Conditions d’utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d’œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s’inscrit dans le cadre de la loi nº 78-753 du 17 juillet 1978 :

- **la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue (Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr)**
- **la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l’objet d’une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.**

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- **les reproductions de documents protégés par le droit d’auteur, uniquement consultables dans l’enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l’autorisation préalable du titulaire des droits.**

4- Pour obtenir la reproduction numérique d’un document du Cnum en haute définition, contacter cnum(at)cnam.fr

5- L’utilisateur s’engage à respecter les présentes conditions d’utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d’une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d’utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	**Exposition universelle. 1905. Liège**
Auteur(s) secondaire(s)	**Montpellier, Jules-Armand (1848-19..) ; Sartiaux, Eugène (1850-1920)**
Titre	**L'électricité à l'Exposition universelle et internationale de Liège (1905)**
Adresse	**Paris : H. Dunod et E. Pinat libraires-éditeurs ; Bruxelles : Ramlot frères et soeurs libraires-éditeurs, 1906**
Collation	**1 vol. (XXX-494-[2] p.) : ill. ; 26 cm**
Nombre de vues	**528**
Cote	**CNAM-BIB 8 Xae 623**
Sujet(s)	**Exposition internationale (1905 ; Liège) ; Industries électriques -- 1870-1914 ; Électricité -- 1870-1914**
Thématique(s)	**Énergie** **Expositions universelles**
Typologie	**Ouvrage**
Langue	**Français**
Date de mise en ligne	**12/03/2025**
Date de génération du PDF	**12/03/2025**
Notice complète	https://www.sudoc.fr/106252313
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE623

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De la part du Président
du Groupe N (Section Française)
à l'Exposition de Liège

E Sartiaux

BIBLIOTHÈQUE
DU CONSERVATOIRE NATIONAL
des ARTS & MÉTIERS
No du Catalogue 8° Xae 1
Prix — Estimation : 18 f
Entré le 30 8bre 1906.

L'Électricité à l'Exposition

UNIVERSELLE ET INTERNATIONALE

de Liége (1905)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TOURS, IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

V° 849 8° Xae 623

L'Électricité à l'Exposition UNIVERSELLE et INTERNATIONALE de Liége (1905)

PAR

J.-A. MONTPELLIER

RÉDACTEUR EN CHEF DE L' « ÉLECTRICIEN »

RAPPORTEUR GÉNÉRAL DU GROUPE DE L'ÉLECTRICITÉ

AVEC UNE INTRODUCTION

Par Eug. SARTIAUX

PRÉSIDENT DU COMITÉ DU GROUPE V (ÉLECTRICITÉ) A L'EXPOSITION DE LIÉGE

SECTION FRANÇAISE

PARIS

H. DUNOD ET E. PINAT

LIBRAIRES-ÉDITEURS

49, Quai des Grands-Augustins, 49

BRUXELLES

RAMLOT FRÈRES ET SŒURS

LIBRAIRES-ÉDITEURS

25, rue Grétry, 25

1906

Droits de traduction et de reproduction réservés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

INTRODUCTION

A l'occasion du 75e anniversaire de la proclamation de son indépendance, la Belgique avait organisé à Liège une Exposition Universelle et Internationale qui s'est ouverte au mois d'avril 1905.

Cette Exposition, qui couvrait une étendue de plus de 70 hectares, comprenait cent palais, pavillons ou installations diverses, représentant un ensemble d'espaces couverts de plus de 130000 mètres carrés, avec 14000 exposants appartenant à 32 nations étrangères.

La France, qui avait participé à l'émancipation de la Belgique en lui apportant le secours de ses armes, ne pouvait faire autrement que de donner elle-même son concours à cette manifestation si imposante.

La section française occupait plus de 32000 mètres carrés de superficie avec un peu plus de 8000 exposants. « Jamais participation française dans aucune autre exposition en pays étranger n'a atteint de pareils chiffres », a dit l'un des représentants du Gouvernement français[1], dans un des nombreux banquets auxquels les Français ont assisté.

M. Trouillot, Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, désigna M. F. Chapsal, Directeur du Commerce et de l'Industrie, comme Commissaire général du Gouvernement français à Liège, et confia au Comité français des Expositions à l'étranger l'organisation générale de la Section Française.

Plus tard, M. Trouillot fut remplacé par M. Dubief qui confirma l'organisation de son prédécesseur.

C'est sous la haute direction des personnalités dont les noms suivent que fut organisée la section française.

1. M. Chapsal, Commissaire Général.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

COMMISSAIRE GÉNÉRAL DU GOUVERNEMENT FRANÇAIS

M. F. Chapsal, Maître des requêtes honoraire au Conseil d'État, Directeur du Commerce et de l'Industrie.

COMITÉ D'ORGANISATION DE LA SECTION FRANÇAISE

M. Pinard (A.), président;
M. Layus (Lucien), premier vice-président;
MM. Hetzel (Louis), Dehaitre (Fernand), Sartiaux (Eugène), Rives (Gustave), Poupinel (Paul), Turpin (Henry), Grüner (Édouard), Legrand (Charles), Perdoux (Léon), Lefebvre (Georges), Boin (Georges), Général Ricq, vice-présidents;
M. Morel (François), secrétaire général;
M. Grodet, trésorier;
M. E.-Ch. de Montarnal, architecte en chef de la Section française.

CLASSIFICATION

La classification générale de l'Exposition de Liège comportait 21 groupes et 128 classes.

Le groupe V était affecté à l'Électricité et comprenait 5 classes, savoir :

Classe 23. — Production et utilisation mécanique de l'Électricité;
Classe 24. — Électrochimie;
Classe 25. — Éclairage électrique;
Classe 26. — Télégraphie et téléphonie;
Classe 27. — Applications diverses de l'Électricité.

Organisation du groupe de l'Électricité. — Le Comité français des Expositions à l'étranger, d'accord avec le Commissaire Général, confia à un Comité spécial l'organisation et l'installation du Groupe de l'Électricité.

Ce Comité se subdivisa lui-même en cinq comités de classes correspondant aux divisions ci-dessus indiquées.

Voici la composition de ces différents Comités :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

GROUPE V. — ÉLECTRICITÉ

Comité d'organisation et d'installation

COMITÉ DE GROUPE

Président : M. Sartiaux (Eugène), ingénieur électricien.

Secrétaire général : M. Robard (René), ingénieur, administrateur délégué de la Société l'Eclairage électrique.

Secrétaire-rapporteur : M. Holzschuch (Jacques), ingénieur, inspecteur des services techniques de l'exploitation de la Compagnie des Chemins de fer du Nord.

Trésorier : M. Mascart (Léon), directeur de la Société des établissements Henry Lepaute.

Architecte : M. Guillaume (Albert).

CLASSE 23

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Président : M. Javaux (Émile), administrateur-directeur de la Société Gramme.

Vice-président : M. Bernheim (Edmond), administrateur délégué de la Société d'Applications industrielles.

Rapporteur : M. Bachelier (Émile), directeur général de la Compagnie générale de distribution d'énergie électrique.

Secrétaire : N...

Membres : MM. Hillairet (André), ingénieur constructeur; — Harlé (Émile), ancien ingénieur des Ponts et Chaussées, associé gérant de la maison Sautter Harlé et Cie; — Leblanc (Maurice), ingénieur électricien, conseil de la Société anonyme Westinghouse; — Labour (Édouard), directeur technique de la Société « l'Éclairage électrique »; — Loménie (Ch. de), administrateur de la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston; — Le Chatelier (Louis), ingénieur des Mines, président du Conseil d'administration de la Société française de constructions mécaniques (anciens établissements Cail); — Risler (Gustave), ingénieur des Arts et Manufactures, directeur à la Société industrielle des Téléphones; — Simonet (Jules), directeur général de la Société de Constructions électriques et de Traction « la Française Électrique ».

CLASSE 24

ÉLECTROCHIMIE

Président : M. Bancelin (Edme), ingénieur électricien.

Vice-présidents : M. Bethmont, administrateur de la Société d'Électro-métallurgie de Dives; — M. Street (Charles), administrateur délégué de la Société anonyme « le Carbone ».

Rapporteur : M. Dary (Georges), rédacteur à la Direction de l'Enseignement scientifique au Ministère de l'Instruction publique, secrétaire de la rédaction de *l'Électricien*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Secrétaire : M. Lavezzari (André), administrateur de la Compagnie française de l'accumulateur « Aigle », directeur des ateliers Frielmann.

Membres : MM. Bergès (Georges), constructeur électricien ; — Comberousse (Denis), sous-directeur général de la Société anonyme des Manufactures de glaces et produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Cirey ; — Gall (Henri), administrateur de la Société d'électrochimie ; — Geoffroy (Eugène), manufacturier (câbles) ; — Getting (Édouard), administrateur directeur de la Compagnie française de charbons pour l'électricité ; — Gin (Gustave), administrateur délégué de la Société des procédés Gin pour la métallurgie électrique ; — Grosjean (Albert), directeur et fondé de pouvoirs de la maison Leclanché et Cie ; — Keller (Charles), directeur technique de la Compagnie électro-thermique Keller, Leleux et Cie ; — La Ville le Roulx (Pierre de), directeur de la Société pour le travail électrique des métaux ; — Leclanché (Maurice), administrateur de la maison Leclanché et Cie ; — Worms (Jacques), ingénieur de la Société le Carbone.

CLASSE 25

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Président : M. Cance (Alexis), ingénieur électricien, associé de la maison Cance et fils et Cie.

Vice-président : Friésé (Paul), architecte, ingénieur civil.

Rapporteur : Guinier (Édouard), constructeur électricien, fabricant de bronzes d'art et d'éclairage.

Secrétaire : Zetter (Charles), directeur de la Compagnie d'appareillage électrique Grivolas, Sage et Grillet.

Membres : MM. Bardon (Louis), constructeur électricien. — Beau (Henri), entrepreneur d'éclairage électrique, fabricant de lustres d'art ; — Bénard (Henri), ingénieur de la maison Barbier, Bénard et Turenne, constructeurs de phares ; — Cahen (Émile), directeur général de la Société d'électricité et d'automobiles Mors ; — Cance fils, constructeur électricien ; — Courtois (Gabriel), directeur de l'usine de constructions électriques de la Société industrielle des Téléphones ; — Nelson-Uhry (Emmanuel), ingénieur à la Compagnie anonyme Westinghouse, administrateur de la Compagnie française des Perles électriques Weissmann ; — Roux (Gaston), directeur du Bureau de Contrôle des installations électriques ; — Silva (André), constructeur électricien, de la maison Paz et Silva ; — Véry (Hector), constructeur électricien ; — Védovelli (Édouard), administrateur délégué de la Compagnie générale de constructions électriques ; — Weissmann (Gustave), administrateur de la Compagnie française des Perles électriques Weissmann.

CLASSE 26

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

Président : M. Mildé (Charles), ingénieur électricien.

Vice-président : M. Meyer-May (Albert), directeur du Service des Constructions électriques à la Société industrielle des Téléphones.

Rapporteur : M. Dennery (Alfred), ingénieur des Postes et des Télégraphes.

Secrétaire : M. Darras (Alphonse), ingénieur constructeur.

Membres : MM. Burgunder (Alfred), constructeur électricien ; — Conrad (Georges), directeur de la Verrerie de Folembray (Aisne) ; — Ducousso (Th.), ingénieur ; — Laroze, ingénieur des Postes et Télégraphes ; — Mambret (Georges), constructeur d'instruments de précision ; — Parvillée (Achille), ingénieur constructeur ; — Pasquet, sous-chef de bureau au sous-secrétariat d'État des Postes et Télé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

graphes; — Rochefort (Octave), directeur technique du service d'exploitation des brevets Rochefort (Société Mors); — Viardot (Charles), directeur de l'Association coopérative productive des ouvriers en instruments de précision.

CLASSE 27

APPLICATIONS DIVERSES DE L'ÉLECTRICITÉ

Président : M. Dumont (Georges), ingénieur, président de l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail.

Vice-président : M. Richard (Jules), ingénieur, constructeur d'appareils de précision.

Rapporteur : M. Clerc (Louis), chef de l'exploitation du secteur Edison.

Secrétaire : M. Gaiffe (Georges), ingénieur-électricien, constructeur.

Membres : MM. Adnet (Émile), Instruments de chimie; — Arnoux (René), ingénieur constructeur de la maison Chauvin et Arnoux; — Baignères (François), sous-ingénieur des Services techniques de l'exploitation des chemins de fer de l'Est; — Brocq (François), directeur de la Compagnie des compteurs et matériel d'usines; — Charliat (Alexandre), ingénieur des Arts et Manufactures, directeur de l'École pratique d'électricité industrielle; — Chateau (Cyprien), constructeur, de la maison Château frère et Cie, constructeurs mécaniciens; — Ducretet (Eugène), constructeur électricien; — Montpellier (Jules), rédacteur en chef de l'*Électricien*, inspecteur adjoint au directeur de l'École professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes; - Radiguet (Arthur), constructeur d'instruments pour les sciences, de la maison Radiguet et Massiot; — Schuler (Paul), ingénieur de la Compagnie continentale Edison.

Installation. — La Section d'Électricité était installée partie dans la Halle des Machines, partie dans les Halles de l'Industrie.

L'énergie électrique, destinée à distribuer l'éclairage et la force motrice dans l'étendue de la Section française, était fournie par des groupes électrogènes appartenant aux maisons ci-après : Sautter, Harlé et Cie, — Société d'Applications industrielles et MM. Weyher et Richemond, — Société l'Éclairage Électrique et MM. Delaunay-Belleville, — Société anonyme Westinghouse et la Société française de constructions mécaniques, — Société Égyptienne d'Électricité, — la Française Électrique, — la Société Gramme.

Les groupes électrogènes pouvaient fournir, à pleine charge, environ 3000 kilowatts soit en courant continu, soit en courants alternatifs triphasés à haute tension, transformés en courant alternatif à basse tension. Deux tableaux de distribution parfaitement installés à proximité de ces groupes répartissaient ces courants dans les diverses classes de la Section française où pouvaient être allumées plus de 2000 lampes à incandescence de 5, 10, 16 ou 32 bougies, ainsi que 150 lampes à arc. Cet éclairage était réparti dans les deux Salons de France, dans le Salon de la Couture, dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la Section de Photographie, dans les attractions de la Classe des Industries accessoires du vêtement et dans le Cinématographe des Chemins de fer français. Le nombre des moteurs électriques qui actionnaient diverses machines n'était pas inférieur à cinquante.

Les exposants du Groupe de l'Électricité étaient au nombre de 153; leurs installations occupaient 620 mètres carrés dans la Halle des Machines et 1 050 mètres carrés dans les Halles de l'Industrie, soit au total près de 1 700 mètres carrés.

Un certain nombre de maisons de construction avaient bien voulu mettre gracieusement à la disposition du Président du Groupe le matériel et les appareils ci-après :

Les *conducteurs nus*, pour les conducteurs de haute et de basse tension, avaient été prêtés par la Compagnie des Tréfileries du Havre (anciens établissements Lazare Weiller);

Les *câbles isolés*, pour les circuits à haute et à basse tension, par la Compagnie India Ruber, la Compagnie Générale de Constructions électriques, MM. G. et H.-B. de La Mathe, MM. Geoffroy et Delore, M. A. Grammont, la Société alsacienne de Constructions mécaniques et la Société industrielle des Téléphones;

Les *transformateurs* du courant à haute tension en basse tension, par la Société d'Applications Industrielles, la Société « l'Éclairage électrique » et la Société Gramme;

Les *tableaux de distribution* à haute et à basse tension, par la Société d'appareillage électrique Grivolas et la Société industrielle des Téléphones.

La Société française de constructions mécaniques (anciens Établissements Cail) et la Société anonyme Westinghouse, la Société « l'Éclairage électrique » et la Société anonyme des Établissements Delaunay-Belleville, avaient obligeamment donné dans leur stand le terrain nécessaire pour recevoir les deux tableaux ci-dessus.

Les *appareils de mesure*, par MM. Carpentier, Chauvin et Arnoux, la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, MM. Graindorge et Jules Richard;

Les *compteurs*, par la Compagnie française des compteurs Aron, la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, la Compagnie anonyme Continentale pour la fabrication des compteurs;

Les *interrupteurs* et *coupe-circuit* des branchements à basse tension, par la Société d'Appareillage électrique Grivolas;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les *interrupteurs, coupe-circuit et disjoncteurs* à haute tension, par la Société industrielle des Téléphones;

Les *appareils de mise à la terre et les parafoudres* des lignes à haute tension, par la Société « l'Éclairage Électrique »;

Les *appareils téléphoniques*, par MM. Ch. Mildé fils et Cie et la Société industrielle des Téléphones.

En outre, la Compagnie française des Perles électriques Weissmann, MM. Paz et Silva et M. H. Véry avaient prêté et installé à leurs frais les trois portiques décoratifs et lumineux installés aux entrées principales du groupe.

La maison Barbier, Bénard et Turenne avait mis à la disposition du Comité les phares qui éclairaient l'entrée de l'Exposition, et la maison Bisson, Bergès et Cie un certain nombre de lampes de son système pour éclairer la salle du cinématographe des chemins de fer français.

Le mobilier du Salon provenait de MM. A.-F. Dupont et Cie; les menuiseries, les tentures, les peintures, les tapis et les écussons avaient été fournis et posés par la maison Wallart et la frise décorative, par M. Lacoste.

Enfin, M. E. Herbet, ingénieur principal, secondé par M. Brüll, ingénieur adjoint, avait été chargé de l'organisation matérielle de l'Exposition du groupe V. Nous tenons à les remercier du concours dévoué qu'ils n'ont cessé, pendant toute la durée de l'Exposition, de prêter au Président et aux exposants eux-mêmes.

Je ne dois pas non plus oublier notre éminent architecte M. Guillaume, dont le concours si précieux a permis de donner à l'Exposition du groupe un cachet artistique particulièrement remarqué.

JURY DES RÉCOMPENSES

Par arrêté en date du 18 juillet 1905, M. le Ministre du Commerce désigna, pour faire partie du Jury du groupe V, les personnalités ci-après :

CLASSE 23

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Titulaires. — MM. Harlé (Emile), constructeur (maison Sautter-Harlé), à Paris; — Javaux (Emile), administrateur, directeur de la Société Gramme, à Paris

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Expert. — M. Simonet [1] (Jules), ingénieur, directeur général de la « Française Electrique », à Paris.

