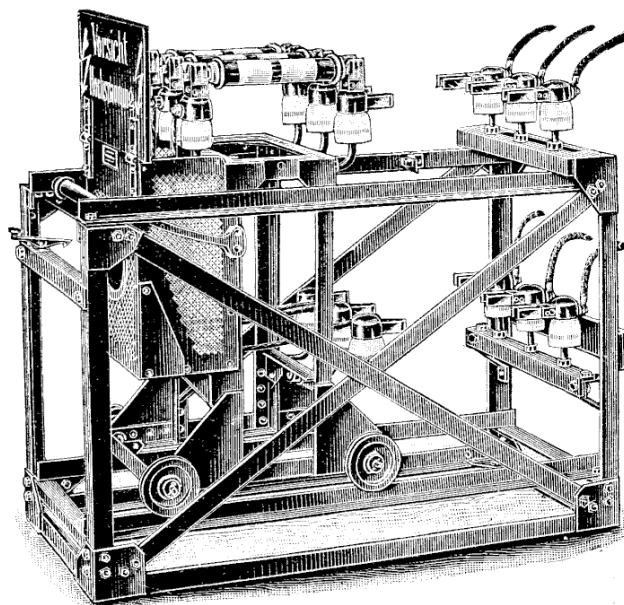
FIG. 80. — Coupe-circuit à tube pour haute tension, de la maison Brown, Boveri et C^{ie}.

Coupe-circuits pour très hautes tensions. — Pour des tensions très élevées, afin de séparer nettement les coupe-circuits de la ligne, l'*Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft* dispose les coupe-circuits sur un chariot (fig. 81), disposé dans un châssis métallique en fer profilé, et que l'on manœuvre à l'aide d'un levier isolant.

En fin de course, le chariot s'enclenche et se trouve immobilisé par un petit ergot monté sur un levier analogue à une clef de Morse, et sur



Fermé.



Ouvert.

FIG. 81. — Coupe-circuits tripolaires pour haute tension de l'*Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft*.

lequel il est nécessaire d'appuyer pour libérer le mouvement du chariot après remplacement des fusibles.

Coupe-circuits de haute tension pour installations extérieures. — Pour les installations à très haute tension, il peut être utile de disposer les coupe-circuits extérieurement aux locaux dans lesquels pénètrent les conducteurs. La figure 82 représente les dispositifs employés dans ce but par la maison *Siemens et Halske*, ainsi que les accessoires, pinces et perche, permettant

d'enlever ces coupe-circuits et de les replacer sans toucher aux appareils en communication avec les tensions élevées.

DISJONCTEURS A MAXIMA

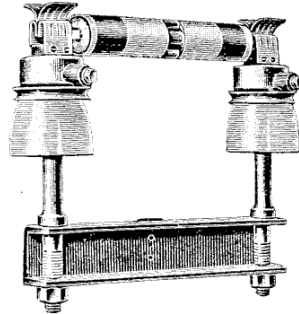
Les disjoncteurs s'emploient pour rompre les circuits automatiquement et permettre de les rétablir facilement et rapidement après que la cause de leur fonctionnement a disparu.

Le disjoncteur est constitué par un électro-aimant traversé par le courant total, devant lequel est une armature maintenue éloignée par un ressort ou un poids antagoniste. Lorsque l'intensité atteint le maximum pour lequel l'appareil a été prévu, l'armature est attirée, elle déclenche un levier qui, sollicité lui-même à son tour par un poids ou un ressort, rompt le circuit en agissant sur un interrupteur approprié.

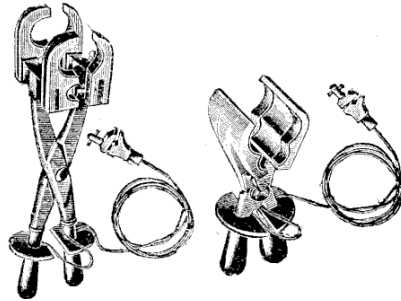
On utilise quelquefois le déplacement du levier pour fermer le circuit d'une sonnerie d'avertissement. Nous reproduisons quelques modèles de ces disjoncteurs à titre d'exemple.

Disjoncteur de sécurité à maxima. — Lorsqu'un disjoncteur a fonctionné, si l'on vient à fermer le circuit avant que le court-circuit ait occasionné le déclenchement du disjoncteur automatique, il peut en résulter des inconvénients pour les dynamos ou pour l'électricien chargé de la manœuvre. La *Compagnie française de Constructions électriques* a combiné un appareil (fig. 83) avec lequel cet inconvénient ne se produit pas. En voici le principe :

Dans la manœuvre à la main, avant que l'enclenchement du disjoncteur se produise, un interrupteur coupe *automatiquement* le courant, de sorte que l'enclenchement du disjoncteur se fait sans aucun danger pour l'électricien.



Coupe-circuit à haute tension (10 000 volts).



Pinces pour coupe-circuits.



Perche pour enlever et placer les coupe-circuits à haute tension.

Fig. 82. — Coupe-circuits pour installations extérieures de la maison Siemens et Halske.

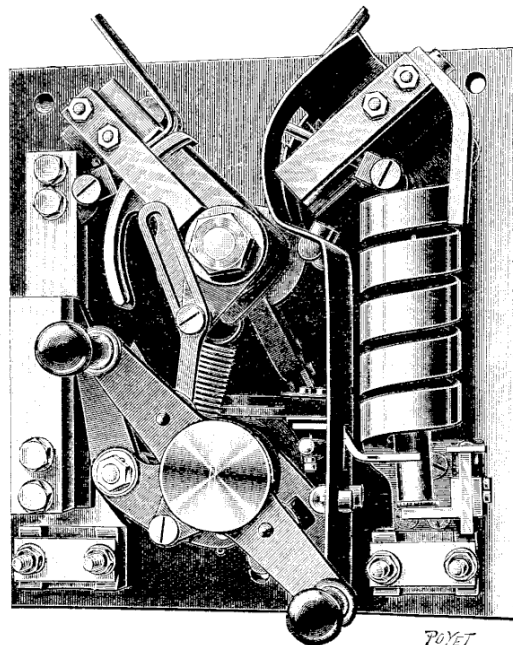


Fig. 83. — Disjoncteur à maxima de la Compagnie française de Constructions électriques.

Le disjoncteur enclenché, l'interrupteur se referme automatiquement, et si le court-circuit avait subsisté sur la ligne, le disjoncteur fonctionnerait de nouveau automatiquement au moment où l'interrupteur se referme.

Cet appareil, étudié plus spécialement pour la traction électrique, peut couper jusqu'à 600 volts. Il est muni d'un pare-étincelles à cornes amovibles en zinc.

Disjoncteur à maxima pour hautes tensions. — Ce dispositif, construit par la *Compagnie générale de Constructions électriques*, est établi pour couper automatiquement des circuits dont les tensions varient entre 3 000 et 10 000 volts. Le disjoncteur, dont le fonctionnement se comprend au simple examen de la figure 84 qui le représente, rompt d'abord, sous l'action de