CLASSE 24

ÉLECTROCHIMIE

Titulaires. — MM. Bethmont (Daniel), administrateur de la Société l'Electro-Métallurgie de Dives à Paris; — Fredet (Henri), ingénieur, constructeur d'accumulateurs électriques au sulfhydrate d'ammoniaque, à Brignoud (Isère).
Expert. — M. Leclanché (Maurice), électricien, à Paris.

CLASSE 25

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Titulaire. — M. Sartiaux (Eugène), ingénieur électricien, à Paris.
Suppléant. — M. Robard (René), ingénieur administrateur de la Société « l'Eclairage Electrique », à Paris.
Expert. — M. Cance (Alexis), électricien, à Paris.

CLASSE 26

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

Titulaire. — M. Meyer-May (Albert), directeur du service des constructions électriques à la Société industrielle des téléphones, à Paris.
Suppléant. — M. Pasquet, sous-chef de bureau au Sous-Secrétariat des Postes et des Télégraphes, à Paris.
Expert. — M. Darras (Alphonse), ingénieur constructeur, à Paris.

CLASSE 27

APPLICATIONS DIVERSES DE L'ÉLECTRICITÉ

Titulaires. — MM. Dumont (Georges), ingénieur à Paris ; — Richard (Jules), ingénieur constructeur à Paris; — Mascart (Léon) fils, directeur de la Société des établissements Henry Lepaute, à Paris ; — Holzschuch (Jacques), ingénieur des Arts et Manufactures, inspecteur des services techniques de l'Exploitation de la Compagnie des Chemins de fer du Nord, à Paris.

Les membres du Jury se rendirent à Liège, au commencement du mois d'août, pour se réunir à leurs collègues des autres nations et constituer le Jury international des récompenses.

Ce Jury fut définitivement établi de la manière suivante :

CLASSE 23

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ

Belgique. — Président : M. Gérard (Ernest), inspecteur général, chef du cabinet du Ministre des Chemins de fer, Postes et Télégraphes, à Bruxelles.
Allemagne et France. — Vice-présidents : MM. Dr Feldmann (Clarence), professeur à l'Académie royale technique à Delft ; — Harlé (Emile), constructeur (maison Sautter-Harlé), à Paris.

1. Les experts ont été choisis par le jury de chaque classe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Belgique. — Secrétaire rapporteur : M. L'Hoest (Gustave), ingénieur en chef, inspecteur de direction à l'Administration des Chemins de fer de l'Etat, à Bruxelles.

JURÉS TITULAIRES

Angleterre. — M. le baron de Calwaert, à Liège.

Belgique. — MM. Dulait (Julien), ingénieur administrateur gérant de la Société anonyme de Constructions électriques de Charleroi, à Montigny-le-Tilleul, près Charleroi ; — Pieper (Henri), administrateur délégué, directeur général de la Société anonyme, la Compagnie internationale d'électricité, à Liège.

France. — M. Javaux (Emile), ingénieur, directeur de la Société Gramme, à Paris.

Suède. — M. Wikander, à Dusseldorf.

JURÉS SUPPLÉANTS

Belgique. — MM. Mélotte (Félix), ingénieur, directeur technique des ateliers Jaspar à Liège ; — Piérard (Emile), ingénieur principal à l'Administration des télégraphes, professeur à l'Université libre de Bruxelles, à Bruxelles.

EXPERT

France. — M. Simonet (Jules), ingénieur, directeur général de « la Française Électrique », à Paris.

CLASSE 24

ÉLECTROCHIMIE

France. — Président : M. Bethmont (Daniel), administrateur de la Société l'Electro-Métallurgie de Dives, à Paris.

Belgique. — Vice-président : M. Gillon (G.), professeur à l'Université catholique de Louvain, à Louvain.

France. — Secrétaire rapporteur : M. Fredet (Henri), ingénieur électricien, à Brignoud (Isère).

JURÉ TITULAIRE

Belgique. — M. Alker (Ch.), ingénieur électricien, à Bruxelles.

JURÉ SUPPLÉANT

Belgique. — M. Laneau (Maurice), ingénieur civil des mines, ingénieur électricien, à Bruxelles.

EXPERT

France. — M. Leclanché (Maurice), industriel électricien, fondateur de la Maison Leclanché et Cie, à Paris.

CLASSE 25

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

France. — Président : M. Sartiaux (Eugène), ingénieur électricien, à Paris.

Allemagne. — Vice-président : M. le Dr Wedding, professeur à l'Académie royale technique, à Charlottenburg.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Belgique. — Secrétaire rapporteur : M. Henrion (Albert), ingénieur en chef du service du gaz et de l'électricité de la ville de Liège, à Liège.

JURÉ TITULAIRE

Belgique. — M. Bède (Émile), ingénieur, ancien professeur à l'Université de Liège, à Bruxelles.

JURÉS SUPPLÉANTS

Belgique. — M. Lagomblé (Édouard), ingénieur électricien de la ville de Bruxelles, à Bruxelles.

France. — M. Robard (René), ingénieur, administrateur de la Société « l'Eclairage électrique », à Paris.

EXPERT

France. — M. Cance (Alexis), constructeur électricien, de la maison Cance et fils et Cie, à Paris.

CLASSE 26

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

Belgique. — Président : M. Lambotte (Lucien), ingénieur en chef, directeur du service à l'Administration des télégraphes, à Liège.

Angleterre et France. — Vice-présidents : MM. Boulvin (Roch), ingénieur, à Bruxelles ; Meyer-May (Albert), directeur du service des Constructions électriques, à la Société industrielle des Téléphones, à Paris.

Belgique. — Secrétaire rapporteur : M. Roosen (Alfred), ingénieur en chef, inspecteur de direction à l'Administration des Télégraphes, à Bruxelles.

JURÉ TITULAIRE

Allemagne. — M. le Dr Berger, ingénieur des télégraphes, à Berlin-Reichspostamt.

JURÉS SUPPLÉANTS

Belgique. — M. Dussart (C.), ingénieur à l'Administration des Télégraphes, à Liège.

France. — M. Pasquet (Louis), sous-chef de bureau au Sous-Secrétariat d'Etat des Postes et Télégraphes, à Paris.

EXPERT

France. — M. Darras (Alphonse), ingénieur constructeur, à Paris.

CLASSE 27

APPLICATIONS DIVERSES DE L'ÉLECTRICITÉ

France. — Président : M. Dumont (Georges), ingénieur électricien, à Paris.

Belgique. — Vice-président : M. Libert (Joseph), inspecteur général des mines et ingénieur électricien, à Liège.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Belgique et France. — Secrétaires rapporteurs : MM. De Bast (Omer), ingénieur, sous-directeur de l'Institut Montefiore, à Liège ; — Holzschuch (Jacques), ingénieur des Arts et Manufactures, inspecteur des Services techniques de l'Exploitation de la Compagnie des Chemins de fer du Nord, à Paris.

JURÉS TITULAIRES

Allemagne. — M. le Dr Wirtz, professeur à l'Académie technique, à Darmstadt.
France. — MM. Mascart (Léon) fils, directeur de la Société des Etablissements Henry Lepaute, à Paris ; — Richard (Jules), ingénieur constructeur, à Paris.

JURÉ SUPPLÉANT

Belgique. — M. Colard (Oscar), ingénieur des télégraphes, chargé de cours à l'Université de Gand, à Bruxelles.

La liste des récompenses, dressée par les jurys de classes avec un soin tout particulier, fut examinée par le Jury de Groupe, constitué ainsi qu'il suit :

LISTE DES MEMBRES DU JURY DU GROUPE V

BUREAU

Belgique. — Président : M. Gérard (Ernest), inspecteur général, chef du Cabinet du Ministre des Chemins de fer, Postes et Télégraphes, à Bruxelles, président du Jury de la Classe 23.
Allemagne et France. — Vice-présidents : MM. le Dr Wedding, professeur à l'Académie royale technique, à Charlottenburg, vice-président du Jury de la classe 25 ; — Sartiaux (Eugène), ingénieur électricien, à Paris, président du Jury de la classe 25.
Belgique. — Secrétaires rapporteurs : MM. L'Hoest (Gustave), ingénieur en chef, inspecteur de direction à l'Administration des Chemins de fer de l'Etat, à Bruxelles, secrétaire-rapporteur du Jury de la classe 23 ; — Roosen (Alfred), ingénieur en chef, inspecteur de direction à l'Administration des Télégraphes, à Bruxelles, secrétaire rapporteur du Jury de la classe 26.

MEMBRES

CLASSE 23

Belgique. — Président : M. Gérard (Ernest), inspecteur général, chef du Cabinet du Ministre des Chemins de fer, Postes et Télégraphes, à Bruxelles.
Allemagne et France. — Vice-présidents : MM. Dr Feldmann (Clarence), professeur à l'Académie royale technique, à Delft ; — Harlé (Emile), constructeur (maison Sautter-Harlé), à Paris.
Belgique. — Secrétaire rapporteur : M. L'Hoest (Gustave), ingénieur en chef, inspecteur de direction à l'Administration des Chemins de fer de l'État, à Bruxelles.

CLASSE 24

France. — Président : M. Bethmont (Daniel), administrateur de la Société l'Electro-Métallurgie de Dives, à Paris.
Belgique. — Vice-président : M. Gillon (G.), professeur à l'Université catholique de Louvain, à Louvain.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

France. — Secrétaire rapporteur : M. Fredet (Henri), ingénieur électricien, à Brignoud (Isère).

CLASSE 25

France. — Président : M. Sartiaux (Eugène), ingénieur électricien, à Paris.

Allemagne. — Vice-président : M. le Dr Wedding, professeur à l'Académie royale technique, à Charlottenburg.

Belgique. — Secrétaire rapporteur : M. Henrion (Albert), ingénieur en chef du service du gaz et de l'électricité de la ville de Liège, à Liège.

CLASSE 26

Belgique. — Président : M. Lambotte (Lucien), ingénieur en chef, directeur du service à l'Administration des Télégraphes, à Liège.

Angleterre et France. — Vice-présidents : MM. Boulvin (Roch), ingénieur à Bruxelles; — Meyer-May (Albert), directeur du service des Constructions Electriques, à la Société industrielle des téléphones, à Paris.

Belgique. — Secrétaire rapporteur : M. Roosen (Alfred), ingénieur en chef, inspecteur de direction à l'Administration des Télégraphes à Bruxelles.

CLASSE 27

France. — Président : M. Dumont (Georges), ingénieur électricien, à Paris.

Belgique. — Vice-président : M. Libert (Joseph), inspecteur général des mines et ingénieur électricien, à Liège.

Belgique et France. — Secrétaires rapporteurs : MM. De Bast (Omer), ingénieur, sous-directeur de l'Institut Montefiore, à Liège ; — Holzschuh (Jacques), ingénieur des Arts et Manufactures, inspecteur des Services techniques de l'Exploitation de la Compagnie des Chemins de fer du Nord, à Paris.

Enfin, après un examen fait en dernier ressort par le Jury supérieur de l'Exposition, les récompenses furent définitivement arrêtées ainsi qu'il suit :

RÉCOMPENSES ACCORDÉES AUX EXPOSANTS

CLASSE 23

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Liste des exposants qui, par application de l'article 7 du Règlement du Jury, sont mis hors concours en leur qualité de jurés

Ateliers « Jaspar » (Société anonyme), à Liège (Belgique).

Compagnie internationale d'électricité (Société anonyme), à Liège (Belgique).

Française électrique (La), Compagnie de constructions électriques et de traction, à Paris (France).

Holzschuch (Jacques) et Bonnemaison (Paul), à Paris (France).

Sautter, Harlé et Cie, à Paris (France).

Maison Beer (Société anonyme), à Jemeppe-sur-Meuse (Belgique).

Société d'applications industrielles, à Paris (France).

Société anonyme des ateliers de constructions électriques, à Charleroi (Belgique).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Société Gramme, à Paris (France).
Société industrielle des téléphones, à Paris (France).
Société « l'Eclairage électrique », à Paris (France).
Société parisienne pour l'industrie des chemins de fer et des tramways, à Paris (France).
« Vulkan », société anonyme pour construction de machines-outils et de machines, à Vienne (Autriche).

Diplômes de grand prix

Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget (Compagnie générale électrique de Suède), à Vesteras (Suède).
Association des ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore, à Liège (Belgique).
Elektricitäts Actien Gesellschaft vorm. W. Lahmeyer und C°, à Francfort-sur-Mein (Allemagne).
Geoffroy-Delore et Cie, à Clichy (Seine) (France).
Hillairet et Huguet, à Paris (France).
Kabelwerk Rheydt (A.-G.), à Rheydt (Allemagne).
Société alsacienne de constructions mécaniques, à Belfort (France).
Société anonyme « Le Carbone », à Levallois-Perret (France).
Société anonyme Westinghouse, à Paris (France).
Société internationale des électriciens, à Paris (France).

Diplômes d'honneur

Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, à Berlin (Allemagne).
De La Mathe (G. et H.), à Gravelle-Saint-Maurice (Seine) (France).
Mechernicher Bergwerks Actien Verein, à Mechernich (Allemagne).
Société anonyme égyptienne d'électricité, à Paris (France).
Tudor (Henri), à Rosport (Grand-Duché de Luxembourg).

Diplômes de médaille d'or

Boudreaux (Louis), à Paris (France).
Charliat (Alexandre), à Paris (France).
Ecole professionnelle de mécanique de précision, d'horlogerie et d'électricité, à Bruxelles (Belgique).

Diplômes de médaille d'argent

Ateliers de constructions mécaniques Aster, à Paris (France).
Cadiot et Cie, à Paris (France).
Carl Ludwig, à Schoenberg (Allemagne).
Darton (F.) and C°, à Londres (Angleterre).
De Traz (Jean), à Paris (France).
Fabrique de porcelaine à Merkelsgrün près Karlsbad (Autriche).
United Flexible Metallic Tubing Company Limited, à Londres (Angleterre).

Diplôme de médaille de bronze

Parvillée (Achille et Louis), à Paris (France).

Diplômes de mention honorable

Hottelart (Clovis), à Roubaix (France).
Pagnoul (Jean), à Jemeppe-sur-Meuse (Belgique).
Schieber (Eugène), à Mersch (Grand-Duché de Luxembourg).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 24

ÉLECTROCHIMIE

Liste des exposants qui, par application de l'article 7 du Règlement du Jury, sont mis hors concours en leur qualité de jurés

Fredet (Henri), à Brignoud (Isère) (France).
Leclanché et Cie, à Paris (France).
Société l'Électro-métallurgie de Dives, à Paris (France).
Société Gramme, à Paris (France).

Diplômes de grand prix

« Accumulateurs Tudor » (Société anonyme), à Bruxelles (Belgique).
Classen (Alexandre), à Aix-la-Chapelle (Allemagne).
Compagnie électro-thermique Keller, Leleux et Cie, à Paris (France).
Manufactures des glaces et produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Cirey, à Paris (France).
Société anonyme électro-métallurgique, procédés F. Girod, à Ugine (Savoie) (France).
Société anonyme pour le travail électrique des métaux, à Paris (France).
Société d'électro-chimie, à Paris (France).
Société des forces motrices et usines de l'Arve, à Grenoble (Isère) (France).
Solvay et Cie, à Bruxelles (Belgique).

Diplômes d'honneur

Compagnie française de charbons pour l'électricité et Bancelin Edme, à Paris (France).
Gin (G.), à Paris (France).
Les Etablissements Grauer (S.) et Cie (Société anonyme), à Bruxelles (Belgique).
« La Néo-Métallurgie » (Société anonyme), à Paris, et la Société électro-chimique du Giffre, à Saint-Jeoire (Haute-Savoie) (France).
« L'Oxhydrique » (Société anonyme), à Bruxelles (Belgique).
Nikolaeff (J.-N.), Société anonyme d'usine électrolytique, à Moscou (Russie).

Diplômes de médaille d'or

Compagnie française de l'accumulateur « Aigle », à Paris (France).
Delafon (Philippe), à Paris (France).
Dinin (Alfred), à Puteaux (Seine) (France).
Jeantaud (Charles), à Paris (France).
Société anonyme des Accumulateurs Chelin, à Bruxelles (Belgique).
Wedekind (Adolphe), à Hambourg (Allemagne).

Diplômes de médaille d'argent

Dary (Georges), à Clamart (Seine) (France).
Schubler (Paul), à Paris (France).
Société anonyme des manufactures de câbles, accumulateurs et appareils électriques, à Seneffe (Belgique).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Diplôme de médaille de bronze

Levy Seigmar, à Berlin (Allemagne).

CLASSE 25

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Liste des exposants qui, par application de l'article 7 du règlement du Jury, sont mis hors concours en leur qualité de juré

Cance et fils et Cie, à Paris (France).
Compagnie internationale d'électricité (Société anonyme), à Liège (Belgique).
Société des constructions électriques de Charleroi (Belgique).
Société Gramme, à Paris (France).
Société industrielle des téléphones, à Paris (France).
Société La Mutuelle électrique, à Liège (Belgique).

Diplômes de grand prix

Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft und A. E. G. Union électrique, à Berlin Bruxelles (Allemagne).
Appareillage électrique Grivolas, à Paris (France).
Barbier, Bénard et Turenne, à Paris (France).
Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, à Paris (France).
Etablissements Lempereur et Bernard (Société anonyme), à Liège (Belgique).
Guinier (Édouard), à Paris (France).
Luppens (H.), et Cie, à Bruxelles (Belgique).
Société anonyme des fonderie et tréfilerie de bronze phosphoreux à Anderlecht (Belgique).
Société anonyme Force et Éclairage, à Bruxelles (Belgique).
Société anonyme Westinghouse, à Paris (France).
Société française d'incandescence par le gaz « Système Auer », à Paris, (France).
Wilmotte (J.) fils, à Liège (Belgique).

Diplômes d'honneur

Bardon (Louis), à Clichy (Seine) (France).
Bergmann Elektricitäts-Werke, Actiengesellschaft, à Berlin (Allemagne).
Compagnie continentale de fabrication des compteurs à gaz et autres appareils, à Paris (France).
Compagnie française des compteurs « Système Aron », à Paris (France).
Compagnie française des perles électriques Weissmann, à Paris (France).
Friésé (Paul), à Paris (France).
Paz et Silva, à Paris (France).
Phönix, Elektrotechnische Gesellschaft, m. b. H. à Berlin (Allemagne).
Société anonyme Usines industrielles Lux, à Munich (Allemagne).
Vigreux (C.) et Brillié (L.), à Levallois-Perret (Seine) (France).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Diplômes de médaille d'or

Andouche et Leclercq, à Charleroi (Belgique).
Compagnie des lampes à arc « Jandus », à Paris (France).
Moreau frères, à Liège (Belgique).
Regina-Bogenlampenfabrik Ges. mit beschr. Haftung, à Cologne-Sulz (Allemagne).
Roux, Gaston, à Paris (France).
Société anonyme des « Accumulateurs Chelin », à Bruxelles (Belgique).
Société anonyme « Les Ateliers du Rœulx », au Rœulx (Belgique).
Véry (Hector), à Paris (France).

Diplômes de médaille d'argent

Ateliers Tantôt frères (Société anonyme), à Etterbeek (Belgique).
Cerbera (Domingo), à Paris (France).
Chambre syndicale du bronze, de l'éclairage et des industries qui s'y rapportent, à Bruxelles (Belgique).
Delafon (J.) et Leseible, à Paris (France).
Fabrique de porcelaine, à Merkelsgrün près Karlsbad (Autriche).
Manuafcture parisienne d'appareillage électrique, à Paris (France).
Serrurier et Cie, à Liège (Belgique).
Société anonyme des forges et ateliers de Tyberchamps (Belgique).
Société civile des Usines et Mines de houille du Grand-Hornu, à Hornu (Mons) (Belgique).

CLASSE 26

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

Liste des exposants qui, par application de l'article 7 du Règlement du Jury, sont mis hors concours en leur qualité de jurés

Association des Ouvriers en instruments de précision, à Paris (France).
Compagnie des Tréfileries du Hâvre, à Paris (France).
Darras (Alphonse), à Paris (France).
Société l'Electro-Métallurgie de Dives, à Paris (France).
Société française pour la fabrication des tubes, à Louvroil (Nord) (France).
Société industrielle des téléphones, à Paris (France).

Diplômes de grand prix

Ateliers Thomson-Houston, à Paris (France).
Bell telephone manufacturing Company (Société anonyme), à Anvers (Belgique).
Carpentier (Jules), à Paris (France).
Compagnie de télégraphie sans fil Marconi (Société anonyme), à Londres (Angleterre).
Deutsche Telephonwerke R. Stock et Cie, à Berlin (Allemagne).
Felten et Guilleaume, Carlswerk Actien Gesellschaft, à Mülheim-am-Rhein (Allemagne).
Mildé (Charles) fils et Cie, à Paris (France).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ministère des Chemins de fer, Postes et Télégraphes (Administration des télégraphes), à Bruxelles (Belgique).
Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, à Paris (France).
Société anonyme des Fonderie et Tréfilerie de bronze phosphoreux, à Anderletcht (Belgique).
The Antwerp telephone and Electrical Works (Société anonyme), à Anvers (Belgique).

Diplômes d'honneur

Deutsche Waffen und Munitions-Fabriken, à Berlin-Karlsruhe (Allemagne).
Ducretet (Eugène), à Paris (France).
Kabelwerk Rheydt (A.-G.), à Rheydt (Allemagne).
La Mathe (G. et H.-B. de), à Gravelle-Saint-Maurice (Seine) (France).
Mambret (E.) et Cie (anciennes Sociétés de Branville et Cie et Digeon, Louis, et Cie), à Paris (France).
Société anonyme d'Electricité et d'Automobiles Mors, à Paris (France).
Société de Poilly de Brigode, à Folembray (Aisne) (France).
Usine Frédéric Nyst, successeurs : Nyst (Pierre et Emile), à Liège (Belgique).

Diplômes de médaille d'or

Burgunder (Alfred), à Paris (France).
Davin-Glibert (Jean), à Etterbeek-Bruxelles (Belgique).
Hen, Léon et Cie, à Schaerbeek-Bruxelles (Belgique).
Société anonyme des manufactures de câbles, accumulateurs et appareils électriques, à Seneffe (Belgique).

Diplômes de médaille d'argent

Belliol (Eug.) et Reiss (J.), à Paris (France).
Delafon (J.) et Leseible, à Paris (France).
Fontaine-Souverain fils, à Dijon (France).
Gérard (Emile) et Cie, à Liège (Belgique).
Kotyra (Max), à Paris (France).
Zandén (Iwan), à Stockholm (Suède).

Diplômes de médaille de bronze

Fournial (Jean), au Havre (Seine-Inférieure) (France).
Gaillard (Achille), à Béziers (France).
Minsier (Oscar), à Jauche (Belgique).
Woittequand (Charles), à Charleville (Ardennes) (France).

Diplômes de mention honorable

Francotte (Joseph) et fils, à Jauche (Belgique).
Ghysens (M.), à Liège (Belgique).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 27

APPLICATIONS DIVERSES DE L'ÉLECTRICITÉ

Liste des exposants qui, par application de l'article 7 du Règlement du Jury, sont mis hors concours en leur qualité de jurés

Association des Ouvriers en Instruments de Précision, à Paris (France).
Compagnie française des mines et usines d'Escombrera-Bleyberg, à Bleyberg-Montzen (Belgique).
Compagnie internationale d'Electricité (Société anonyme), à Liège (Belgique).
Dumont et Baignères, Rousselle et Tournaire, à Paris (France).
Richard (Jules), à Paris (France).
Société anonyme des Ateliers de constructions électriques de Charleroi (Belgique).
Société d'Electricité et d'Automobiles Mors et Sartiaux (Eugène), à Paris (France).
Société des Etablissements Henry Lepaute, à Paris (France).
Société Gramme, à Paris (France).
Société industrielle des Téléphones, à Paris (France).

Diplômes de grand prix

Carpentier (Jules), à Paris (France).
Chauvin et Arnoux, à Paris (France).
Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à gaz, à Paris (France).
Ducretet (Eugène), à Paris (France).
Gaiffe (Georges), à Paris (France).
Gérard (Emile) et Cie, à Liège (Belgique).
Kohl (Max), à Chemnitz (Saxe) (Allemagne).
Land und Seekabelwerke Actien Gesellschaft, à Cologne (Allemagne).
Radiguet et Massiot, à Paris (France).

Diplômes d'honneur

Hoho (Paul), à Bruxelles (Belgique).
Société anonyme « Humboldt », à Kalk près Cologne (Allemagne).

Diplômes de médaille d'or

Adnet (Emile), à Paris (France).
Avtsine et Cie, à Paris (France).
Béranger (Charles), à Paris (France).
Blot, Garnier et Chevalier, à Paris (France).
Chateau frères et Cie, à Paris (France).
Clerc (Louis), à Paris (France).
Cointe (Ch.), à Paris (France).
Darras (Alphonse), à Paris (France).
Dunod (Ch., V^e^), à Paris (France).
Force Eclairage (société anonyme), à Bruxelles (Belgique).
Gauthier-Villars, à Paris (France).
Mambret (G.) et Cie, à Paris (France).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Montpellier (J.-A.), à Paris (France).
Onland-Van de Kasteele (F.), à Utrecht (Pays-Bas).
Richez et Cie, à Bruxelles (Belgique).
Société anonyme liégeoise pour la construction de machines, à Liège (Belgique).
Syndicat professionnel des Usines d'Électricité, à Paris (France).
Vigreux (C.) et Brillié (L.), à Levallois-Perret (Seine) (France).

Diplômes de médaille d'argent

Ancel (Louis), à Paris (France).
Appareillage électrique Grivolas, à Paris (France).
Berlingin (Melchior), à Penchot (Aveyron) (France).
Bouscot (Émile), à Paris (France).
Dutertre (Georges-Edmond), à Levallois-Perret (Seine) (France).
Fabrique d'explosifs de sûreté et de détonateurs de E. Ghinijonet et Cie à Ougrée (Belgique).
Kaisser (Émile), à Lille (Nord) (France).
Lacoste (J.) et Cie, à Paris (France).
Leguay (Ernest), à Paris (France).
Parvillée (Achille et Louis), à Paris (France).
Société anonyme de dynamite de Matagne, à Matagne-la-Grande (Belgique).
Société anonyme des Explosifs de Clermont, Müller et Cie, à Liège (Belgique).
Société anonyme Westinghouse, à Paris (France).
Société pour le Travail électrique des Métaux, à Paris (France).
Vaudrey (Paul), à Paris (France).

Diplômes de médaille de bronze

Marquer (Albert), à Paris (France).
Sallin (Jean), à Paris (France).
Toupart (J.), à Malakoff (Seine) (France).

Diplômes de mention honorable

Le Chevalier (Alexandre), à Cabourg (Calvados) (France).
Lucas (Dr André), à Monte-Carlo (France).
Nathanson, à Copenhague. Section internationale (Danemark).

RÉCOMPENSES ACCORDÉES AUX COLLABORATEURS ET COOPÉRATEURS DES EXPOSANTS DE LA SECTION FRANÇAISE

CLASSE 23

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

COLLABORATEURS

Diplômes d'honneur

Barbou (Alfred). — Société Gramme, à Paris.
Risler (Gustave). — Société industrielle des téléphones, à Paris.

Diplômes de médaille d'or

Amiard (Jules). — Maison Sautter-Harlé et Cie, à Paris.
Besson (Louis). — Maison Sautter-Harlé et Cie, à Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Foillard (Antoine). — Maison Sautter-Harlé et Cie, à Paris.
Rouvière (Ulysse). — Société parisienne pour l'industrie des chemins de fer et des tramways, à Paris.
Semichon (Jules). — Société « l'Eclairage électrique », à Paris.
Zweifel (Gaspard). — Société Alsacienne de Constructions mécaniques, à Belfort.

Diplômes de médaille d'argent

Aubry (Emile). — Société « l'Eclairage électrique », à Paris.
Barrody (Jean). — La Française électrique, à Paris.
Bertault (Georges). — Ateliers de constructions mécaniques Aster, à Paris.
Bourlardet (Edouard). — Maison Hillairet et Huguet, à Paris.
Debauche (Joseph). — Société parisienne pour l'industrie des chemins de fer et des tramways, à Paris.
Deramat (Jean). — Société Gramme, à Paris.
Hedin (Eugène). — Société Gramme, à Paris.
Iglésis (Sébastien). — La Française électrique, à Paris.
Lalevée (Charles). — Société Gramme, à Paris.
Lehmann (Théodore). — Société Alsacienne de Constructions mécaniques, à Belfort.
Mongalvy (François). — Maison Geoffroy-Delore et Cie, à Clichy (Seine).
Zambeaux (Charles). — Société Alsacienne de Constructions mécaniques, à Belfort.

Diplôme de médaille de bronze

Demoly (Clément). — Maison Cadiot et Cie, à Paris.

COOPÉRATEURS

Diplômes de médaille de bronze

Bizot (Pierre). — Maison Sautter-Harlé et Cie, à Paris.
Boulanger (Jules). — Maison Geoffroy-Delore et Ce, à Clichy (Seine).
Goyon (Pierre). — Société « l'Eclairage électrique », à Paris.
Harscoët (Charles). — Maison Geoffroy-Delore et Cie, à Clichy (Seine).
Hoffmann (Alfred). — Société Alsacienne de Constructions mécaniques, à Belfort.
Letinier (Julien). — Maison Hillairet et Huguet, à Paris.
Lhenry (Jean). — Maison Sautter-Harlé et Cie, à Paris.
Morel (Antoine). — Société Gramme, à Paris.
Pariot (Joseph). — Société « l'Eclairage électrique », à Paris.
Rousset (Michel). — La Française électrique, à Paris.
Trahay (Louis). — Ateliers de Constructions mécaniques Aster, à Paris.
Witte (Emile). — Société Industrielle des Téléphones, à Paris.

Diplômes de mention honorable

Bourgade (Louis). — Maison Holzschuch (Jacques), et Bonnemaison (Paul), à Paris.
Malpièce (Eugène). — Maison Geoffroy-Delore, à Clichy (Seine).
Morel (Baptiste). — Société industrielle des Téléphones, à Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ramoneda (Claude). — Société Alsacienne de Constructions mécaniques, à Belfort.
Renard (Edouard). — Société Gramme, à Paris.

CLASSE 24

ÉLECTROCHIMIE

COLLABORATEURS

Diplôme d'honneur

Masson (Léopold). — Société électro-métallurgique de Dives, à Paris.

Diplômes de médaille d'or

Bergès (Georges). — Société des forces motrices et usines de l'Arve, à Grenoble (Isère).
Gindre (Eugène). — Société Anonyme « Le Carbone », à Levallois-Perret (Seine).
Girod (Paul). — Société Anonyme électro-métallurgique, procédés Girod, à Ugine (Savoie).
Jaubert (Georges). — Société d'électro-chimie, à Paris.
Keim. — Société anonyme pour le travail électrique des métaux, à Paris.
Keller (Albert). — Compagnie électro-thermique, Keller, Leleux et Cie, à Paris.
Massy (Eugène). — Maison Leclanché et Cie, à Paris.
Mercier (Henri). — Compagnie française de charbons pour l'électricité et Bancelin, à Paris.
Remont (Alex.). — Société anonyme « la Néo-Métallurgie », à Paris.
Tonnart (André). — Société anonyme « le Carbone », à Levallois-Perret.

Diplômes de médaille d'argent

Brunet (Albert). — Maison Delafon, à Paris.
Duprat. — Société d'électro-métallurgie, à Paris.
Jumeau. — Société anonyme pour le travail électrique des métaux, à Paris.
Keller (Henri). — Compagnie électro-thermique Keller, Leleux et Cie, à Paris.
Landigeois (Aug.). — Compagnie française de l'accumulateur « Aigle », à Paris.
Lacombe, ingénieur. — Société d'électro-métallurgie de Dives, à Paris.
Leseure (Léon). — Société d'électro-chimie, à Paris.
Neveu (R.). — Société anonyme « la Néo-Métallurgie, à Paris.
Pécheur. — Société anonyme pour le travail électrique des métaux, à Paris.
Perry (E.). — Compagnie française de l'accumulateur « Aigle », à Paris.
Ribal (Edouard). — Maison Henri Fredet, à Brignoud (Isère).
Rosset. — Maison Jeantaud, Charles, à Paris.

COOPÉRATEURS

Diplômes de médaille de bronze

Bringaud. — Maison Leclanché et Cie, à Paris.
Christmann (Jules). — Société anonyme « le Carbone », à Levallois-Perret (Seine).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Collinot (Mme). — Maison Leclanché et Cie, à Paris.
Couplet (François). — Société anonyme électro-métallurgique, à Ugine (Savoie).
Delge. — Société anonyme pour le travail électrique des métaux, à Paris.
Gandiglio. — Société anonyme « le Carbone », à Levallois-Perret (Seine).
Haffner (Emile). — Société anonyme pour le travail électrique des métaux, à Paris.
Hoefer. — Société anonyme pour le travail électrique des métaux, à Paris.
Le Moing. — Compagnie électro-thermique Keller, Leleux et Cie, à Paris.
Leroy. — Maison Leclanché et Cie, à Paris.
Negrini. — Compagnie électro-thermique Keller, Leleux et Cie, à Paris.

CLASSE 25

COLLABORATEURS

Diplômes d'honneur

Blanchet (Arthur). — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, à Paris.
Meylan (Eugène). — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, à Paris.
Pirre (Félix). — Maison Barbier, Bénard et Turenne, à Paris,
Zetter (Charles). — Société d'appareillage électrique Grivolas, à Paris.

Diplômes de médaille d'or

Bargoin (Gabriel). — Société d'appareillage électrique Grivolas, à Paris.
Courtois (Gabriel). — Société industrielle des Téléphones, à Paris.
Daigny (Pierre). — Maison Édouard Guinier, à Paris.
David (Marcelin). — Maison Barbier, Bénard et Turenne, à Paris.
Delalande (André). — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, à Paris.
De Vergnes. — Maison Friésé (Paul), à Paris.
Laurain (Henri). — Compagnie continentale pour la fabrication des compteurs à gaz et autres appareils, à Paris.
Liepmann (Henri). — Maison Paz et Silva, à Paris.
Mathieu (Louis). — Maison Bardon (Louis), à Clichy.
Paul (Victor). — Maison Édouard Guinier, à Paris.
Paulin (Charles). — Maison Bardon (Louis), à Clichy.
Ragot (Alfred). — Société d'appareillage électrique Grivolas, à Paris.
Weissmann (Gustave). — Compagnie française des perles électriques Weissmann, à Paris.

Diplômes de médaille d'argent

Armengol (Paul). — Maison Édouard Guinier, à Paris.
Baudier (Albert). — Société d'appareillage électrique Grivolas, à Paris.
Chatelain (Clément). — Maison Paz et Silva, à Paris.
Dobkevitch (Gaëtan). — Société française d'incandescence par le gaz (Système Auer), à Paris.
Gabriel (Emmanuel). — Maison Roux (Gaston), à Paris.
Melcion (Eugène). — Maison Friésé (Paul), à Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Schmeltz (Adolphe). — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, à Paris.
Smith (S.-T.). — Compagnie des lampes à arc « Jandus », à Paris.
Weissmann (Jacques). — Compagnie française des perles électriques Weissmann, à Paris.