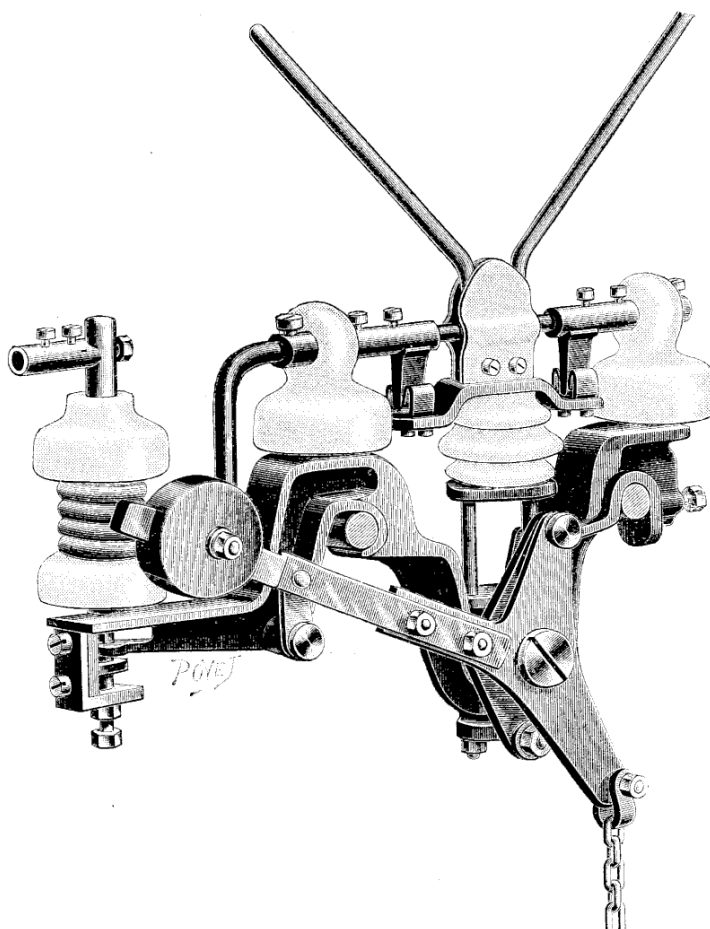


FIG. 84. — Disjoncteur automatique pour haute tension de la Compagnie générale de Constructions électriques.

l'enroulement disposé sur l'isolateur de gauche de la figure 84, les contacts permanents et, un peu plus tard, le contact du pare-étincelles formé par des cornes en zinc et des plaques de même métal qui les réunissent à la partie inférieure. L'arc amorcé sur les cornes s'éteint en se soufflant automatiquement.

L'appareil peut fonctionner également comme interrupteur provoquant à la main, en tirant un levier par une chaîne, le déclenchement qui, d'ordinaire, est actionné par le courant.

Disjoncteur automatique à maxima de la maison Schukert. — Cet appareil (fig. 85) est essentiellement caractérisé par un accouplement mécanique soumis à l'influence du courant, et disposé entre la poignée de l'appareil et les pièces mobiles de contact. Cet accouplement se déclenche automatiquement dès que le courant traversant l'interrupteur a dépassé l'intensité

maxima prévue. Les pièces de contact de l'interrupteur redeviennent libres et sont rappelées violemment dans leur position de repos par un ressort. La figure 86 montre la disposition schématique de l'appareil. Le tube métallique *m*, avec son prolongement cylindrique *t*, forme le support mobile des pièces de contact *c* et *d* de l'interrupteur; sous l'influence d'un ressort *e*, ce support, guidé en *q* et en *r*, tend à remonter et à interrompre ainsi le circuit. Dans le tube est logé librement le noyau de fer doux *h*, qui est muni, à sa partie inférieure, d'un épaulement *x*. Sur la figure 86 le levier se trouve enclenché, position dans laquelle il est retenu, lorsque l'intensité est normale par le cliquet *i*. L'intensité dépasse-t-elle un maximum déterminé, le noyau *h* est attiré vers le haut par le solénoïde que traverse le courant principal; l'épaulement *x* vient frapper contre la saillie *y* du cliquet, et celui-ci dégage le tube, qui remonte alors rapidement et interrompt ainsi le circuit, d'abord par le contact principal *c* et ensuite par le contact auxiliaire *d*, lequel se trouve dans le champ d'un puissant souffleur magnétique. La figure 86 montre

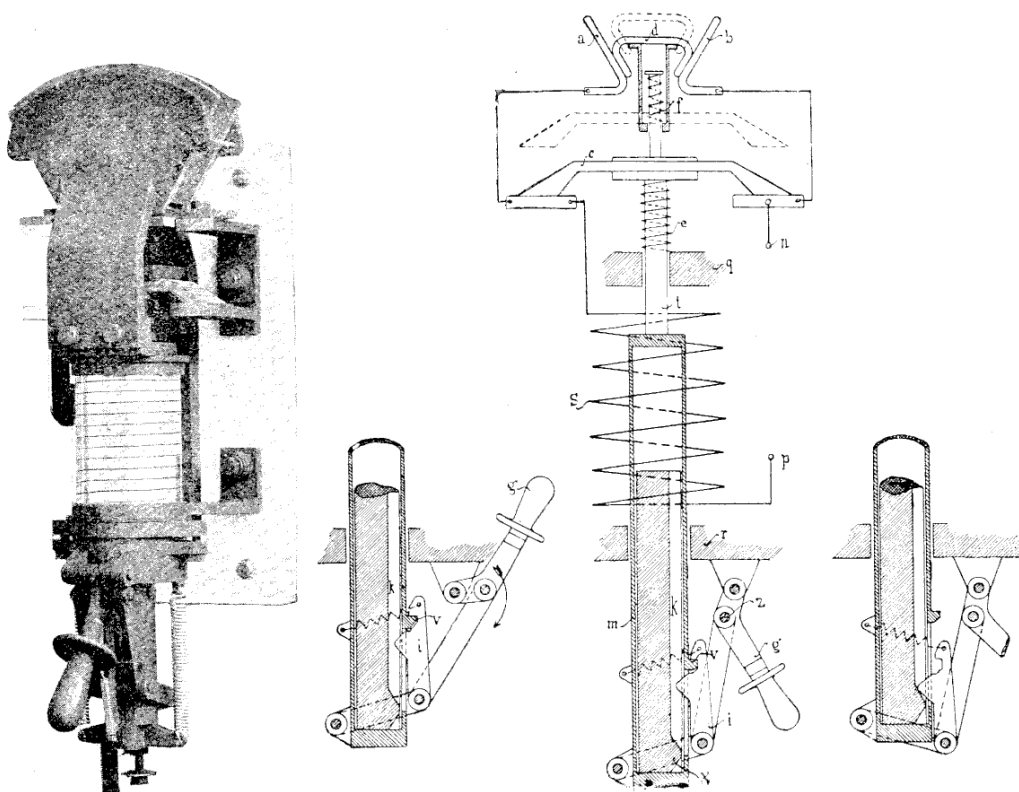


FIG. 85. — Vue d'ensemble.

FIG. 86. — Schéma.

Disjoncteur automatique à maximum de la maison Schuckert.

la position relative de la manette du cliquet et de la pièce intermédiaire après que l'interrupteur automatique a joué. Pour renclencher l'appareil, on ramène d'abord le levier à main dans la position d'ouverture, ce qui remet le cliquet en prise, puis on le retire vers le bas; dans ce mouvement, le cliquet entraîne avec lui le support *t*, qui referme le circuit, d'abord en *d*, puis en *c*, et arme en même temps les ressorts *e* et *f*. Si l'on referme l'interrupteur à la main avant que la cause qui l'a fait fonctionner ne soit supprimée, le circuit s'interrompt aussitôt par le jeu du noyau de fer doux, qui dégage de nouveau le cliquet.

Cette dernière propriété donne à l'interrupteur un sérieux avantage sur les appareils dans lesquels le levier à main est solidaire des pièces de contact, de sorte qu'en enclenchant l'interrupteur à main on rétablit le circuit aussi longtemps que l'on maintient le levier dans sa

position de fermeture. Il est évident que cela suffit pour que des détériorations aient le temps de se produire.