COOPÉRATEURS

Diplômes de médaille de bronze

Albaut (Georges). — Maison Paz et Silva, à Paris.
Campargue (Théophile). — Maison Barbier, Bénard et Turenne, à Paris.
Courgibet (Émile). — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, à Paris.
Defeste (Félix). — Maison Bardon (Louis), à Clichy.
Jacoppozzi (Fernand). — Maison Paz et Silva, à Paris.
Lanéry (Paul). — Société d'appareillage électrique Grivolas, à Paris.
Lavabre (Paul). — Maison Barbier, Bénard et Turenne, à Paris.
Meyer (Maximilien). — Maison Barbier, Bénard et Turenne, à Paris.
Miraudette (Auguste). — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, à Paris.
Parfait (Albert). — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, à Paris.
Perrier (Henri). — Société d'appareillage électrique Grivolas, à Paris.
Quillou (Georges). — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, à Paris.
Regnier (Louis). — Société d'appareillage électrique Grivolas, à Paris.
Richert (Henri). — Maison Bénard, Barbier et Turenne, à Paris.
Senez (Charles). — Société industrielle des Téléphones, à Paris.
Thomas (Georges). — Société d'appareillage électrique Grivolas, à Paris.
Turin (André). — Compagnie française des perles électriques Weissmann, à Paris.

CLASSE 26

COLLABORATEURS

Diplômes d'honneur

Armagnat (Henri). — Maison Carpentier (Jules), à Paris.
Jarry (Raymond). — Compagnie des Tréfileries du Havre, à Paris.

Diplômes de médaille d'or

Antzenberger (Théophile). — Société industrielle des Téléphones, à Paris.
Cartier (Victor). — Maison Carpentier (Jules), à Paris.
Dardeau (Louis). — Compagnie du Chemin de fer Métropolitain de Paris, à Paris.
Van Deth (Henri). — Société industrielle des Téléphones, à Paris.

Diplômes de médaille d'argent

Agar (Gérard). — Maison Mambret (E.) et Cie, à Paris.
Chappey. — Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et Télégraphes, à Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Gay (Léon). — Société industrielle des Téléphones, à Paris.
Grangier (Paul). — Société industrielle des Téléphones, à Paris.
Krieger (Julien). — Société française pour la fabrication des tubes, à Louvroil (Nord).
Lavoy (Maurice). — Maison Darras (Alphonse), à Paris.
Michea (Albert). — Maison Mildé (Ch.) fils et Cie, à Paris.
Pithois (Jules-Marie). — Société industrielle des Téléphones, à Paris.
Waldmann (Maurice). — Compagnie des Tréfileries du Havre, à Paris.

COOPÉRATEURS

Diplômes de médaille de bronze

Appel (Jean). — Maison de La Mathe (G. et H.-B.), à Gravelle-Saint-Maurice (Seine).
Belec (Georges). — Maison Mildé (Ch.) fils et Cie, à Paris.
Bizet (Victor). — Maison Darras (Alphonse), à Paris.
Chéze (Théodore). — Maison Mambret (E.) et Cie, à Paris.
Fauquet (Edmond). — Société française pour la fabrication des tubes, à Louvroil (Nord).
Mayoux (Aimé). — Compagnie des Tréfileries du Havre, à Paris.
Michel (Constant). — Maison Burgunder (Alfred), à Paris.
Moine (Paul). — Société française pour la fabrication des tubes, à Louvroil (Nord).
Momenteau (Henri). — Société industrielle des Téléphones, à Paris.
Parisel (Alfred). — Maison Mambret (E.) et Cie, à Paris.
Pointferrat (Eugène). — Compagnie des Tréfileries du Havre, à Paris.
Redinger (Charles). — Société industrielle des Téléphones, à Paris.
Seguin (Georges). — Compagnie des Tréfileries du Havre, à Paris.
Steiner (Frédéric). — Maison Mildé (Ch.) et Cie, à Paris.
Walvand (Jean-Baptiste). — Société française pour la fabrication des tubes, à Louvroil (Nord).

CLASSE 27

COLLABORATEURS

Diplômes de médaille d'or

Baignères (Gustave). — Maison Dumont et Baignères, Rousselle et Tournaire, à Paris.
Besson (Edmond). — Société des Etablissements Henry Lepaute, à Paris.
Caron (Maurice). — Société industrielle des Téléphones, à Paris.
Gallot (Georges). — Maison Gaiffe (Georges), à Paris.
Perrin (Paul). — Maison Richard (Jules), à Paris.

Diplômes de médaille d'argent

Avtsine (Albert). — Maison Avtsine et Cie, à Paris.
Arnoux (Edouard). — Maison Château frères et Cie, à Paris.
Choisy (Léon). — Société des Etablissements Henry Lepaute, Paris.
Gunther (Louis). — Maison Gaiffe (Georges), à Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Diplômes de médaille de bronze

Huré (Henri). — Maison Radiguet et Massiot, à Paris.
Rogier (Charles). — Société des Etablissements Henry Lepaute, à Paris.

Diplôme de mention honorable

Vaudrey (Marie). — Maison Vaudrey, à Paris.

COOPÉRATEURS

Rappels de diplômes de médaille d'argent

Auburtin (Antoine). — Société d'électricité et d'automobiles Mors et Sartiaux (Eugène), à Paris.
Faure (Alfred). — Maison Richard (Jules), à Paris.

Diplômes de médaille de bronze

Berthet (François). — Maison Chateau frères et Cie, à Paris.
Bourgeois (Claude). — Maison Chateau frères et Cie, à Paris.
Jacquet (Charles). — Maison Chateau frères et Cie, à Paris.
Lemerle (Jules). — Maison Chauvin et Arnoux, à Paris.
Pouillier (Eugène). — Société des Etablissements Henry Lepaute, à Paris.
Pillier (Emile). — Maison Chauvin et Arnoux, à Paris.
Toussaint (Charles). — Maison Gaiffe (Georges), à Paris.

Diplômes de mention honorable

Goguey (Marcel). — Maison Radiguet et Massiot, à Paris.
Lesourd (Louis). — Société industrielle des Téléphones, à Paris.

Les récompenses accordées aux exposants du Groupe V, section française, se résument ainsi qu'il suit :

Hors concours	28
Diplômes de grand prix	28
Diplômes d'honneur	17
Diplômes de médaille d'or	24
Diplômes de médaille d'argent	23
Diplômes de médaille de bronze	7
Diplômes de mention honorable	3

Celles attribuées aux Collaborateurs et aux Coopérateurs se répartissent ainsi :

	Collaborateurs	Coopérateurs
Diplômes d'honneur	9	»
Diplômes de médaille d'or	38	»
Diplômes de médaille d'argent	46	»
Rappels de diplômes de médaille d'argent	»	2
Diplômes de médaille de bronze	3	62
Diplômes de mention honorable	1	7

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Comme on peut le voir d'après ce qui précède, le Groupe de l'Électricité a remporté à Liège un véritable succès; ce succès est dû, en grande partie, à MM. les membres des Comités et des Jurys, et aux industriels eux-mêmes, dont le concours dévoué et la participation si large ont permis de présenter une Exposition d'électricité réellement remarquable.

Le Comité, désirant conserver un souvenir de cette importante manifestation, a chargé M. Montpellier (J.), rédacteur en chef de *l'Électricien*, de réunir dans un rapport d'ensemble la description de tout ce qui avait figuré dans l'étendue de l'Exposition de Liège se rattachant aux applications de l'Électricité.

C'est ce travail très intéressant et extrêmement documenté que nous présentons ci-après.

Tous ceux qui s'intéressent, à un titre quelconque, à l'industrie électrique, trouveront dans cet ouvrage des renseignements précieux et sauront gré à M. Montpellier de la conscience et de l'intelligence avec lesquelles il a su mener à bonne fin, et en un délai relativement court, un travail de cette importance.

Nous sommes heureux de lui adresser ici nos plus sincères remerciements.

En terminant, je crois être l'interprète de tous les membres des Comités, des Jurés et des exposants de notre groupe, pour exprimer notre vive et entière gratitude à M. le Commissaire général Chapsal et à M. le Président Pinart.

Grâce à leur grande bienveillance et à leur grande aménité, les difficulté inévitables que l'on rencontre dans une Exposition de cette importance ont reçu des solutions qui ont singulièrement facilité la tâche des comités et des exposants eux-mêmes. Le Comité exécutif belge a lui-même donné, en maintes circonstances, la preuve de son désir de faciliter le travail des organisateurs de la section française.

Chacun de nous conservera un souvenir inoubliable des rapports, vraiment cordiaux qu'ilsont eus avec les deux éminenst représentants de la France et avec le Comité exécutif belge lui-même. Je suis personnellement fier de pouvoir leur exprimer ici, au nom de tous, notre bien sincère reconnaissance.

Le Président du Groupe V,

E. Sartiaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'ÉLECTRICITÉ A L'EXPOSITION DE LIÈGE

PREMIÈRE PARTIE

PRODUCTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRATEURS MÉCANIQUES D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

De tous les moyens pratiques permettant de produire de l'énergie électrique, le plus économique est celui qui consiste à transformer l'énergie mécanique en énergie électrique.

Ce mode de transformation est appliqué industriellement de deux manières différentes et a permis de classer les générateurs mécaniques d'énergie électrique en deux catégories :

1° Les machines d'induction électrostatique ;

2° Les machines d'induction électromagnétique.

Machines d'induction électrostatique. — Ces machines, connues également sous le nom de machines à influence, ne sont utilisées qu'en électrothérapie, en radiographie et dans les laboratoires de physique. Aussi ne faut-il pas s'étonner, en raison de leurs applications assez restreintes, que peu de constructeurs s'occupent de ces machines.

Une seule machine d'induction électrostatique figurait à l'Exposition de Liège : c'est la machine à plateaux multiples et à grande vitesse angulaire exposée par la maison Gaiffe de Paris, bien connue par les appareils électro-médicaux dont elle s'est fait une spécialité.

Machine de Wimshurt à plateaux multiples indépendants, système Gaiffe. — Pour obtenir de grands débits, M. Gaiffe a établi plusieurs modèles de machines Wimshurt à plateaux multiples que l'on peut faire

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tourner à de grandes vitesses angulaires avec le minimum de dépense d'énergie mécanique.

En utilisant des plateaux de diamètre moyen, de 45 à 55 cm, et en nombre suffisant, 4, 6, 8, 10, 12 et 20, suivant la puissance requise, on obtient des surfaces actives considérables. De plus, la vitesse angulaire peut être portée à 900 t : m sans aucun inconvénient. Dans ces condi-

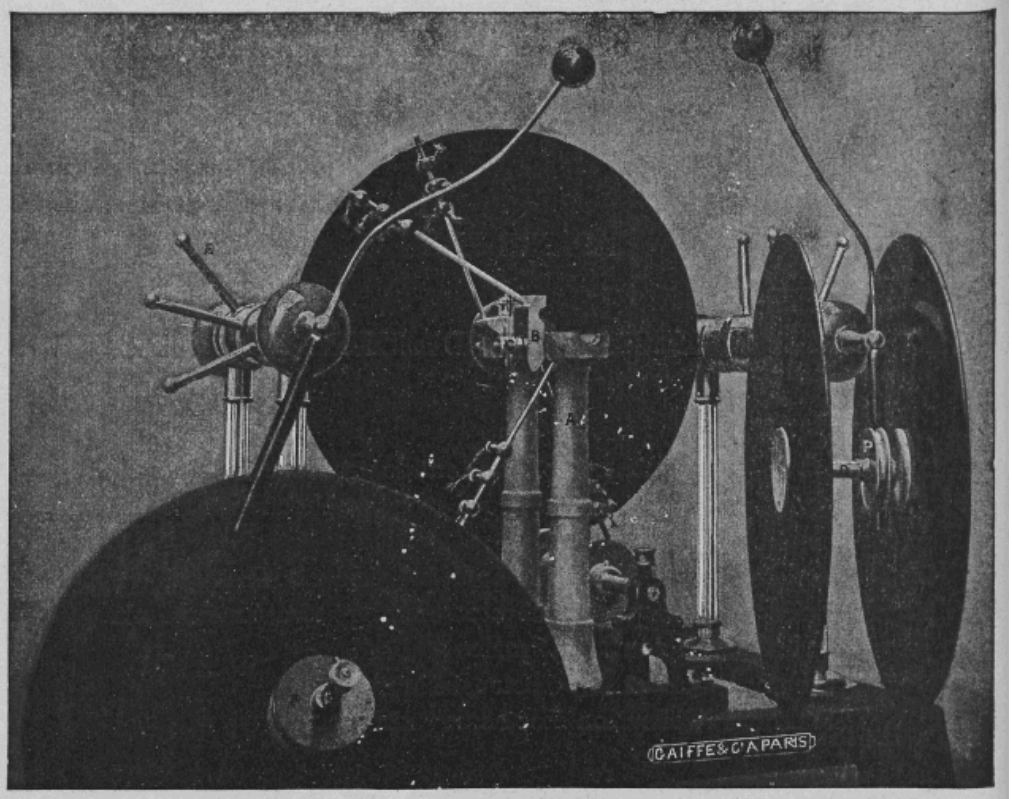


Fig. 1. — Machine Wimshurst, à plateaux multiples, démontée.

tions, les machines comportant jusqu'à 6 plateaux peuvent être actionnées à la main ; mais, au delà, il faut les actionnner soit par un moteur à courant continu sous 12, 16 ou 110 volts, soit par un moteur à courant alternatif monophasé ou triphasé à 110 volts, à la condition, toutefois, que la fréquence du courant alternatif ne dépasse pas 60 périodes par seconde.

Ce type de machine est facilement démontable, consomme peu d'énergie pour son fonctionnement et est d'une grande solidité.

Chaque paire de plateaux est absolument indépendante et peut être démontée séparément pour procéder à un nettoyage.

Comme on le voit sur la figure 1, qui représente une de ces machines

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

démontée, chaque paire de plateaux est montée sur un arbre spécial muni d'une poulie d'entraînement P. Cet arbre se place à la partie supérieure d'une colonne métallique A, entre deux mâchoires B. Les porte-balais, fixés sur les colonnes, sont absolument rigides. Les porte-peignes, E, mobiles autour des collecteurs de la machine, peuvent être facilement écartés lorsque l'on veut enlever les plateaux. Les faces rapprochées des plateaux voisins, tournant en sens inverse, ne peuvent jamais être salies par l'huile, car elles se trouvent placées du côté opposé aux paliers ; seules, les autres faces sont exposées à recevoir quelques gouttes d'huile, mais, comme elles sont facilement accessibles, on peut les nettoyer sans démonter la machine.

Les poulies d'entraînement P sont de même diamètre que les supports des plateaux ; on obtient ainsi une grande surface d'entraînement pour les courroies, ce qui permet de ne pas trop les tendre, d'où une économie de force motrice. Dans ces conditions, une machine à 6 plateaux de 55 cm de diamètre n'exige qu'un effort de 12 kilogrammètres pour fonctionner à la vitesse angulaire de 900 t : m.

Les plateaux sont en ébonite, car on ne pourrait songer à faire tourner des plateaux en verre à une vitesse angulaire aussi considérable. Les plateaux ont 4 mm d'épaisseur, épaisseur bien suffisante pour éviter des déformations ou des gondolements. Du reste, à la vitesse angulaire de 900 t : m, la force centrifuge les redresse ; en prenant la précaution de caler avec du papier les plateaux déformés et en les laissant ainsi pendant la durée d'une nuit, ils sont suffisamment redressés le matin pour que la machine puisse fonctionner toute la journée.

Ces machines sont utilisées pour l'électrothérapie et la radiographie.

Machines d'induction électro-magnétique. — Ces machines, dont les applications deviennent chaque jour plus nombreuses, peuvent être rangées en deux classes principales :

1° Les machines magnéto-électriques ;

2° Les machines dynamo-électriques.

Les machines magnéto-électriques ne sont guère utilisées aujourd'hui qu'en téléphonie pour produire les courants d'appel, pour alimenter aussi les exploseurs servant à l'inflammation des mines et des torpilles et surtout pour produire l'allumage des mélanges gazeux détonants dans les moteurs à explosions.

En ce qui concerne les machines dynamo-électriques, comprenant les alternateurs et les dynamos à courant continu, un grand nombre de modèles figuraient à l'Exposition ; la plupart d'entre eux étaient en fonctionnement et assuraient la fourniture de l'énergie électrique nécessaire aux divers services et aux exposants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces différents types vont être décrits complètement, mais, avant de commencer cette étude, il convient de signaler le premier type industriel de ces machines, dû à Zénobe Gramme, à qui la Belgique vient d'élever un monument dans la ville de Liège, témoignant ainsi sa reconnaissance au célèbre inventeur. Gramme peut être considéré comme le fondateur de l'industrie électrique, car son admirable invention a été certainement le facteur principal des immenses progrès qui ont caractérisé la seconde moitié du XIXe siècle.

Premier type de dynamo Gramme. — Cette machine, la première construite, figurait dans le stand de la société Gramme de Paris ; elle date de 1869, époque à laquelle le célèbre inventeur prit son premier brevet et présenta sa découverte à l'Académie des Sciences de Paris.

Comme on le voit sur la figure 2, le système inducteur est constitué par quatre électro-aimants disposés horizontalement, deux à droite et deux à gauche de l'induit mobile. Les noyaux de ces électro-aimants sont boulonnés dans deux montants en fer doux et leurs extrémités libres sont munies chacune d'une pièce polaire également en fer doux.

Les enroulements des bobines inductrices sont placés directement sur les noyaux et couplés de manière que leurs extrémités présentent des pôles de noms contraires. L'excitation est en série.

L'induit est constitué par un noyau annulaire, formé d'un faisceau de fils de fer doux, sur lequel est placé l'enroulement en fil de cuivre guipé et gomme-laqué.

Le collecteur, fixé sur l'arbre de l'induit, est constitué par une série de lames de cuivre isolées et disposées de manière à former par leur ensemble un cylindre entourant l'arbre, dont il est isolé par l'interposition d'un manchon en bois.

Les sections de l'enroulement induit sont reliées respectivement aux différentes lames du collecteur.

Le courant produit est recueilli par quatre frotteurs en cuivre : deux de ces balais sont portés par le bâti horizontal sur lequel repose l'arbre de l'induit ; les deux autres par des pièces en laiton fixées, l'une sur le bâti inférieur, l'autre sur le bâti supérieur.

Ces deux bâtis ainsi que les quatre montants sont en bois.

Les frotteurs pressent non tangentiellement, mais sur les extrémités des lames constituant le collecteur. La pression des frotteurs est obtenue grâce à des leviers munis de vis et de ressorts en boudin.

A propos de cette machine, il convient ici de détruire une légende qui laisse supposer que Gramme avait établi ses machines par des moyens empiriques.

Dans le discours prononcé à Liège, lors de l'inauguration du monument

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Gramme, M. Javaux, directeur de la société Gramme, l'ami et le collaborateur de l'inventeur, a fait connaître les méthodes et moyens employés par l'inventeur pour l'étude de ses machines et nous ne saurions mieux rappeler les difficultés surmontées qu'en citant le texte même du discours de M. Javaux.

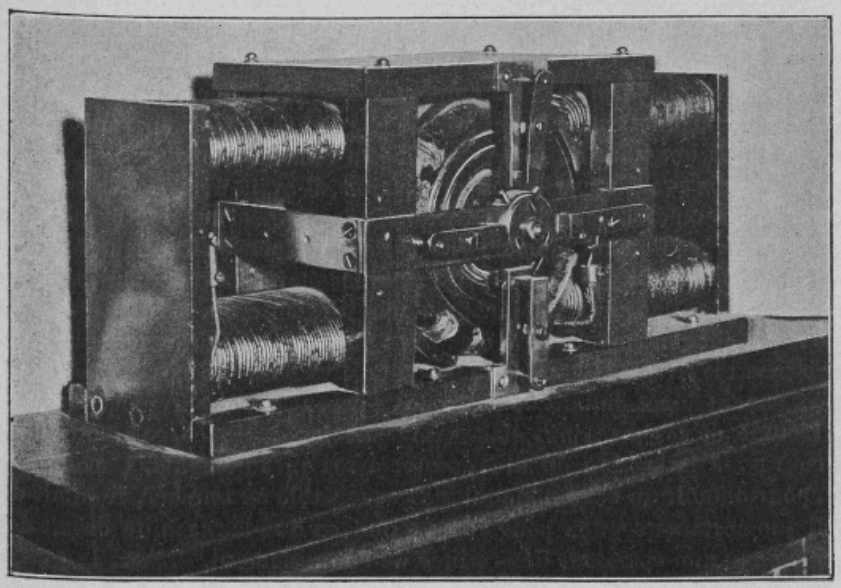


Fig. 2. — Premier modèle de dynamo Gramme.

« En 1872, alors qu'il n'existait pour ainsi dire pas d'instruments de mesure, Gramme, qui n'avait pour tout instrument qu'une boussole, avait construit avec difficulté ses deux premières machines de démonstration.

« Dans le but de se créer des unités électriques, il se livra à une série d'expériences et de recherches jusqu'en 1880.

« Avant sa découverte, les seuls générateurs de courant continu étaient les piles: il les choisit comme unité de mesure.

« Il prit comme point de comparaison l'élément Daniell pour la force électromotrice, l'élément Bunsen pour l'intensité. Les résistances qui lui servaient étaient comparées à un étalon constitué par 1 km de fil de fer galvanisé de 4 mm de diamètre.

« Ses essais relatifs aux propriétés magnétiques du fer furent faits par la méthode d'arrachement.

« La force électromotrice d'une machine était déterminée par le nombre d'éléments Daniell que l'on devait mettre en opposition; l'équilibre entre les deux forces électromotrices était indiqué par l'aiguille d'une boussole lorsqu'elle n'accusait aucune déviation.

« L'intensité était déterminée par comparaison avec un certain nombre d'éléments Bunsen; l'égalité des deux débits était accusée par des déviations égales de l'aiguille de la boussole.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Les mesures de résistances étaient effectuées au moyen d'un galvanomètre différentiel qu'il avait construit et qui lui permettait d'établir la comparaison avec son étalon de résistance.

« Pour les propriétés magnétiques des matériaux employés dans la construction de ses machines, il avait dû déterminer des courbes lui donnant l'effort d'arrachement d'un noyau de fer autour duquel était enroulé un bobinage dont on faisait varier l'épaisseur, tout en maintenant constante l'intensité du courant.

« Il avait reconnu que l'effort qui, au début, allait en croissant presque comme l'épaisseur du bobinage, tendait vers un maximum; il détermina ainsi les unités magnétiques arbitraires à employer dans ses études.

« La force magnétique était exprimée par le produit du courant mesuré en Bunsen par la longueur du fil, c'est-à-dire en Bunsen-mètres.

« Des nombreuses expériences ainsi faites, il avait déduit les proportions à donner à la section du fer de l'inducteur par rapport au nombre de Bunsen-mètres de l'enroulement, dans le but de ne pas dépenser inutilement du cuivre.

« Jusqu'en 1874, la puissance des machines était désignée par le nombre de Bunsen qu'elles pouvaient débiter pour une tension d'un certain nombre d'éléments Daniell; par la suite, les machines pour l'éclairage furent désignées par leur puissance en becs Carcel, tandis que celles pour l'électrolyse étaient spécifiées par un dépôt de tant de grammes d'argent ou de cuivre à l'heure.

« L'étude de ses machines était basée sur les quelques considérations suivantes : pour la section du fil à donner à ses enroulements, il avait reconnu que, pour obtenir un échauffement jugé acceptable au toucher, il fallait donner au fil une certaine section pour chaque Bunsen que la machine devait débiter, et cela pour une épaisseur déterminée de l'enroulement.

« Des essais lui avaient indiqué que, pour obtenir une certaine tension, à une vitesse angulaire déterminée de l'induit, il fallait mettre sur cet induit une longueur constante de fil pour une force magnétique donnée, de sorte que la longueur à enrouler sur l'induit était proportionnelle à la tension qu'il devait fournir.

« Le rapport entre les actions magnétisantes de l'induit et de l'inducteur était obtenu par cette condition que, sur l'inducteur, la longueur du fil devait être supérieure à celle de l'induit, de 40 à 70 0/0, suivant les cas.

« La section du circuit magnétique était déduite du nombre de Bunsen-mètres ainsi obtenu.

« Tels sont, en résumé, les principes employés par Gramme pour établir ses machines pendant les premières années.

« La méthode suivie, quoique rudimentaire, comparée aux méthodes modernes, était néanmoins assez pratiquement exacte et les résultats des essais s'écartaient fort peu des prévisions du génial ouvrier. »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II

GROUPES ÉLECTROGÈNES ET DYNAMOS A COURANT CONTINU

Le service technique de l'Exposition de Liège avait adopté le système de distribution à 3 fils par courant continu, sous une tension de 440 volts avec fil neutre relié à la terre. Trois égalisateurs de tension ont servi à équilibrer les deux ponts de ce réseau de distribution.

Pour assurer la fourniture du courant nécessaire aux divers services de l'Exposition, on a utilisé les machines exposées : chaudières, moteurs et dynamos.

Indépendamment des groupes électrogènes belges affectés à ce service, un certain nombre d'autres dynamos à courant continu étaient en fonctionnement dans les installations particulières d'exposants.

Groupe électrogène de la Compagnie internationale d'électricité de Liège et de la Société anonyme des anciens établissements Van den Kerchove de Gand (Belgique). — Ce groupe électrogène (*fig.* 3) est constitué par une dynamo à courant continu, système H. Pieper, du type de l'État Belge, actionnée directement par un moteur à vapeur horizontal, compound tandem.

Dynamo. — La dynamo (*fig.* 4) a une puissance de 400 kilowatts à la vitesse angulaire de 110 t : m et fournit le courant sous une tension de 480 volts.

La carcasse inductrice est une couronne en fonte, en deux pièces assemblées suivant un plan horizontal.

Le réglage de l'entrefer, ainsi que le rattrapage d'usure des coussinets, s'effectue à l'aide de quatre vis pour le sens vertical et de quatre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

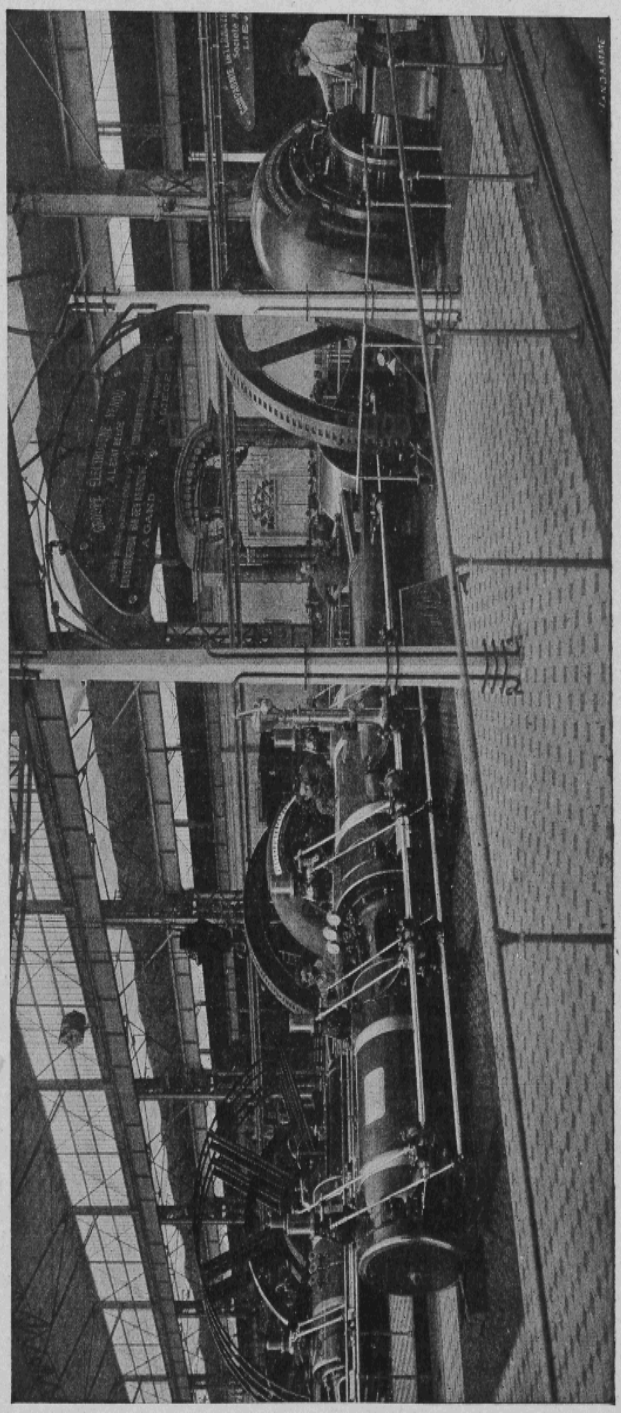


Fig. 3. — Groupe électrogène à courant continu. Compagnie internationale d'électricité et ateliers Van 'den Kerchove.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vis pour le sens horizontal ; ces vis agissent sur la partie inférieure de la carcasse.

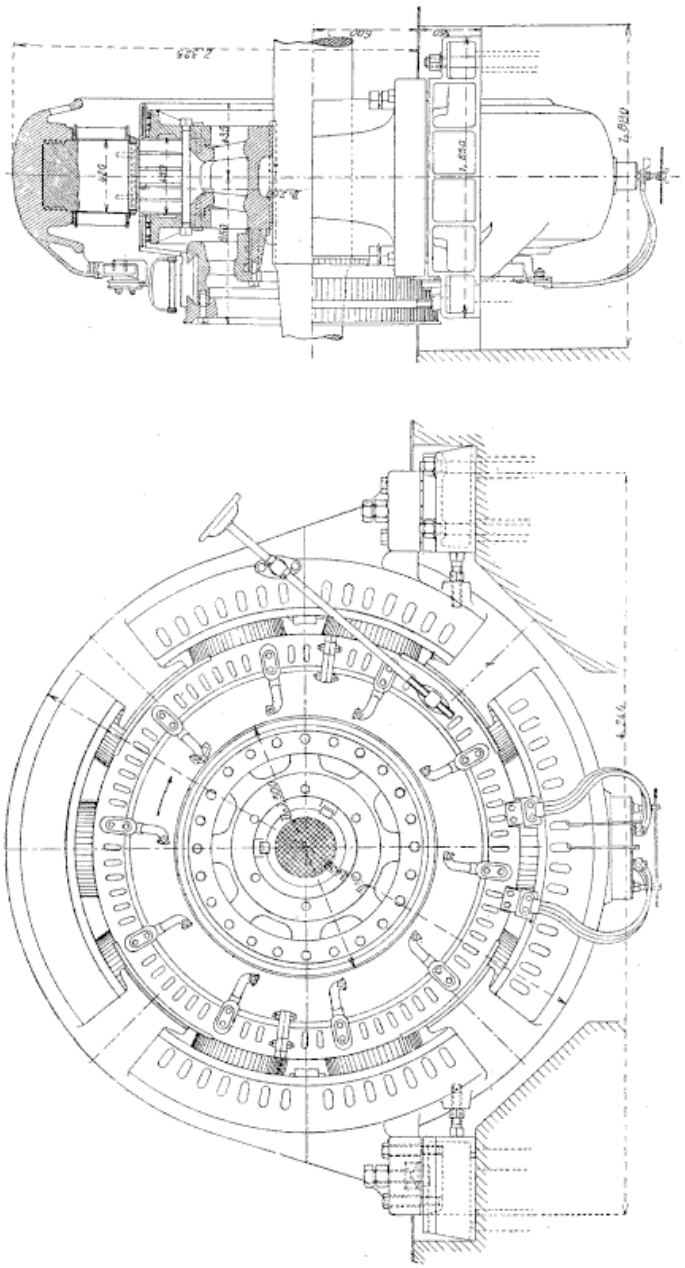


Fig. 4. — Dynamo Pieper, type État belge.

Le poids de cette carcasse est de 20 000 kg, et sa section utile de 1 750 cm².

Les noyaux polaires, au nombre de 10, sont en fer doux et, pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

assurer une bonne continuité du circuit magnétique, ils sont pris dans la carcasse au moment de la coulée de cette dernière. Ces noyaux sont cylindriques et ont 410 mm de diamètre. Ils sont munis d'épanouissements polaires feuilletés, en tôles de 0,5 mm d'épaisseur, ayant un développement (arc polaire) de 470 mm et une largeur de 430 mm. Les tôles qui les constituent sont réunies par des rivets, et l'ensemble est fixé sur le noyaux à l'aide de vis.

Le diamètre d'alésage de l'inducteur est de 2 017 mm, et l'entrefer est de 8,5 mm.

Les 10 bobines inductrices, comportant chacune 1 050 spires de fil de 3,7 mm de diamètre, parfaitement isolé, sont reliées en tension. La dynamo est excitée en dérivation, et le courant d'excitation a une intensité de 16 ampères. Les 10 bobines ont un poids total de 2 300 kg.

L'induit comporte un noyau feuilleté, de 450 mm de largeur, monté sur un croisillon en fonte solidement claveté sur l'arbre; ce noyau est formé de quatre paquets de tôles de 0,5 mm d'épaisseur, isolées au vernis ou au papier. Ce noyau a un diamètre extérieur de 2 m et un diamètre intérieur de 1,40 m.

L'enroulement induit est logé dans 240 rainures rectangulaires de 13 mm de largeur et de 44 mm de hauteur. La partie supérieure de ces rainures est taillée en queue d'aronde, afin de permettre l'introduction d'une cale en bois destinée à maintenir les barres de l'enroulement.

Cet enroulement parallèle est en barres de cuivre, de 2,4 mm d'épaisseur et de 15 mm de hauteur, arrondies sur les angles. Chaque rainure reçoit six de ces barres entourées de ruban et isolées du fer du noyau par des cavaliers en matière isolante.

Le collecteur, de 1 500 mm de diamètre et de 250 mm de largeur utile, se compose de 720 lames de section trapézoïdale, isolées au mica. Le courant est recueilli par 10 rangées de balais en charbon ; chaque rangée se compose de 5 balais. Les porte-balais sont fixés sur une couronne mobile, guidée dans quatre bras venus de fonte avec la carcasse. Le déplacement de cette couronne et, par conséquent, le calage des balais s'effectuent par l'intermédiaire d'une tige filetée, supportée par la carcasse et attaquant la couronne à l'aide d'un écrou ; un volant, fixé à l'extrémité de la tige, commande ce mouvement.

Les extrémités du circuit de l'induit sont amenées à deux bornes, fixées en dessous de la carcasse, mais néanmoins d'accès facile.

Le poids de l'induit est de 11 000 kg.

Au régime normal de 875 ampères, la densité du courant dans l'enroulement induit est de 2,45 ampères par millimètre carré de section.

Le rendement de cette dynamo est de 94 °/₀. Elle supporte sans échauf-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fement appréciable et sans étincelles une surcharge de 25 % pendant deux heures. Après une marche ininterrompue de dix heures, l'échauffement reste inférieur à 40° C.

Moteur à vapeur. — Le moteur à vapeur (*fig.* 5 et 6) a une puissance normale de 600 chevaux qui peut atteindre 700 chevaux à marche économique, sans que la vitesse angulaire cesse d'être régulière et qu'aucune pièce de la machine soit soumise à une fatigue anormale. En surcharge ce moteur peut développer 800 chevaux.

La distribution, pour l'admission et pour l'échappement, s'effectue au moyen de pistons-valves, et l'admission de vapeur dans les deux cylindres est commandée par le régulateur.

Les deux cylindres sont disposés en tandem. Le cylindre à haute pression a 495 mm de diamètre, et celui à basse pression, 855 mm ; la course des pistons est de 1 mètre.

La vitesse angulaire est de 110 t : m. Le volant en fonte est en deux pièces et assure un coefficient d'irrégularité de 1/100 au maximum.

Les deux cylindres sont munis d'enveloppes de vapeur ; celle du petit cylindre est chauffée par de la vapeur vive, et celle du grand cylindre par la vapeur venant du petit cylindre.

La pression de marche peut atteindre 10 kg : cm².

Le principe de la distribution par pistons-valves consiste dans l'emploi de quatre obturateurs distincts, affectant la forme de pistons et se déplaçant verticalement dans les fonds des cylindres. La coupe d'un fond de cylindre (*fig.* 7) montre la disposition des organes.

Ces pistons-valves sont constitués par de simples bagues munies de segments pour en assurer l'étanchéité ; ils se déplacent dans des chemises rapportées et percées de lumières établissant la communication avec le cylindre par l'intermédiaire d'un canal circulaire.