DISJONCTEURS A MINIMA

Le but de ces appareils est de couper un circuit lorsque l'intensité du courant qui le traverse devient trop faible et qu'il y a lieu de craindre une inversion de courant, pour la charge des

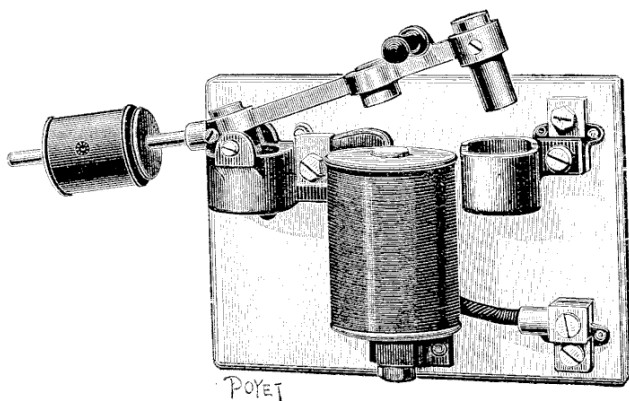


FIG. 87. — Disjoncteur à minima de la Compagnie française de Constructions électriques.

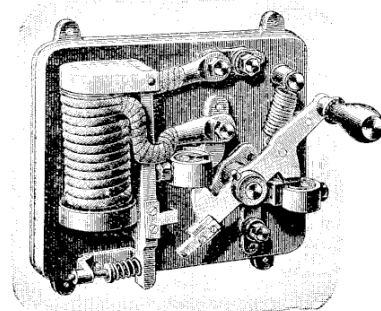


FIG. 88. — Disjoncteur à déclenchement et rupture brusque, de M. Fabius Henrion.

accumulateurs en particulier. Le disjoncteur à minima est constitué, en principe, par un électro-aimant dont le fil est assez gros pour supporter sans chauffer le courant normal. Cet appareil, enclenché à la main, maintient son armature attirée; mais, si le courant descend au-dessous d'une certaine valeur, l'armature, sollicitée par un ressort ou un poids réglable, s'éloigne de

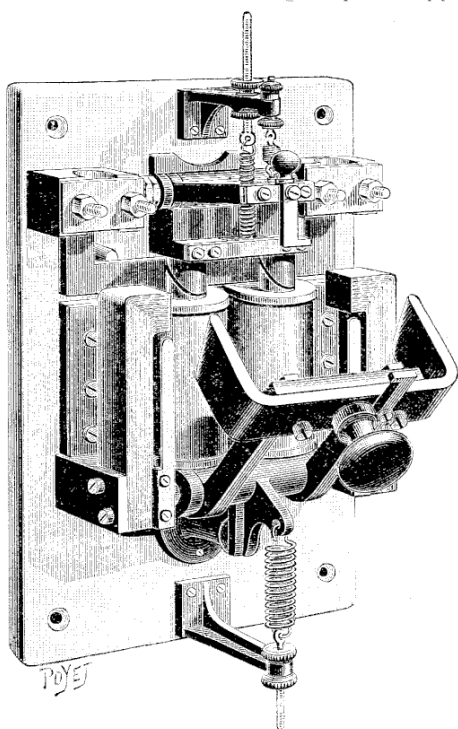


FIG. 89. — Disjoncteur de M. J.-A. Genteur, pour grandes intensités.

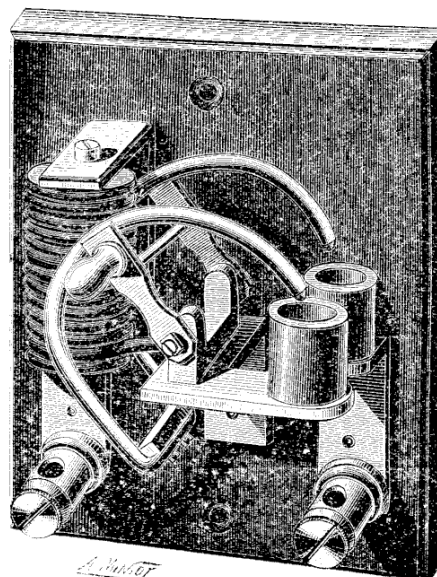


FIG. 90. — Disjoncteur de la Compagnie française d'Appareillage électrique.

l'électro-aimant et rompt le circuit. La rupture se fait directement dans un godet de mercure pour les courants de faible intensité, par un interrupteur à déclenchement pour les courants intenses.

La figure 87 représente le disjoncteur à minima de M. J.-A. Genteil pour courants de 1 à 15 ampères, réglable par un contrepoids. La figure 90 représente le disjoncteur de la *Compagnie française d'Appareillage électrique*.

La figure 88 représente le disjoncteur à déclenchement et rupture brusque de M. Fabius Henrion, de Nancy, avec réglage à ressort.

La figure 89 représente un autre modèle de M. Genteil pour courants très intenses. En modifiant certains détails de construction, l'enroulement de l'électro-aimant et les couplages, l'appareil peut fonctionner à volonté comme disjoncteur à minima, disjoncteur à maxima, et même comme disjoncteur à minima et à maxima.

Les disjoncteurs à minima servent également à couper le circuit de dynamos fonctionnant en dérivation sur un réseau. Ils suppriment du circuit toute dynamo dont, pour une cause quelconque, le courant tendrait à s'inverser.

Disjoncteur à minima de 2 000 ampères. — Pour les très grandes intensités, la *Compagnie française de Constructions électriques* présente l'appareil représenté figure 91 établi pour un courant de 2 000 ampères et une tension de 150 volts. L'électro-aimant qui doit produire le déclenchement est formé d'une barre de cuivre rectangulaire, et l'interrupteur est manœuvré par un

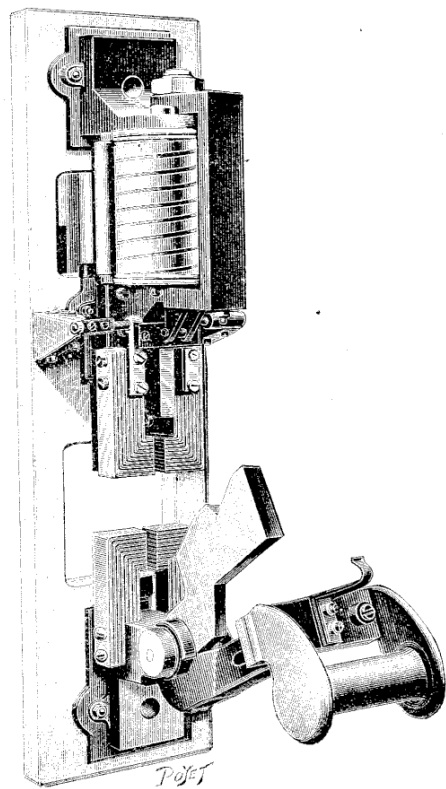


FIG. 91. — Disjoncteur à minima.

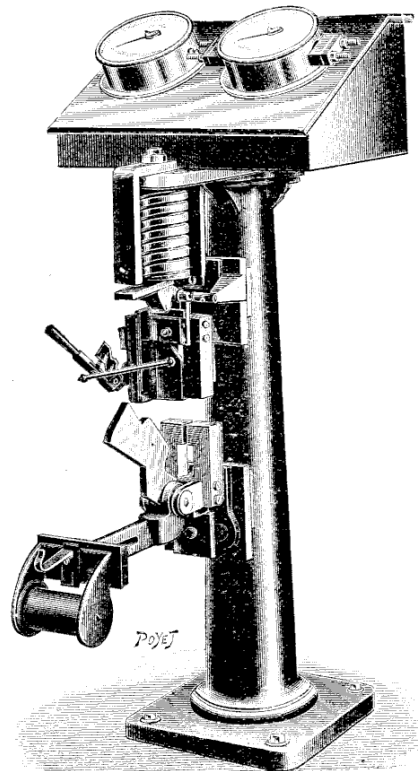


FIG. 92. — Disjoncteur monte sur colonne de commande.

Disjoncteur pour 2 000 ampères de la Compagnie française de Constructions électriques.

pois, qui, en basculant, dégage brusquement le plot en cuivre des balais de contact entre lesquels il établit la communication. L'interruption se fait en quatre points à la fois, et l'étincelle de rupture se produit sur un pare-étincelles facilement renouvelable.