Lorsque l'obturateur d'admission, qui se trouve à la partie supérieure, vient à se soulever, il découvre les lumières, et la vapeur qui remplit le fond du cylindre peut s'introduire derrière le piston ; l'échappement se produit d'une manière analogue. Dans ces conditions, la vapeur doit remonter vers les lumières d'admission, ce qui réduit au minimum la quantité d'eau entraînée ; d'autre part, l'eau qui peut se condenser dans le cylindre est évacuée par l'échappement qui se trouve en contre-bas.

Les espaces nuisibles sont très petits et les parois en contact avec la vapeur d'admission sont réduites au minimum. La disposition verticale des pistons-valves et la pression minime des segments empêchent toute usure. Ces obturateurs sont et restent étanches sans aucun rodage ; ils sont munis d'un recouvrement et fonctionnent aux températures de sur-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

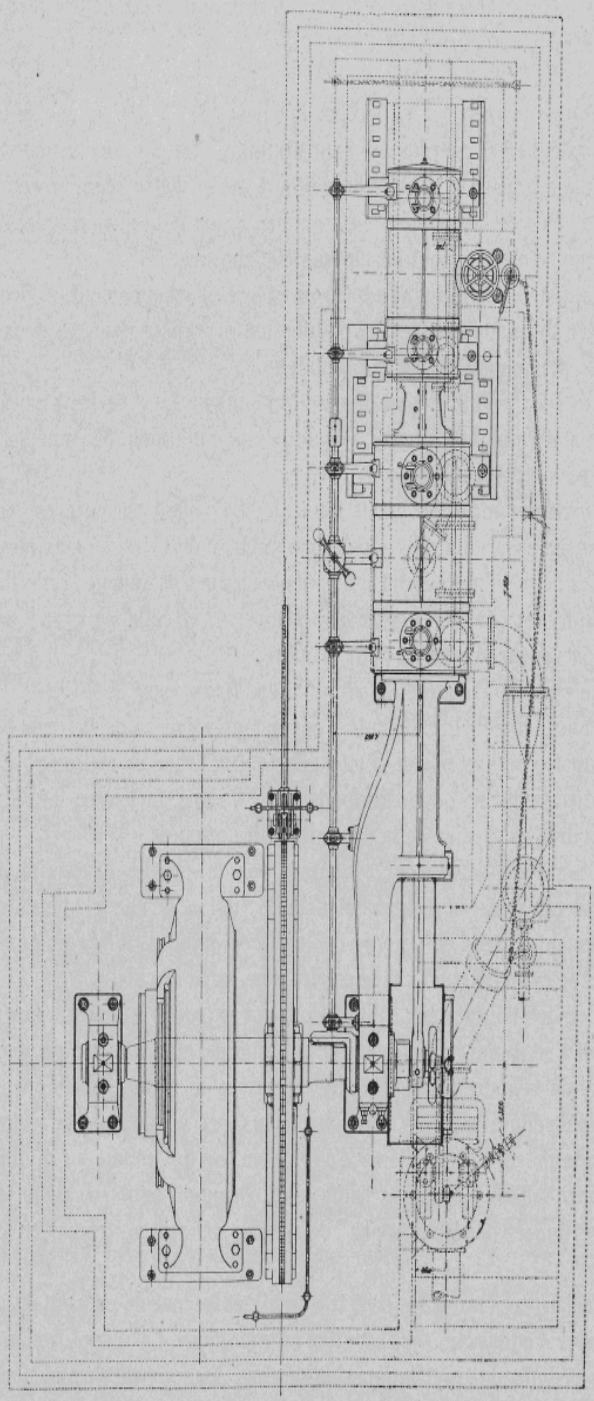


Fig. 5. — Vue en plan du groupe électrogène Pieper-Van den Kerchove.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

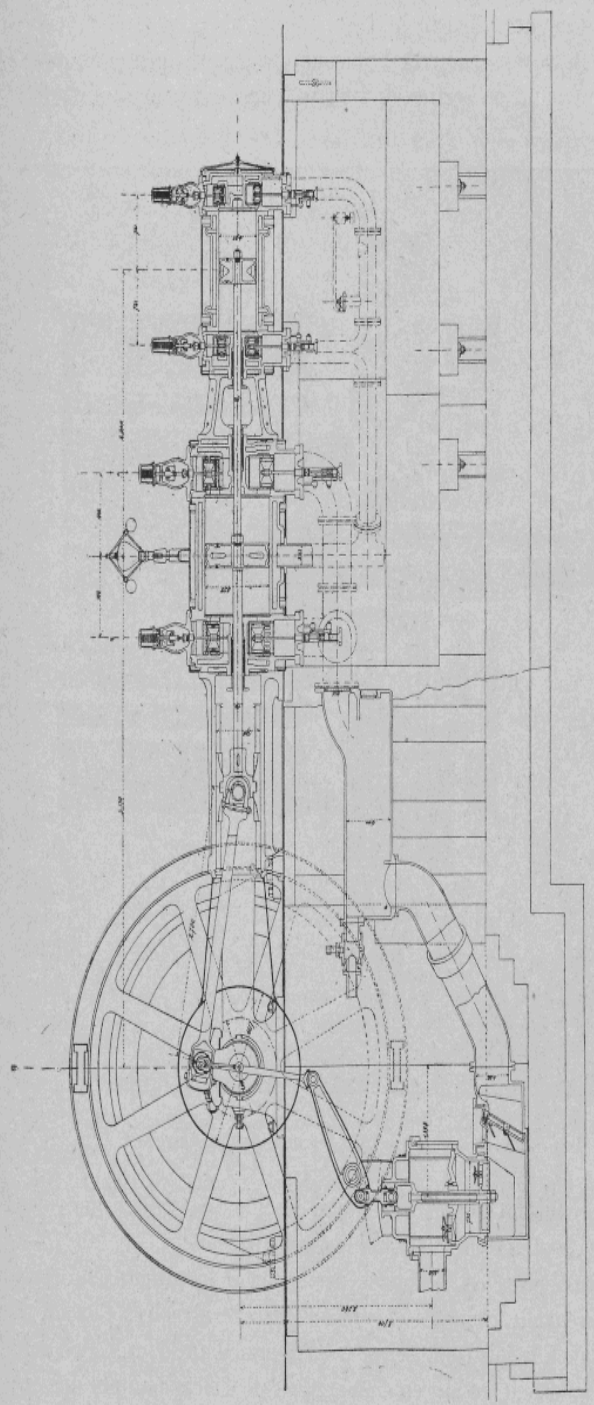


Fig. 6. — Élévation du groupe électrogène Pieper-Van den Kerchove.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chauffe les plus élevées, la dilatation s'opérant librement et les cercles assurant toujours l'étanchéité.

Ces pistons-valves sont de beaucoup plus légers que les soupapes et valves à égalité de section de lumière; étant complètement équilibrés,

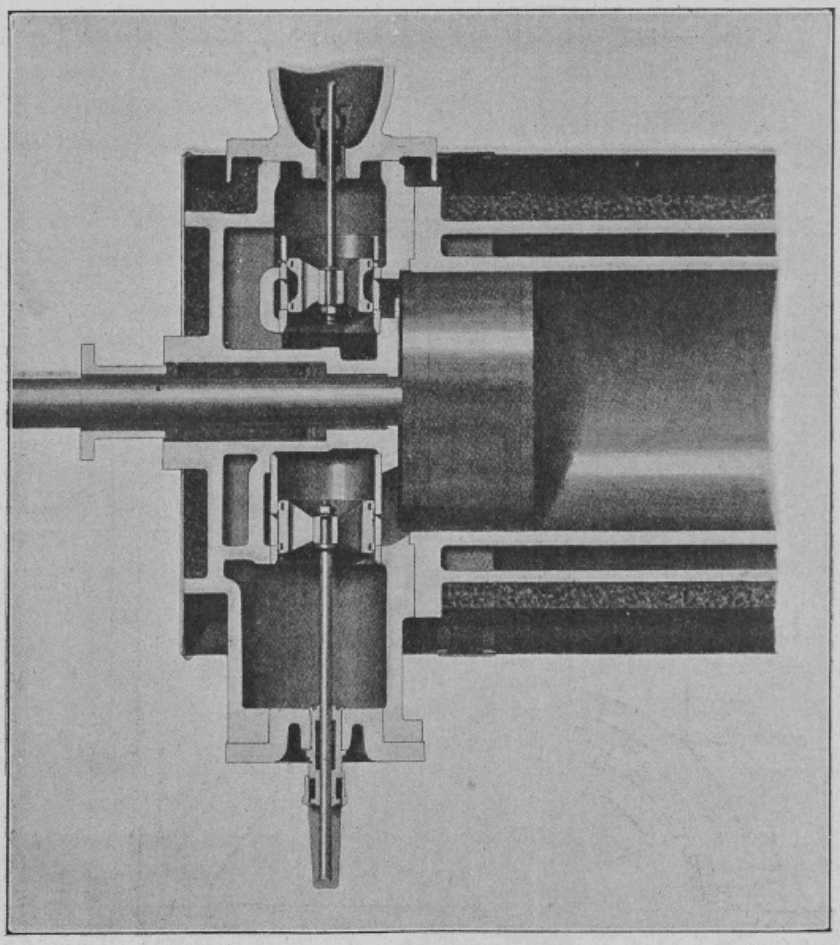


Fig. 7. — Fond de cylindre muni de pistons-valves.

ils ne produisent que de très faibles résistances, quelles que soient la pression, la vitesse angulaire ou la charge du moteur.

La distribution est actionnée par un arbre longitudinal, commandé par engrenages coniques et portant des excentriques. Chacun d'eux commande à la fois l'admission, par l'intermédiaire d'un déclic à palette, et l'échappement au moyen d'un système de leviers assurant une ouverture et une fermeture rapides.

Les pompes du condenseur sont placées en contre-bas de la machine

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et commandées par le bouton de la manivelle : elles peuvent fonctionner à 140 t : m sans donner lieu à des chocs. Elles ont trois sièges de clapets pour obtenir le vide. Généralement, dans les moteurs compound, la pompe à air, la pompe de circulation, la pompe alimentaire et la pompe de purge forment un ensemble compact.

La consommation d'huile est très réduite grâce à la simplicité du mécanisme et surtout au graissage automatique de toutes les parties. Tous les coussinets sont munis d'anneaux graisseurs; pour les autres organes, le débit réglable des pompes et des graisseurs compte-gouttes évite tout gaspillage, tout en donnant une grande sécurité de fonctionnement. Une pompe à huile à trois débits sert au graissage des cylindres.

En ce qui concerne la consommation de vapeur, des essais effectués sur un moteur tandem du type courant, de 250 chevaux, ont montré qu'avec de la vapeur saturée cette consommation, était de 5,28 kg ; elle n'atteint que 6 kg à puissance maximum avec un bon vide. Avec surchauffe à 300°, pour la puissance indiquée de 250 chevaux, la consommation de vapeur n'est que de 4,31 kg, s'abaissant à 4,02 kg avec surchauffe à 350°.

Groupe électrogène de la Compagnie internationale d'électricité de Liège et de la Société anonyme John Cockerill de Seraing (Belgique). — Ce groupe électrogène (*fig.* 8) se compose d'une dynamo à courant continu système Pieper, commandée directement par un moteur à gaz de la Société John Cockerill.

Dynamo. — La dynamo, d'une puissance de 500 kilowatts à la vitesse angulaire de 135 t : m, débite normalement 1 000 ampères sous 500 volts.

Au point de vue de sa construction, cette dynamo ne diffère point de celle qui vient d'être décrite, faisant partie du groupe électrogène de la Compagnie internationale d'électricité et de la Société Van den Kerchove [1].

Moteur à gaz. — Ce moteur à gaz, alimenté aux gaz de hauts fourneaux ou de fours à coke, a une puissance de 500 chevaux effectifs à la vitesse angulaire de 135 t : m.

Il comporte deux cylindres horizontaux, montés en tandem, de 600 mm de diamètre. La course des pistons est de 800 mm.

Les cylindres (*fig.* 9) sont coulés d'une seule pièce avec leur enveloppe à circulation d'eau et portent à leurs extrémités les orifices d'admission à la partie supérieure et ceux d'échappement à la partie inférieure. Ils sont fermés aux deux bouts par de forts couvercles à

1. Voir p. 7.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

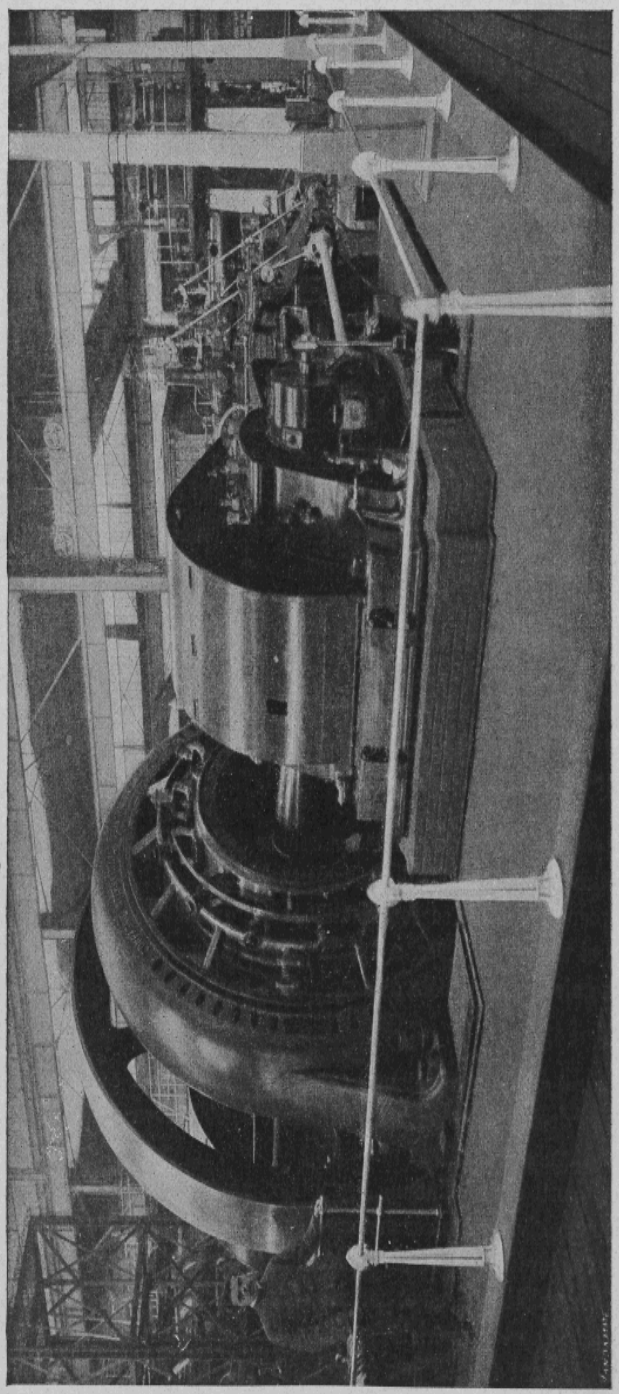


Fig. 8. — Groupe électrogène à courant continu de la Compagnie internationale d'électricité et de la Société John Cockerill.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

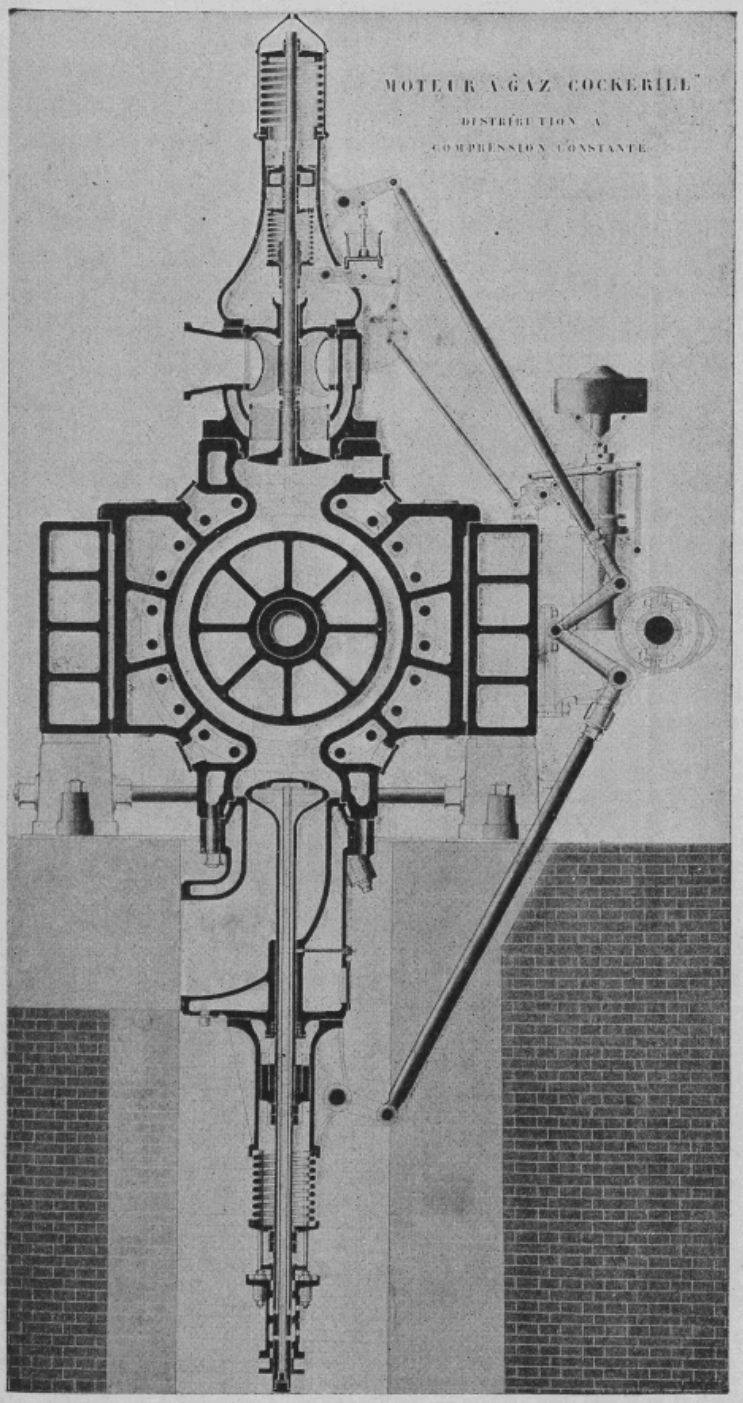


FIG. 9. — Coupe transversale du cylindre par les soupapes d'admission.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

circulation d'eau, munis de presse-étoupes, pour le passage des tiges de piston.

Les pistons creux, en acier moulé, sont supportés par des tiges en acier forgé qui, en dehors du cylindre, reposent sur des glissières. Dans ces conditions, le piston n'appuie pas sur les parois du cylindre et ces parois ne subissent que le contact des bagues de garniture.

Ce moteur est à quatre temps, et sa distribution s'effectue par soupapes.

La distribution est commandée par un arbre secondaire qui reçoit son mouvement d'engrenages, mus par l'arbre moteur qui tourne à une vitesse angulaire réduite de moitié.

L'arbre secondaire est parallèle à l'axe de la machine et porte les cames commandant les soupapes (*fig.* 9).

Le réglage se fait par admission variable du mélange tonnant ; la compression est constante. A cet effet, la soupape de mélange reste ouverte pendant toute la durée d'aspiration, admettant de l'air pur, jusqu'au moment où un déclic commandé par le régulateur centrifuge ouvre la soupape à gaz.

A partir de ce moment jusqu'à la fin de la course, un mélange d'air et de gaz est admis à la suite de la masse d'air pur introduite d'abord.

Ce mélange à dosage constant arrivant sur l'allumeur explose à coup sûr.

Dans cette machine, le piston reçoit successivement une impulsion sur chacune de ses faces. Les deux courses motrices se suivent dans un même cylindre, de sorte qu'en associant deux cylindres semblables soit en tandem, soit côte à côte, on réalise des moteurs dont toutes les courses sont motrices.

L'allumage électrique par étincelle de rupture est du système connu « Simms Bosch ».

Le graissage se fait à l'huile minérale. Celui des paliers principaux se fait par anneaux graisseurs et des pompes à huile sous pression assurent le graissage des cylindres.

Toutes les parties de la machine en contact avec les gaz chauds sont refroidies. C'est ainsi que les cylindres, couvercles, pistons, tiges de piston et soupapes d'échappement sont refroidis par une circulation d'eau intérieure. Il en est de même des glissières et coussinets de paliers principaux.

La quantité d'eau admise pour le refroidissement est telle qu'à la sortie de la machine sa température ne dépasse pas 50° C. Avec de l'eau à 15° C. la dépense est de 35 litres par cheval-heure effectif.

Une pression d'environ 1 kg : cm² est suffisante pour assurer à l'eau une circulation parfaite dans les organes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un signal d'alarme prévient le mécanicien si, par une circonstance quelconque, l'eau vient à faire défaut.

La mise en marche du moteur se fait par l'air comprimé; l'air est comprimé dans un réservoir par un petit compresseur spécial, électrique ou autre.

Il agit sur une des faces du piston et lance la machine jusqu'à ce que l'on ait obtenu sur l'autre face les premières explosions de gaz.

Un vireur électrique sert à amener la machine au point pour le démarrage par l'air comprimé.

Ce moteur, en fonction à l'exposition, est alimenté au gaz de ville, alors qu'il est spécialement construit pour fonctionner avec les gaz de fours à coke.

La consommation de gaz dépend de sa richesse : dans un moteur à double effet tandem, elle correspond à environ 2 300 calories par cheval-heure effectif.

Le gaz destiné au moteur doit être propre et froid, complètement débarrassé de goudron et de naphtaline et ne doit pas contenir plus de 0,1 gr de poussière par mètre cube.

Un gaz plus sale exige un nettoyage plus fréquent des cylindres et donne lieu à usure.

Groupe électrogène de la Société anonyme des ateliers Jaspar, de Liège, et des ateliers de construction J. Preud'homme-Prion, de Huy (Belgique). — Ce groupe électrogène (*fig.* 10), comporte une dynamo à courant continu, du type État Belge, actionnée directement par un moteur à vapeur horizontal, compound-tandem.

Dynamo. — La dynamo, construite par la Société anonyme des ateliers Jaspar de Liège, est identique à celle déjà décrite et faisant partie du groupe électrogène de la Compagnie internationale d'Électricité et des établissements Van den Kerchove [1].

Moteur à vapeur. — Le moteur à condensation marche à la vitesse angulaire de 110 t : m et développe une puissance de 600 chevaux, la vapeur étant admise à la pression de 9 kg : cm².

Le cylindre à haute pression a 525 mm de diamètre ; celui à basse pression, 940 mm ; et la course des pistons est de 1 m.

Les cylindres sont à enveloppe de vapeur ; celui du cylindre à haute pression est chauffé par la vapeur vive qui se rend ensuite dans le cylindre à basse pression.

1. Voir page 7.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

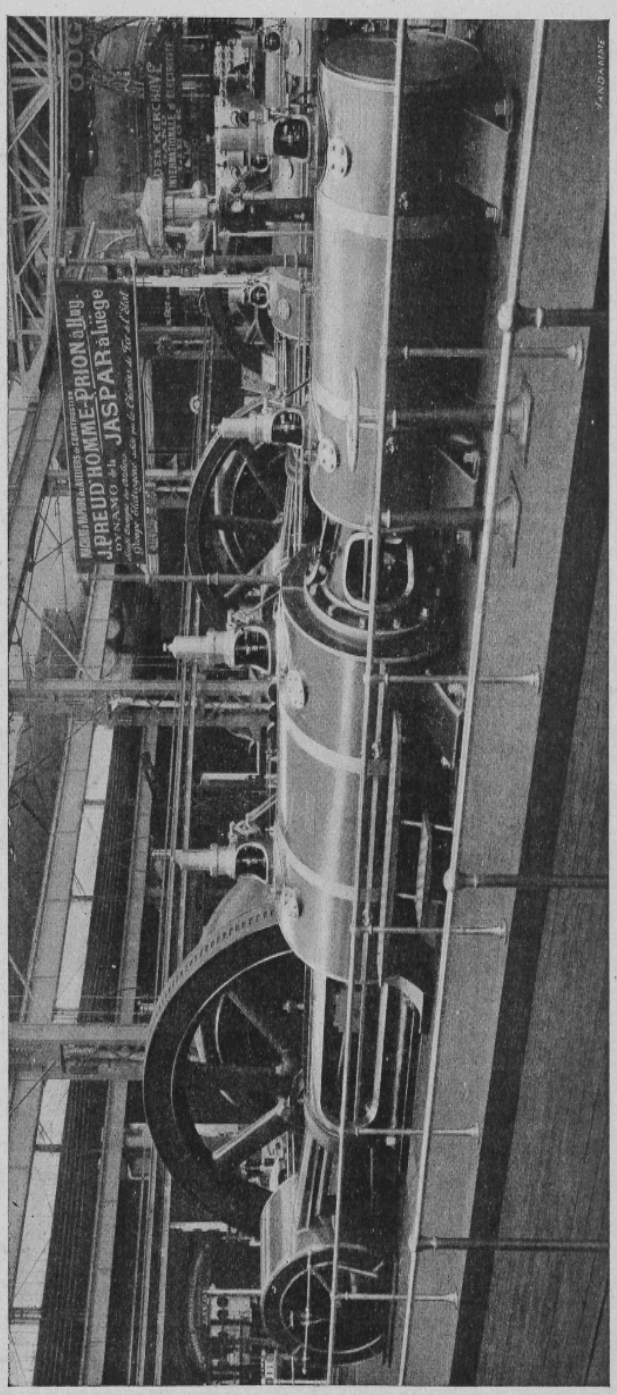


Fig. 10. — Groupe électrogène à courant continu Jaspar et Preud'homme-Prion.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les pistons sont coulés en fonte douce et portent chacun trois cercles.

La distribution s'opère par soupapes ; l'admission et l'échappement s'effectuent par 4 soupapes dans chaque cylindre.

L'admission dans le cylindre à haute pression peut varier depuis zéro jusqu'à 75 °/₀, grâce à un régulateur de Beyer, à ressort puissant, très sensible et à fonctionnement rapide.

Les variations de vitesse angulaire ne dépassent pas 3 °/₀ et dans le cas où le moteur passe brusquement de la marche à pleine charge à la marche à vide, la période d'irrégularité ne dépasse pas 10 secondes.

Le mécanisme de distribution est commandé par un arbre longitudinal recevant son mouvement de l'arbre moteur par l'intermédiaire de deux engrenages coniques ; cet arbre porte des excentriques commandant l'admission et l'échappement.

Le régulateur est fixé sur le cylindre à haute pression ; la tige actionnant l'arbre de commande des déclics est munie d'un dispositif provoquant l'arrêt du moteur, dans le cas où une avarie surviendrait à la commande de cet appareil. Ce dispositif produit également l'arrêt en cas d'avarie à la prise de vapeur ; il peut être actionné de n'importe quel endroit de l'usine à l'aide d'un mécanisme spécial.

Le déclic pour les soupapes d'admission se produit sur le levier de déclenchement, réduisant ainsi au minimum l'inertie due à la chute des masses qui tombent.

Le taquet m (*fig.* 11), mobile autour du tourillon l, s'appuie, sous l'action d'un ressort k, sur une partie plane n de la douille réunissant les leviers p qui, ainsi, sont rendus solidaires ; leur extrémité t prend, par l'intermédiaire des leviers u et v, une position dépendant du régulateur. Dans ce mouvement, l'extrémité du taquet m, commandé par la tige de l'excentrique calé en retard, s'élève au-dessus du levier de déclenchement r d'environ 1,5 mm ; le taquet qui avait été écarté de son appui par l'extrémité du levier r, sur lequel il avait glissé en montant, vient glisser contre son arrêt n et, en redescendant, entraîne le levier de déclenchement.

Par suite de la liaison des leviers p, u, v, le mouvement est tel que son extrémité intérieure se rapproche de plus en plus de l'arête s du levier de déclenchement jusqu'à ce que le déclic se produise ; à ce moment, le ressort et le poids de la soupape agissant ensemble, celle-ci est renvoyée sur son siège. Par suite de la disposition des leviers de commande du déclic, la réaction sur le régulateur est excessivement faible. En examinant les conditions dans lesquelles se fait l'enclenchement, on voit que celui-ci est sensiblement proportionnel à la grandeur de l'ouverture d'admission.

La soupape d'échappement est commandée par une came agissant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

directement sur le levier actionnant la soupape ; la levée et la fermeture sont très rapides.

La figure 11 montre le rapport existant entre le tracé de la courbe de cette came et les vitesses qu'elle communique à la soupape. Les vitesses

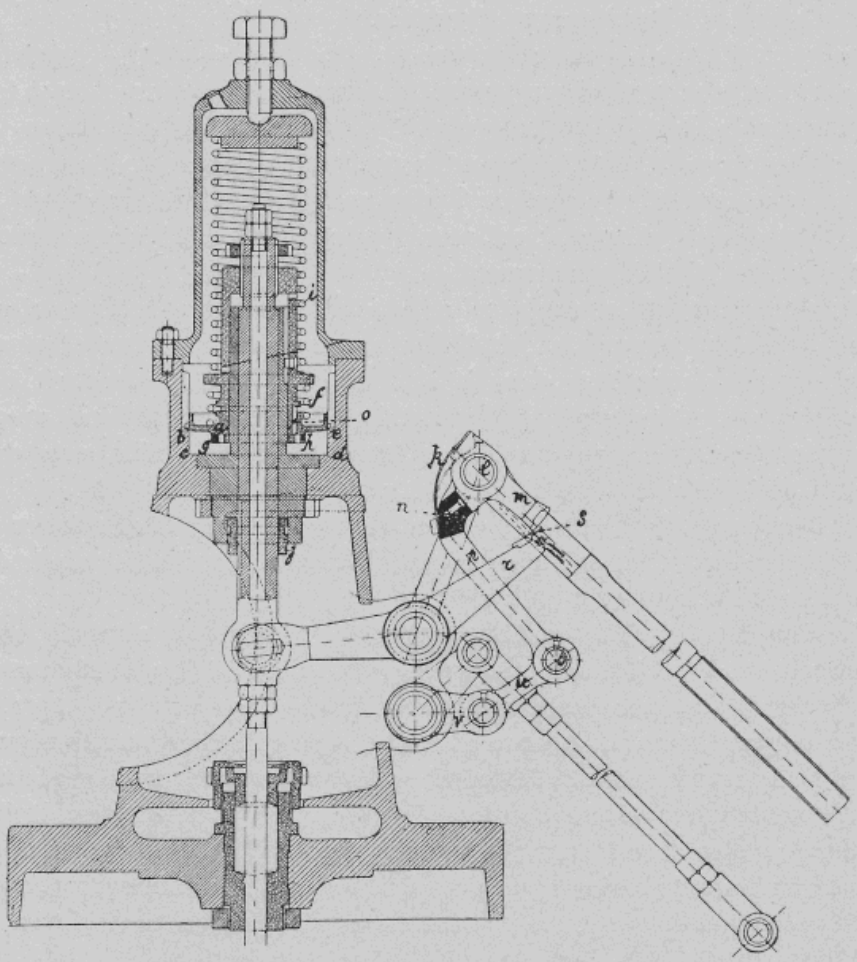


Fig. 11. — Distribution Preud'homme-Prion.

instantanées en chaque point sont obtenues à l'aide des centres instantanés de rotation. De la courbe des vitesses on passe facilement à celle des accélérations qui permet de déterminer exactement la force du ressort destiné à assurer la fermeture de la soupape.

La distribution au cylindre à basse pression est semblable à celle qui vient d'être décrite ; elle est à déclic, l'admission étant variable à la main à l'aide d'un volant placé sur le support avant de l'arbre de commande du grand cylindre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le but d'amener la soupape à reposer doucement sur son siège, on a employé un amortisseur à huile au lieu des amortisseurs à air généralement utilisés.

L'amortisseur à huile de Colmann, quoique différent comme principe, est le seul qui puisse être comparé à celui employé dans cette machine; en effet, le frein est à orifice constant et à volume variable, réglable en marche, tandis que dans la cataracte de Colmann le volume est constant, l'orifice est variable et le réglage ne peut se faire qu'à l'arrêt.

Lorsque la soupape d'admission est soulevée, le piston *a* la suit dans sa course et sort du cylindre *b*, *c*, *d*, *e*. Dès l'origine du mouvement, les orifices *o* sont ouverts; la levée de la soupape se fait sans résistance et l'huile se trouvant à la partie supérieure du cylindre peut passer à la partie inférieure.

Au moment du déclic, la soupape retombe sous l'action du ressort et de son poids.

Pendant la première partie de sa course, le piston amortisseur n'éprouve qu'une très faible résistance, l'huile pouvant s'écouler latéralement; mais, au moment où la soupape va toucher le siège, le piston obture complètement le cylindre *b*, *c*, *d*, *e*; la résistance de l'huile l'arrête, le ressort *f* se comprime pendant que la soupape continue à descendre et un certain volume d'huile s'écoule par les orifices *o* au fur et à mesure de la descente, formant ainsi frein.

Pendant la course inverse, le grand piston descend à son tour sous l'action du ressort *i* démasquant les trous et supprimant ainsi la résistance à la levée.

La rotation de l'écrou *j* permet de faire monter ou descendre le piston *a*, faisant ainsi varier le moment où commence l'amortissement.

On peut considérer que l'orifice d'écoulement reste constant, parce que la vitesse de la soupape au moment de la fermeture ne peut pas être nulle : il doit y avoir un léger choc qui indique que la fermeture est réalisée; c'est ce qui se produit du reste également dans la cataracte de Colmann et dans la cataracte à air. Il en résulte que le calcul du frein à orifice constant est parfaitement applicable à cette cataracte.

Les paliers de l'arbre moteur, de même que ceux de l'arbre de distribution, sont à graissage automatique par anneau. Le graissage des cylindres se fait à l'aide d'une pompe actionnée par la machine; il y a un tuyau de graissage pour chaque soupape, et le cylindre est également graissé directement.

Le graisseur du tourillon-manivelle est du type dit centrifuge.

Les articulations de la bielle et de la pompe à air sont graissées automatiquement.

Le condenseur par mélange est horizontal; sa capacité est calculée,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

non d'après le volume du cylindre d'admission, mais d'après le temps pendant lequel la condensation peut s'effectuer et aussi d'après le volume de vapeur à condenser.

La pompe à air est verticale avec clapet de pied; elle est commandée par un balancier actionnée par une bielle attelée au bouton de la manivelle. Le vide obtenu en marche normale est de 70 cm.

Groupe électrogène de la Société anonyme des ateliers Jaspar de Liège et de la Société anonyme « Énergie » de Marcinelle (Belgique). — Ce groupe électrogène se compose d'une dynamo à courant continu actionnée, par l'intermédiaire d'une courroie, par un moteur à vapeur du système Hoyois.

Dynamo. — Cette dynamo, d'une puissance de 60 kilowatts, débite normalement 130 ampères sous une tension de 440 volts, à la vitesse angulaire de 725 t : m.

La carcasse inductrice est en fonte d'une seule pièce et de forme cylindrique; elle est munie de quatre noyaux polaires venus de fonte. Les épanouissements polaires, de section rectangulaire, ont une section de 220 mm sur 205 mm.

Les quatre bobines inductrices, reliées en tension, sont enroulées avec du fil de cuivre de 1,2 mm de diamètre, soigneusement isolé.

La carcasse présente une section utile de 400 cm²; le diamètre d'alésage est de 525 mm, et l'entrefer diamétral de 15 mm.

L'induit, de 510 mm de diamètre extérieur et de 310 mm de longueur, a un noyau feuilleté et denté.

Les tôles, de 250 mm de diamètre intérieur, sont isolées au papier et montées sur un croisillon claveté sur l'arbre; deux couronnes de ventilation ont été ménagées entre les paquets de tôles.

Les 76 encoches, de 30 mm de profondeur et de 10,5 mm de largeur, reçoivent chacune 6 conducteurs de 11 $\times$ 2 mm, isolés au coton.

L'enroulement est maintenu dans les encoches par des baguettes en bois et des frettes.