La figure 92 représente un disjoncteur à minima de 2 000 ampères disposée en une colonne de commande portant un voltmètre et un ampèremètre montés sur un pupitre destiné à recevoir les feuilles de service. Le disjoncteur est complété par un interrupteur d'excitation solidaire.

risé avec le disjoncteur, de telle façon que l'on ne puisse fermer le disjoncteur, si le circuit d'excitation n'est pas lui-même préalablement fermé, et qu'une fois le disjoncteur fermé, il soit impossible d'ouvrir le circuit d'excitation, afin d'éviter une fausse manœuvre.

CONJONCTEURS-DISJONCTEURS

Les dispositions de ces appareils remplissant alternativement les deux fonctions varient avec les problèmes à résoudre.

Le conjoncteur-disjoncteur automatique de M. *Fabius Henrion* de Nancy (*fig. 93*) est étudié pour l'éclairage électrique des usines employant des accumulateurs sans machine spéciale pour la charge.

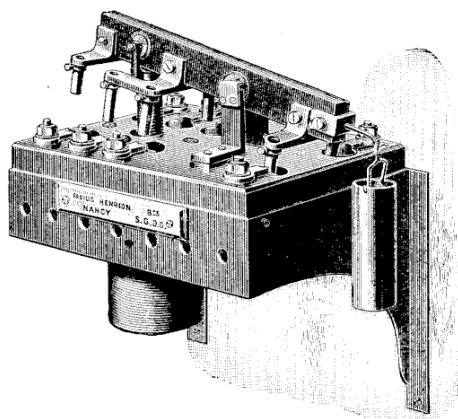


FIG. 93. — Conjoncteur-disjoncteur de M. Fabius Henrion.

Lorsque la dynamo fonctionne, le conjoncteur-disjoncteur divise la batterie en deux moitiés et la monte en dérivation sur la dynamo pour la charge. Lorsque la machine s'arrête, l'appareil couple les deux batteries en tension, les sépare de la dynamo et les met sur le circuit d'éclairage. Il n'y a ainsi aucune interruption. Ce résultat est obtenu à l'aide d'un basculeur soumis, d'un côté, à l'action d'un solénoïde à fil fin monté en dérivation sur les bornes de la dynamo, et, de l'autre côté, à un contrepoids réglable par de la grenaille de plomb.

Les commutations se font par des tiges de

cuivre plongeant dans des godets de mercure.

Dans la charge en quantité, on intercale deux rhéostats de réglage dans chacune des deux batteries, afin de régler et d'égaliser la charge.

Le conjoncteur-disjoncteur de M. *Féry* (*fig. 94*), construit par M. *Ducretet*, met la batterie en circuit sur la dynamo, lorsque la tension de celle-ci est suffisante pour la charge, et rompt le circuit automatiquement, lorsque le courant devient trop faible pour changer utilement la batterie. Cet appareil est constitué, en principe, par deux bobines convenablement intercalées dans le circuit et agissant sur une armature qui commande un interrupteur à mercure.

La bobine A se place généralement dans le circuit d'excitation; on peut aussi la placer en dérivation aux bornes de la dynamo ou bien encore, lorsque la machine est loin du tableau de distribution et reliée à celui-ci par des câbles conducteurs, on peut prendre la dérivation aux bornes d'attache de ces câbles sur le tableau de distribution; cette bobine A constitue la partie conjonctive de l'appareil; quel que soit le mode de liaison employé; elle polarise les pièces polaires C, C' et attire par conséquent la palette de fer doux M, mobile à l'intérieur de la bobine B, avec une force proportionnelle à la force électromotrice de la dynamo. Par suite de cette attraction, le circuit de charge se ferme en N par le godet à mercure D; à ce moment la tension de la machine baisse et l'attraction de A diminue; mais la bobine B, entrant en action, maintient l'attraction en polarisant dans le sens convenable la palette de fer doux, M.

Supposons que, pour une cause quelconque, la force électromotrice de la dynamo aille en diminuant; il arrivera un moment où elle sera sensiblement égale à celle de la batterie; à ce moment il ne passera rien ou à peu près dans la bobine B; son action sur la palette sera donc sensiblement nulle. D'autre part, l'action attractive de A diminuera et, par suite, deviendra insuffisante pour maintenir attirée la palette de fer doux; le ressort R, qui équilibre l'action de A, produira la disjonction. Comme il ne passe alors dans la bobine B qu'un courant différentiel de faible intensité, la rupture aura lieu avec une faible étincelle.

La mise en charge et la rupture se produisent donc automatiquement au moment voulu.

Supposons même que le ressort R ne produise pas la disjonction à l'instant voulu, le courant se renversera dans la bobine B; par suite, les pôles de la palette changeant de signe, l'attraction se change en une répulsion qui, s'ajoutant à l'action du ressort R, assure la rupture du courant. Le commutateur de charge peut être fermé soit avant, soit après la mise en marche de la dynamo, la charge de la batterie se produira toujours sans crainte de renversement de courant.

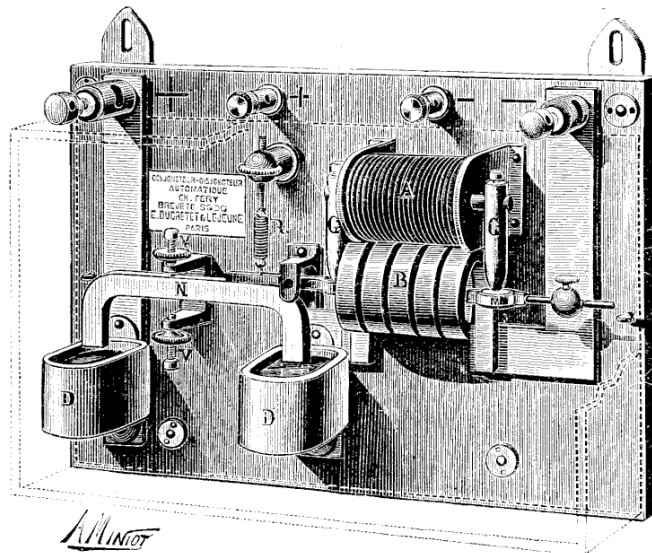


FIG. 94. — Conjoncteur-disjoncteur de M. Féry.

Dans certaines installations, la partie disjonctive automatique est seule indispensable; même dans ce cas particulier, l'appareil spécialement construit pour cette application présente les mêmes avantages que le conjoncteur-disjoncteur ordinaire: 1° Rupture du courant quand sa valeur est très faible; 2° Sécurité absolue, le courant ne pouvant jamais se renverser sur la dynamo. On le dispose alors en conservant seulement la partie disjonctive, et le contact sur la butée V peut être employé à allumer une lampe de couleur ou à mettre en action une sonnerie électrique servant d'avertisseur.

PROTECTEURS

Les protecteurs jouent, par rapport aux courants intenses ou de haute tension, un rôle analogue à celui que jouent les parafoudres contre les décharges atmosphériques. Ils ont pour objet de protéger les appareils contre les courants trop intenses, et les personnes contre de hautes tensions intempestives, accidents provoqués par des contacts intempestifs entre réseaux aériens, ruptures et chutes de fil, ou défaut d'isolement.

Appareil de mise à la terre des installations à courants alternatifs. — Le but de cet appareil est de rendre la distribution de courants de haute tension d'une sécurité absolue pour le consommateur. Il a été établi tout spécialement pour répondre aux exigences du *Board of Trade* (Bureau du Commerce anglais), imposées aux Compagnies de distribution, et figurait dans la section anglaise. Il est dû à M. Cardew.

L'appareil se compose de deux disques en métal isolés l'un de l'autre: le disque inférieur porte une feuille mince en aluminium. Le disque supérieur est relié au fil secondaire ou fil de l'abonné; le disque inférieur est à la terre. Les disques et leurs ressorts de contact sont renfermés dans une robuste boîte en fonte.

Dans le cas où l'isolation du transformateur viendrait à faillir, ou un contact entre les bobines primaire et secondaire à s'établir, la charge statique développée sur le disque attire

instantanément l'une des extrémités de la feuille vers la plaque supérieure, mettant ainsi le circuit à la terre, et rend l'installation parfaitement inoffensive. La pratique a démontré qu'une augmentation de courant survenant dans le circuit primaire détruit instantanément le

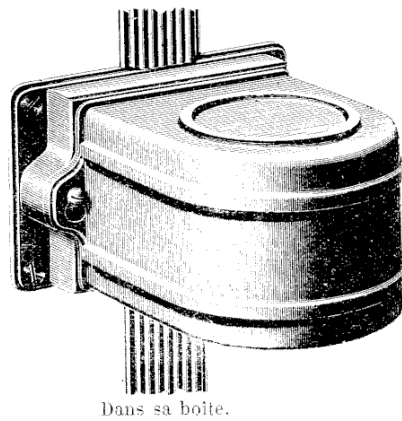
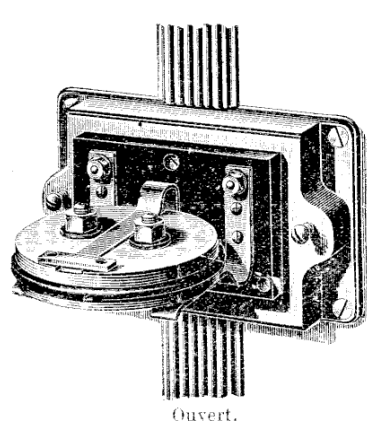


FIG. 95. — Appareil de mise à la terre de M. Cardew.

coupe-circuit principal et isole l'installation de la conduite d'alimentation; mais, dans le cas d'un circuit exceptionnellement bien isolé, l'éclairage n'en souffrirait aucunement, pourvu qu'il n'existe aucun danger pour le consommateur. Cette méthode automatique de mise à la terre du circuit secondaire au moment requis est de beaucoup préférable à l'ancienne méthode, consistant à relier, d'une façon permanente, les fils du consommateur à la terre, et laquelle causait une fatigue sévère à l'isolation des circuits, tout en pouvant convertir une faible fuite en une cause d'incendie. L'appareil de mise à terre réduit considérablement les risques d'incendie, tout en prévenant les accidents de personnes.

Appareil de mise à la terre de Steele. — Cet appareil a pour but de protéger un circuit de distribution à basse tension d'un contact avec le circuit à haute tension. Il a pour effet de mettre le réseau secondaire à la terre lorsque le contact se produit et que la différence de potentiel excède une limite prévue, 400 volts, par exemple. L'appareil (*fig. 96*) se compose d'une petite boîte en fonte dans laquelle est placé un interrupteur; cet interrupteur est relié d'un côté à la terre et de l'autre côté à l'installation; il est sollicité à se fermer par un ressort, mais il est retenu par un petit fil d'argent disposé de telle manière que, si ce fil d'argent vient à fondre, l'interrupteur se ferme immédiatement. Ce fil d'argent est relié d'un côté à la terre et de l'autre côté à une pièce métallique séparée de la ligne par un isolant et tel qu'il se perce au-dessus de 400 volts; il est réalisé par

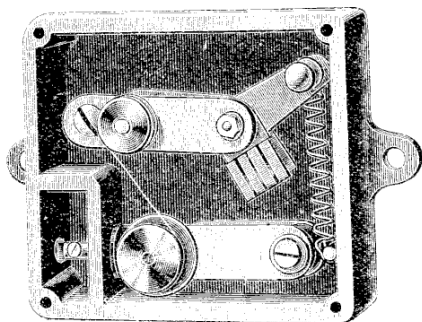


FIG. 96. — Appareil de mise à la terre de Steele.

une petite feuille de mica mise entre deux pastilles de cuivre; l'une des pastilles de cuivre tient le fil et l'autre est reliée à l'installation; ces deux pastilles ne sont donc séparées que par cette feuille de mica; l'épaisseur de cette feuille de mica est convenablement établie, et, à quelques centièmes de millimètre, son réglage se fait facilement au moyen d'un micromètre. De plus, cette petite feuille de mica est percée de quelques trous d'aiguille convenablement répartis.

Les deux pastilles de cuivre la feuille de mica sont enfermées dans un enduit de caoutchouc, de façon que l'air extérieur ne puisse pénétrer et que, par conséquent, il ne puisse y avoir défaut d'isolement.

Ce petit dispositif simple est absolument sûr comme fonctionnement; avec l'habitude, on arrive à régler l'épaisseur du mica de façon que l'isolement saute à 10 volts près.

Coupe-circuit magnétique pour faibles intensités. — Pour protéger les appareils télégraphiques et téléphoniques des courants internes provenant de la rupture redoutable d'un fil de transmission d'énergie, d'un fil de trolley, etc., on intercale sur le circuit de l'appareil à protéger un coupe-circuit qui doit fonctionner avec sécurité dès qu'une très faible intensité le traverse. Les feuilles ne sont pas toujours assez sensibles, les disjoncteurs automatiques introduisent dans le circuit une impédance souvent gênante. Pour remédier à ces inconvénients, M. Ch.-Ed. Guillaume a imaginé un coupe-circuit original construit par la *Compagnie française d'Appareillage électrique* et représenté figure 97. Cet appareil est basé sur les propriétés de certains alliages de fer-nickel de perdre entièrement leurs propriétés magnétiques à une certaine température et de les retrouver intégralement, dès que la température s'abaisse. L'appareil est constitué par une spirale de fer-nickel traversée par le courant du circuit à protéger montée sur un axe qui lui permet de pivoter. Dans la position ordinaire, la spirale, lestée par un demi-disque métallique, est maintenue dans la position de fermeture par un aimant en \cap contre les pôles duquel la spirale vient s'appliquer.

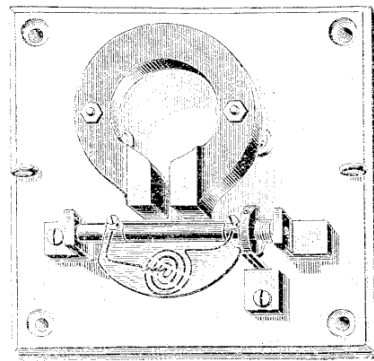


FIG. 97. — Coupe-circuit magnétique, système de M. Ch.-Ed. Guillaume.

Si le courant augmente d'intensité d'une façon anormale pour une cause accidentelle, la spirale s'échauffe, perd ses propriétés magnétiques, bascule autour de l'axe sur lequel elle est montée et interrompt le circuit qui se trouvait fermé par un petit frotteur à balai disposé sur la droite. Il suffit, pour refermer le circuit, de soulever le demi-disque qui leste la spirale en fer-nickel et lui sert de support. En variant le diamètre du fil de la spirale, on peut varier l'intensité du courant qui provoque l'interruption. Le modèle exposé fonctionnait pour une intensité de 4 centièmes d'ampère.

Protecteurs à fusibles. — Pour protéger les lignes télégraphiques et téléphoniques contre

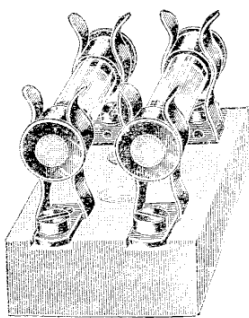


FIG. 98. — Protecteur pour 550 volts.

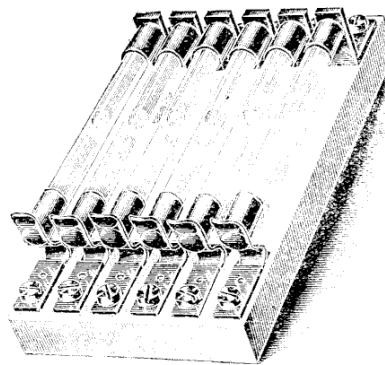


FIG. 99. — Protecteur pour 6 000 volts.

des courants intenses accidentels provenant de courts-circuits ou de dérivations, l'*Algemeine Electricitäts Gesellschaft* établit des coupe-circuits pour tension jusqu'à 550 volts fig. 98 ou jusqu'à 6000 volts fig. 99. Ces coupe-circuits, montés dans des cartouches, rendent le changement des protecteurs très facile après fusion des fils. Ils fonctionnent entre 0,25 et 4 ampères, suivant la grosseur du fil et la nature des appareils à protéger.

Appareil de protection pour les lignes aériennes à haute tension. — Lorsqu'un fil relié à un générateur à potentiel élevé se rompt, il constitue, en tombant à terre, un grand danger pour ceux qui viendraient à le toucher accidentellement.

Pour parer à ce danger, la *Compagnie générale de Constructions électriques* présentait deux dispositifs. Le premier consiste à disposer sur chaque poteau une ferrure spéciale (*fig. 100*), reliée au sol et qui le met à la terre avant qu'il ait touché le fil. Le second dispositif (*fig. 101*) est formé par un tube isolant dans lequel pénètrent deux broches reliées aux extrémités du fil, qui se trouve coupé, mais relié électriquement par du mercure renfermé dans le tube isolant. Dans les conditions normales, le tube est maintenu horizontal, et la communication assurée par le mercure. Si le fil vient à se rompre, le tube s'incline, le mercure se porte à l'une des extrémités, interrompt la communication et rend le fil *mort*.

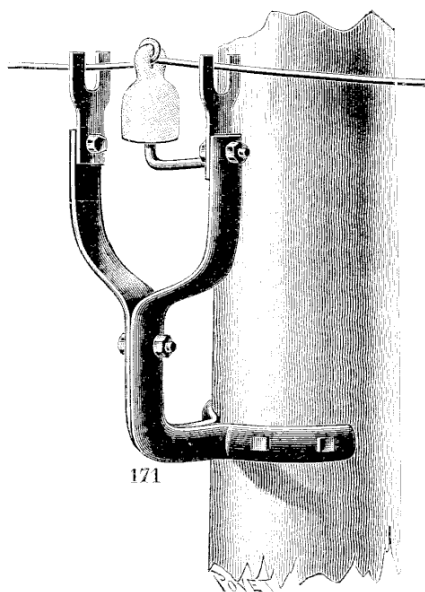


FIG. 100. — Dispositif de mise à la terre automatique d'un fil aérien au moment de sa rupture, jusqu'à 250 volts.



FIG. 101. — Isolateur automatique coupant la communication d'un fil avec le générateur électrique au moment de sa rupture, jusqu'à 150 volts.

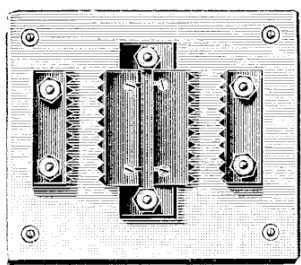
L'emploi de ce second système se recommande pour les lignes à haute tension coupant des voies départementales ou communales. Il peut d'ailleurs s'employer concurremment avec le premier. Pour que la traction du fil ne s'exerce pas directement sur l'appareil de coupure automatique, on le monte sur des isolateurs à l'aide de fils tendeurs qui supportent l'effort mécanique.

PARAFONDRES

Les parafoudres ont pour but d'offrir aux décharges électriques de l'atmosphère un passage facile à la terre, ce qui protège les installations à l'usine et chez les consommateurs.

Les dispositifs employés varient à l'infini avec les tensions des appareils eux-mêmes et la nature des appareils à protéger.

Dès que les tensions sont un peu élevées, la dérivation créée par la décharge atmosphérique amorce un courant qui tend à persister et qu'il faut anéantir, étouffer le plus rapidement possible afin d'éviter la destruction des parafoudres, une interruption dans le service, et, éventuellement, la destruction des appareils générateurs.



193

FIG. 102. — Parafoudre à peignes.

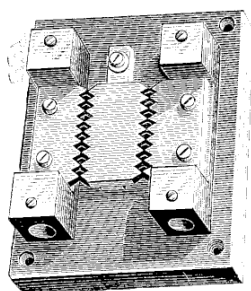


FIG. 103.

Parafoudre à peignes réglables.

Parafoudres à peignes. — Ces parafoudres ne conviennent qu'aux lignes courtes alimentées par courants de faible tension. Nous en reproduisons des modèles présentés par la *Compagnie française d'Appareillage électrique* (*fig. 102*) et la *Compagnie française de Constructions électriques* (*fig. 103*).

Parafoudres à disques. — Pour des tensions de 700 à 800 volts, on peut employer des disques en laiton ou en zinc superposés et séparés par des disques isolants. Le disque supérieur est relié à la ligne et le disque inférieur à la terre. L'arc amorcé par la décharge atmosphérique se soufle de lui-même, grâce aux propriétés d'étouffement des métaux employés (fig. 104).

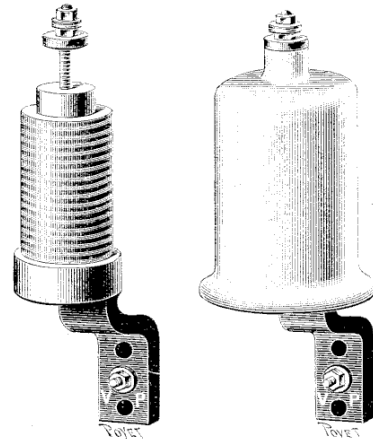


FIG. 104. — Parafoudre à disques de la Compagnie française d'Appareillage électrique.

Parafoudres à cylindres. — Ces appareils utilisent, comme les parafoudres à disque, les propriétés d'étouffement de l'arc électrique des alliages renfermant du zinc. Le type exposé par la maison *Ganz et C^{ie}*, de Budapest (fig. 105), est constitué par plusieurs cylindres en bronze montés sur deux prismes en marbre et laissant entre eux des espaces d'air de quelques millimètres. Les cylindres peuvent tourner autour d'axes en marbre. Après le coup de foudre, on peut tourner dans un autre sens les parties brûlées par la décharge atmosphérique, de sorte qu'il y a toujours des surfaces propres et non endommagées en regard les unes des autres.

L'extinction de l'arc se fait automatiquement par les vapeurs métalliques qui se forment sous l'action de l'arc momentané.

Le nombre des cylindres est déterminé par la tension de service. Le modèle exposé a neuf cylindres, en sorte qu'on peut l'employer à basse tension jusqu'à 500 volts aussi comme parafoudre tripolaire. En ce cas, on réunit le cylindre du milieu et les deux cylindres extérieurs

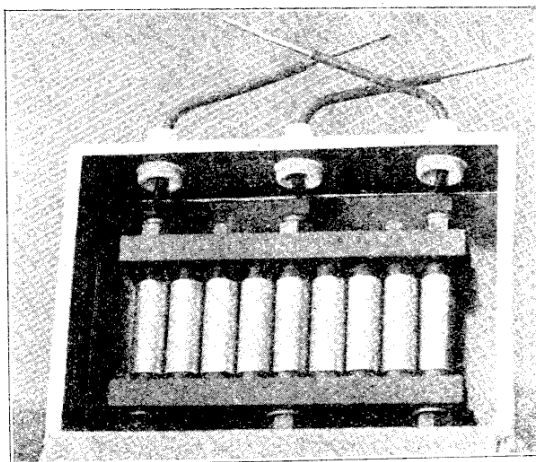


FIG. 105. — Parafoudre à cylindres.

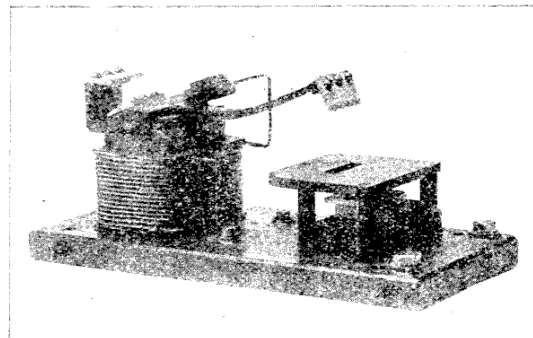
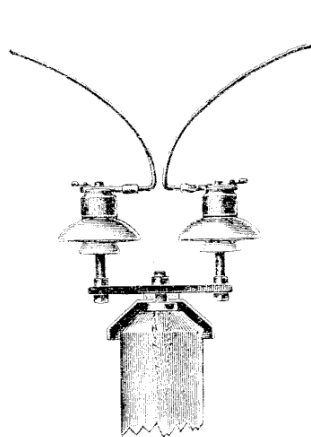


FIG. 106. — Parafoudre électromagnétique.

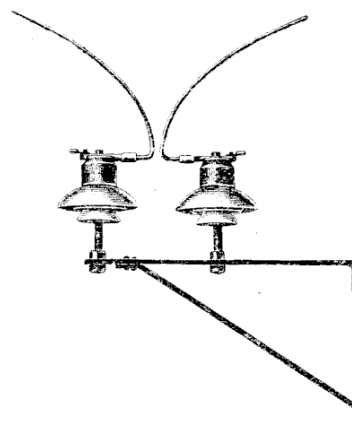
aux trois conducteurs à protéger, tandis que les troisièmes cylindres, à partir des extrémités, sont reliés à la terre. A 3 000 volts, on ne l'emploie que comme parafoudre unipolaire, en reliant un cylindre extérieur à la canalisation, l'autre à la terre. L'appareil est protégé contre la poussière par une boîte de tôle émaillée.

Il se compose d'un levier à bras double aux deux extrémités duquel sont des pièces métalliques dentées, et, en outre, sur le bout gauche, encore une pièce de fer doux. Vis-à-vis de la pièce métallique droite, c'est-à-dire au-dessous d'elle, il y a une autre pièce métallique reliée à la canalisation. Dans la figure, cette pièce est recouverte d'une plaque en marbre horizontale.

par la fente de laquelle passe la pièce mobile. Le fer doux forme culasse de l'électro-aimant, dont la bobine est reliée d'un côté à la terre, de l'autre au levier par un ruban en cuivre flexible.



Monture sur poteau.



Monture sur console.

FIG. 107. — Parafoudre à cornes Siemens et Halske.

Si la bobine est sans courant, les parties métalliques dentées sont, des deux côtés, si près l'une de l'autre, qu'il n'y a entre elles qu'un espace de quelques millimètres. Si la foudre

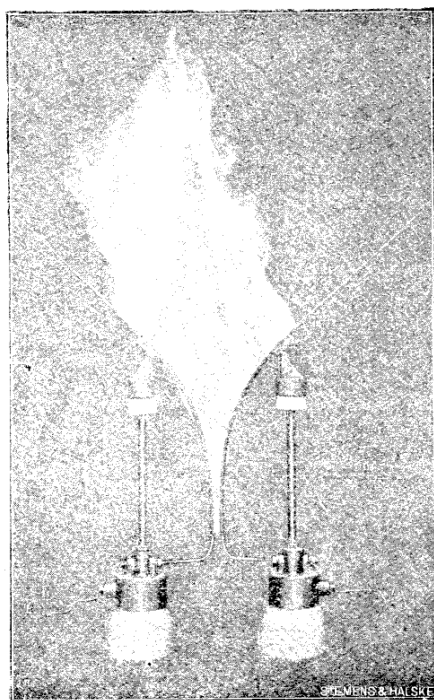


FIG. 108. — Photographie continue.

Parafoudre à cornes amorcé sur une différence de potentiel de 10 000 volts.

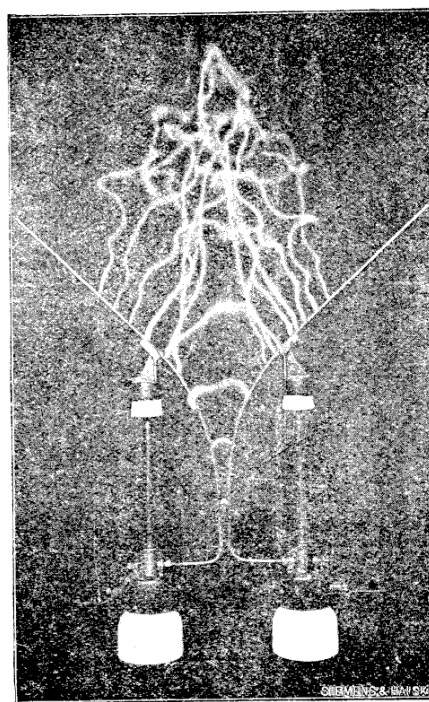


FIG. 109. — Photographie discontinue.

frappe la canalisation, elle saute par l'entrefer de droite, court le long du levier et va en partie directement sautant par l'entrefer de gauche, en partie par la bobine de l'électro-

aimant à la terre. La bobine, sous l'action du courant de la foudre, attire le fer doux, et la partie métallique droite se trouve, grâce au rapport des leviers, soulevée rapidement. Les arcs éventuellement formés aux deux bouts sont ainsi énergiquement éteints. Du côté droit, l'interruption est facilitée par la plaque de marbre. Le parafoudre de gauche ne sert qu'à la protection de la bobine de l'électro-aimant.

Parafoudre à cornes de la maison Siemens et Halske. — Ce parafoudre *fig. 107*, aujourd'hui très répandu, est constitué par deux cornes en arrière dont l'une est relevée au fil aérien à protéger et l'autre à la terre. La distance entre la base des cornes est calculée d'après la tension de la ligne. L'arc éventuellement amorcé par la foudre se rompt automatiquement par connection en produisant une grande flamme que la maison *Siemens et Halske* reproduisait artificiellement à l'Exposition, à l'aide d'un transformateur spécial. La figure 108 représente la flamme d'un amorçage sur 10.000 volts photographiée directement. La figure 109 représente la même flamme photographiée à travers un disque tournant à grande vitesse devant l'objectif et portant un grand nombre de fentes démontrant ainsi le mouvement progressif de l'étincelle de bas en haut.

Parafoudre à cornes de l'A. E. G. — Dans ce modèle (*fig. 110*), le courant principal traverse quelques spires enroulées autour d'un noyau magnétique qui a pour objet de souffler magné-

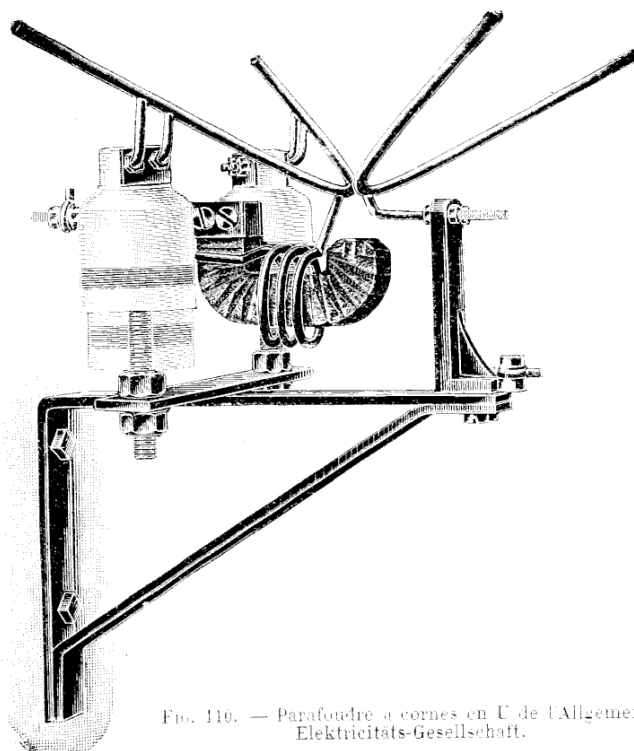


FIG. 110. — Parafoudre à cornes en U de l'Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.

tiquement l'étincelle. La distance des doubles cornes peut varier, à la base, entre 5 et 15 mm ; mais il ne faut pas descendre au-dessous de 8 mm, si l'appareil n'est pas protégé contre la pluie qui pourrait amorcer l'arc.

Dans les endroits couverts, il faut au moins 1,5 m de hauteur entre les pointes des cornes et le plafond, afin d'éviter l'incendie que pourraient amorcer les étincelles au moment de la

décharge. La bobine magnétisante, intercalée dans le circuit du côté des appareils à protéger, présente l'avantage d'offrir une impédance considérable aux décharges atmosphériques dont la fréquence est très élevée.

Parafoudre pour système série. — Comme dans la distribution en série, il n'y a le plus souvent que deux lignes à protéger, on se contente de brancher sur chaque pôle un ou plusieurs parafoudres à fonctionnement automatique (*fig. 111*). Les étincelles peuvent être extrêmement longues, vu l'élévation de la tension; il faut donc rompre brusquement la dérivation à la terre; les peignes des parafoudres sont, dans ce but, montés sur un long bras mobile actionné par un électro-aimant. L'arc qui se produit est ainsi rapidement coupé par l'écartement du bras.

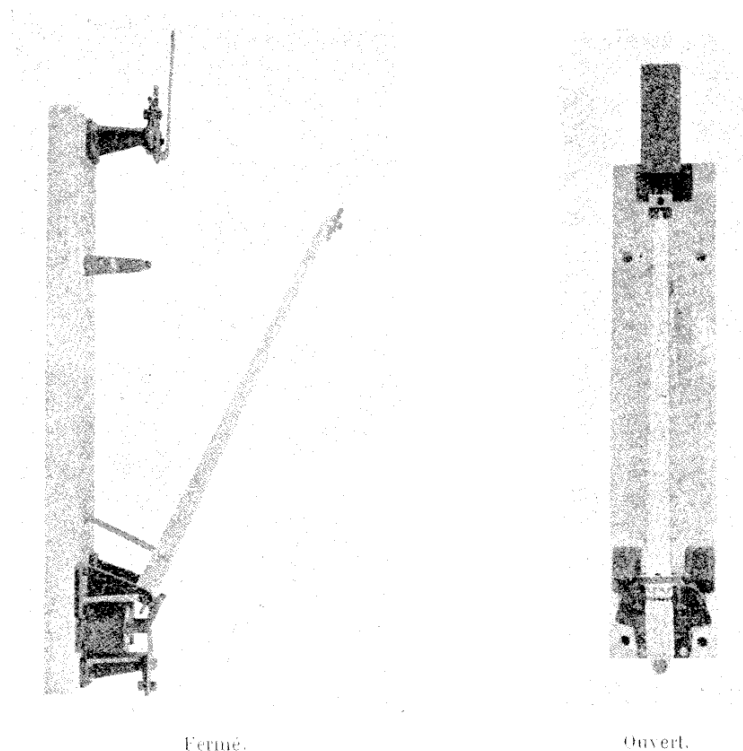


FIG. 111. — Parafoudre pour système série de M. R. Thury.

Dans les stations génératrices, il convient de placer un certain nombre de ces appareils, trois ou quatre, sur chacune des lignes, afin d'éviter le danger résultant d'une décharge atmosphérique pendant qu'un bras reprend sa position normale.

La protection de chaque moteur est généralement assurée par trois parafoudres automatiques, dont deux communiquent avec le sol et ont leurs peignes réglés à une distance en rapport avec la tension totale utilisée, ce qui évite une trop grande fréquence des décharges. Le troisième parafoudre n'est pas relié au sol; il est branché directement entre les pôles, dans le but de protéger le moteur et ses appareils contre certaines décharges circulatoires, qui peuvent provoquer le fonctionnement intempestif du by-pass, ou même détériorer les isolements du moteur ou de ses accessoires.

TABLE DES MATIÈRES

I. — CANALISATION

Conducteurs

Cuivre.....	3
Aluminium.....	3
Conducteurs divers.....	4

Isolants

Ambroïne.....	4
Stabilité.....	4
Amiante vulcanisée.....	5
Micanite.....	5
Toile de micanite.....	5
Micanite recouverte de papier japonais.....	5
Toile huilée.....	5
Papier japonais.....	5
Cornite.....	5
Vitrite.....	5
Carton comprimé lustré (Presspahn).....	5
Carton comprimé lustré micronisé.....	5
Amiante durcie.....	5
Pyrostat.....	5
Papier d'amiante.....	6
Carton durci et laqué.....	6
Fibre vulcanisée.....	6
Phalaxite.....	6
Verre moulé.....	6
Opaline.....	6
Porcelaine.....	6

Lignes aériennes

Poteaux métalliques, système Joya.....	7
Poteaux métalliques, système André.....	7

Câbles industriels

7

Câbles sous plomb

8

Câbles isolés au jute imprégné.....	8
Câbles à haute tension.....	9
Câbles de fleuves et de mines.....	11

Accessoires de canalisation

Appareils de raccordement.....	11
Manchons de jonction et de direction.....	11
Boîtes de distribution.....	12
Boîtes de raccordement.....	12
Boîtes d'intervention.....	12

II. — APPAREILLAGE

APPAREILS DE MANŒUVRE

Interrupteurs à main

Interrupteurs à basse tension.....	14
Interrupteurs à tension moyenne.....	15
Interrupteurs à haute tension.....	17
Interrupteur à huile.....	21
Interrupteurs à antennes.....	21
Interrupteurs à rupture liquide.....	22
Interrupteurs de court-circuit pour système série.....	23

Interrupteurs à distance

Interrupteur de courant primaire.....	24
Interrupteur à distance pour courants alternatifs.....	26
Interrupteur électro-pneumatique.....	29

Commutateurs. — Inverseurs. — Déviateurs

Commutateurs.....	30
Inverseurs à haute tension.....	31
Déviateurs.....	32

Interrupteurs automatiques

Interrupteur pour ascenseurs.....	32
Interrupteur à inversion.....	33
By-pass automatique pour système série.....	34
Déclencheur automatique de vitesse.....	34
Déclencheur automatique par inversion.....	35

APPAREILS DE CONTRÔLE

Indicateurs

Indicateurs de tension.....	35
Indicateur d'équilibre.....	36
Indicateur de fin de charge d'accumulateurs.....	36

APPAREILS DE RÉGLAGE

Rhéostats

Rhéostats ordinaires.....	36
Rhéostats émaillés.....	37
Rhéostat-disjoncteur pour charge d'accumulateurs.....	38
Rhéostats liquides.....	39
Rhéostats spéciaux.....	39

Régulateurs automatiques	
Régulateur automatique de tension.....	40
Régulateur Thury	41
Rhéostat automatique Blathy.....	43
Réducteurs	
Réducteurs simples et doubles.....	43
Réducteur pour 4 000 ampères.....	44
APPAREILS DE SÉCURITÉ	
Coupe-circuits	
Fusibles	46
Coupe-circuits pour 220 volts.....	46
Coupe-circuits fusibles amovibles.....	47
Coupe-circuits pour haute tension	48
Coupe-circuits pour très hautes tensions	50
Disjoncteurs à maxima	51
Disjoncteurs à minima	54
Conjoncteurs-disjoncteurs	56
Conjoncteur-disjoncteur de M. Fabius Henrion.....	56
— — Féry.....	57
Protecteurs	
Appareils de mise à la terre des installations à courants alternatifs.....	57
Coupe-circuit magnétique pour faibles intensités.....	59
Protecteurs à fusibles.....	59
Appareils de protection pour les lignes aériennes à haute tension.....	60
Parafoudres	
Parafoudres à peignes.....	60
— à disques	61
— à cylindres.....	61
— à cornes	63
— pour système série.....	64