Le collecteur comprend 227 lames en cuivre dur étiré et isolées au mica; son diamètre est de 360 mm; il présente une largeur utile de 260 mm.

Le courant est recueilli par quatre rangées de quatre balais en charbon.

Moteur à vapeur. — Le moteur à vapeur horizontal et monocylindrique est à détente automatique pour le régulateur et avec condenseur en tandem.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre du cylindre	400 mm
Course du piston	550 —
Nombre de tours par minute	120 —
Pression de marche	8 kg : cm²
Puissance normale indiquée, en chevaux	100 —

Il est muni d'un condenseur, avec pompe à air horizontale, actionnée par le prolongement de la tige du piston.

L'admission de vapeur se fait par soupapes horizontales disposées dans les fonds du cylindre.

Ces soupapes sont actionnées au moyen du système de distribution Hoyois (*fig.* 12), type E, par virgules mues par un excentrique. Le déclic est sous la dépendance du régulateur genre Watt, à amortisseur à air agissant automatiquement et rapidement, de façon à assurer une marche très régulière de la machine, en mettant constamment l'admission de vapeur en rapport avec le travail à effectuer.

Les soupapes étant équilibrées, l'effort à vaincre par le déclic pour leur soulèvement est pour ainsi dire nul et, par ce fait, la réaction du déclic sur le régulateur est insignifiante ; ce dernier conserve une grande sensibilité.

L'admission de vapeur de la boîte au cylindre se faisant directement sans aucun conduit intermédiaire, l'espace nuisible est réduit au minimum, d'autant plus que l'émission de la vapeur se fait également au moyen de tiroirs disposés dans les fonds.

Les orifices d'échappement étant placés en contre-bas du cylindre, à chaque coup de piston, l'eau qui se trouve dans le cylindre est évacuée instantanément et d'une façon complète, d'où suppression radicale des coups d'eau, cause de tant d'avaries.

Le faible déplacement des distributeurs permet une allure très rapide de la machine, tout en offrant des garanties sérieuses contre l'usure et le déréglage.

Le petit nombre de pièces en mouvement permet, en outre, un graissage économique et des dépenses d'entretien fort réduites.

A ce point de vue, ce type de machine convient très bien, comme moteur de stations centrales d'électricité, pour l'attaque directe des dynamos et des alternateurs à des vitesses angulaires pouvant s'élever jusqu'à 200 t : m.

D'autre part, la complète séparation du mécanisme d'admission et d'échappement permet de prolonger la période d'admission jusqu'aux 8/10 de la course totale du piston et de régler le degré de compression séparément et à volonté.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

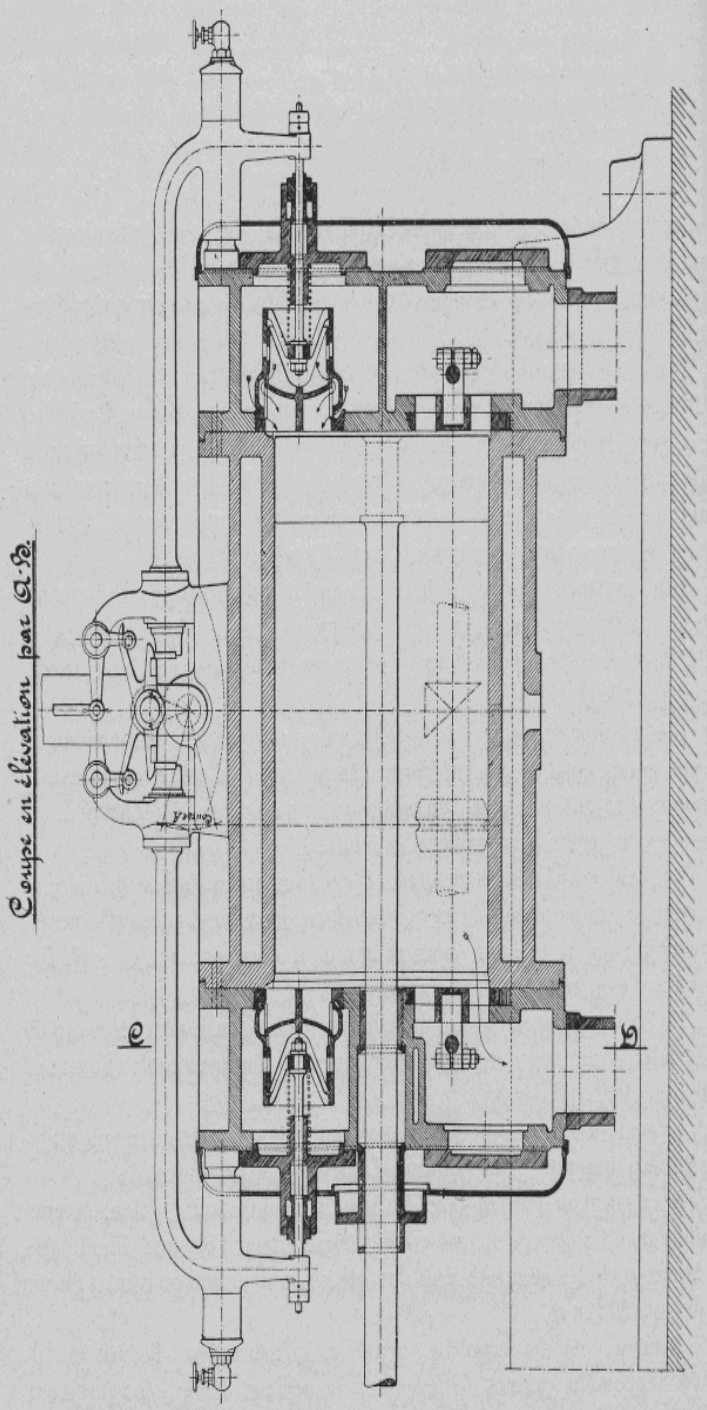


Fig. 12. — Distributeur Hoyois.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces admissions prolongées permettent de faire supporter au moteur une surcharge excessive aussi longtemps qu'il est nécessaire et sans aucun danger.

Les pertes par condensation sont réduites au minimum, grâce à l'emploi d'une enveloppe de vapeur dans les fonds ainsi que dans la périphérie entière du cylindre, formé d'un simple tuyau à double paroi, venu directement de fonte.

La circulation continue de la vapeur empêche toute accumulation d'air à la partie supérieure. Un seul purgeur automatique suffit pour évacuer les eaux de condensation des enveloppes et des couvercles.

En cas d'avarie survenant au régulateur ou à la prise de vapeur, un dispositif très simple permet de supprimer automatiquement l'admission de vapeur.

Groupe électrogène de la Société anonyme des ateliers de constructions électriques de Charleroi et de la Société anonyme des ateliers Carels frères de Gand (Belgique). — Ce groupe électrogène est constitué par une dynamo à courant continu, du type État Belge, actionnée directement par un moteur à vapeur compound horizontal, avec cylindres en tandem.

Dynamo. — La dynamo est construite sur les mêmes plans et d'après les mêmes données que celle déjà décrite, faisant partie du groupe électrogène de la Compagnie internationale d'électricité [1].

A la vitesse angulaire de 100 t : m, elle peut débiter 850 ampères sous 440 volts.

Moteur à vapeur. — Ce moteur (*fig.* 13), d'une puissance de 650 chevaux, a ses deux cylindres disposés en tandem; le cylindre à haute pression a 540 mm de diamètre, et celui à basse pression, 900 mm. La course des pistons est de 950 mm, et la vitesse angulaire normale de 110 t : m.

Le bâti de la machine est supporté dans toute sa longueur par des massifs en maçonnerie.

La distribution est du système Carels à soupapes équilibrées et à détente variable, par le régulateur, au petit cylindre et fixe au grand cylindre.

Les cylindres sont constitués par une enveloppe et un fourreau en fonte dure; la vapeur parcourt l'enveloppe avant d'agir sur les pistons qui sont du type suédois.

1. Voir page 7.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La distribution de vapeur pour l'admission et l'échappement s'effectue par quatre soupapes pour chaque cylindre. Ces soupapes sont à double siège avec larges surfaces coniques ; comme elles sont parfaitement équilibrées, elles n'opposent que peu de résistance aux organes en mouvement. L'ouverture et la fermeture se produisent sans choc ni frottement, et l'étanchéité reste parfaite.

Tandis que l'admission au petit cylindre est soumise à l'action du régulateur, la distribution au grand cylindre est variable et réglable à la main dans certaines limites.

Aux soupapes d'admission du petit cylindre, le déclic se produit au

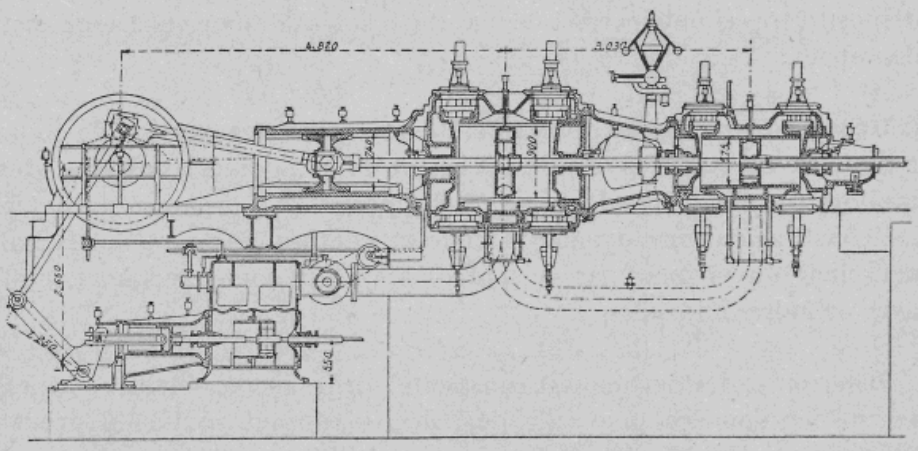


Fig. 13.

levier même des soupapes (*fig.* 14), afin de réduire l'inertie des pièces en mouvement lors de leur chute. Le taquet est attelé à la barre de l'excentrique ; en descendant, il rencontre le levier et l'entraîne à très faible vitesse jusqu'à ce qu'il ait basculé par la rencontre du collet dont la position se règle par le régulateur ; à cet instant, la soupape tombe, la détente étant ainsi réglée par la position du collet.

Quant à l'échappement, il est réglé par le même excentrique au moyen de deux leviers courbes à mouvement progressif. La douceur de la distribution résulte de la faible vitesse des divers organes en prise, au commencement de l'ouverture et à la fin de la fermeture.

L'avance à l'échappement et la compression sont réglables à la main.

L'admission et l'échappement au grand cylindre s'effectuent de cette même manière également au moyen d'un seul excentrique.

L'admission et l'échappement au cylindre à haute pression sont variables entre 0 et 75 0/0 de la course, sous l'action d'un régulateur d'une grande sensibilité, système Porter.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La faible résistance des organes de distribution n'ayant aucune influence sur la sensibilité du régulateur commandé par engrenages, on peut obtenir une marche régulière, même pour de grandes variations de charge.

Le régulateur permet de ramener la différence de vitesse angulaire à 3 °/₀ près, après une période de réglage de 10 secondes, avec débrayage de la totalité de la charge.

Le contre poids du régulateur est mobile et peut être déplacé au moyen d'une vis de rappel; il est possible de faire varier la vitesse angulaire de 10 °/₀ pendant la marche. Ce contrepoids peut être commandé par un petit moteur électrique et, dans ces conditions, il est alors possible de le régler directement à partir du tableau de distribution, dispositif avantageux lorsque l'on a à coupler des alternateurs en parallèle. Une disposition particulière empêche tout emballement du moteur, au cas où les engrenages du régulateur viendraient à se briser.

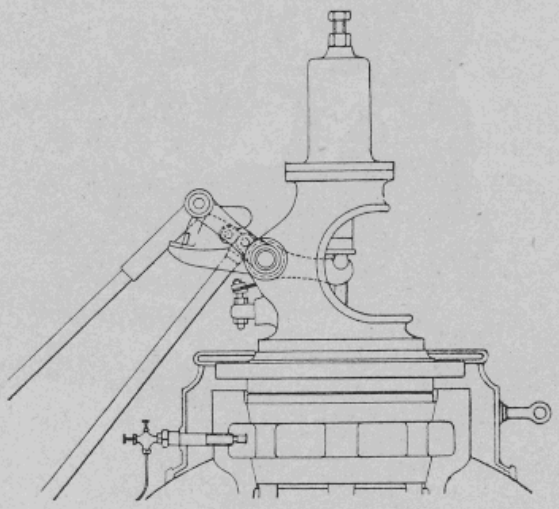


Fig. 14. — Support d'admission portant le déclic.

Ce moteur fonctionne à condensation; le condenseur horizontal à double effet, placé dans le sous-sol, est commandé par le bouton de la manivelle.

Les paliers de l'arbre moteur sont à graissage automatique et continu. Le graissage des cylindres est assuré par une double pompe à pression forcée, actionnée par le moteur. Les graisseurs des autres organes sont à débit visible et accessibles pendant la marche.

Une circulation d'eau froide est établie dans les paliers et dans le bâti sous la glissière inférieure.

Dynamos de la Société Gramme. — Les différents types de dynamos à courant continu, construites par la Société Gramme, étaient représentés à l'Exposition par un modèle de chacun de ces types.

Les dynamos bipolaires, construites pour des puissances comprises

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entre 0,6 et 20 kilowatts, peuvent supporter des surcharges atteignant jusqu'à 25 °/₀ de la charge normale. Ce type de machine bien connu a un induit avec enroulement Gramme en anneau. La dynamo exposée, d'une puissance de 18 kilowatts, peut débiter 150 ampères sous 120 volts, à la vitesse angulaire d'environ 950 t : m.

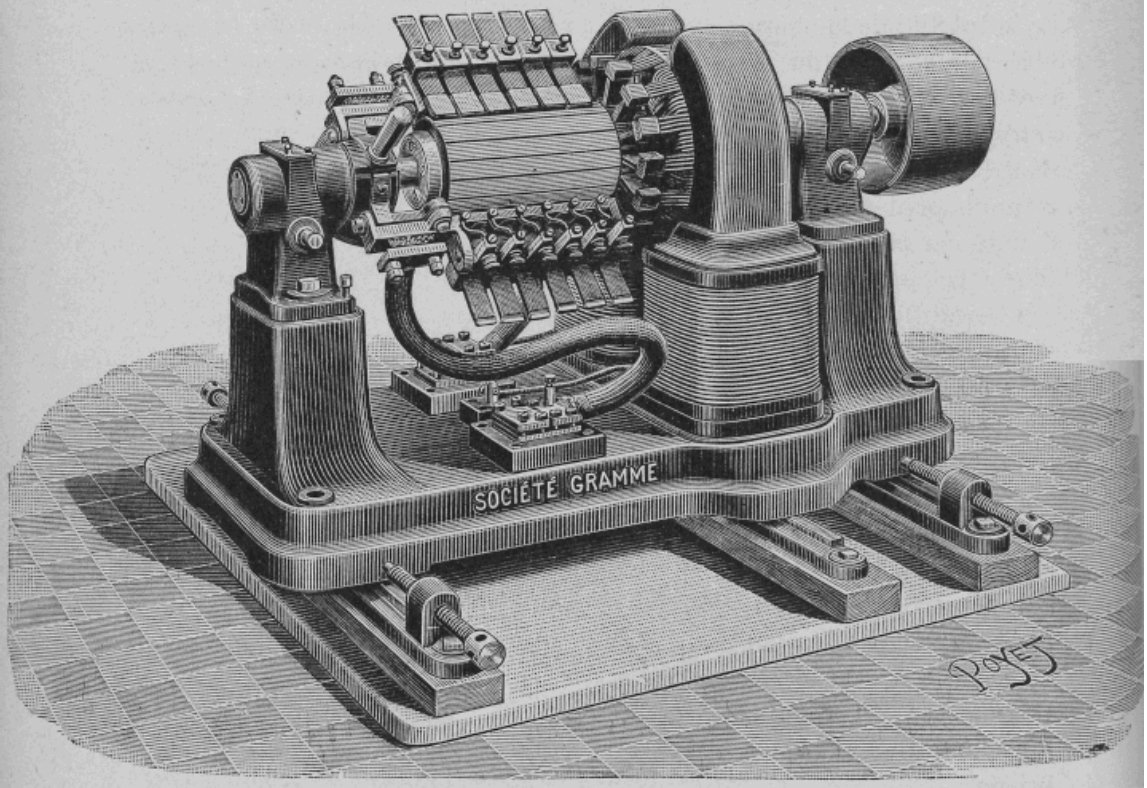


Fig. 15. — Dynamo Gramme pour électrolyse.

Les dynamos, type léger, à encombrement réduit, ont tous leurs organes parfaitement protégés. L'induit est bobiné en tambour avec conducteurs logés dans des rainures. Ces dynamos peuvent également fonctionner comme moteurs; elles se construisent pour différentes puissances, depuis 0,25 jusqu'à 20 chevaux. La dynamo exposée, d'une puissance de 16,5 kw, peut débiter 150 ampères sous 110 volts, à la vitesse angulaire de 950 t : m; elle est à 4 pôles dont 2 pôles conséquents.

Les dynamos pour applications électrochimiques (*fig.* 15) sont du type dit supérieur; de construction très robuste, elles peuvent supporter des surchages élevées. L'induit a un enroulement en anneau Gramme. Les balais, en charbon, sont indépendants et démontables pendant la marche; leur calage est individuel. La dynamo exposée débite 450 ampères sous

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une tension de 5 à 7 volts à la vitesse angulaire de 1200 t : m. La série courante de ces dynamos comporte des modèles débitant de 40 à 3600 ampères.

Les dynamos multipolaires se construisent pour toutes puissances comprises entre 20 et 400 kilowatts. Suivant leur puissance, l'inducteur comporte de 4 à 8 pôles avec carcasse en acier coulé. L'induit, bobiné en tambour, a ses enroulements logés dans les rainures du noyau. La dynamo exposée a 6 pôles, débite 750 ampères sous 125 volts à la vitesse angulaire de 400 t : m ; elle est excitée en dérivation et a un rendement, à pleine charge, de 92 °/₀.

La Société Gramme avait également exposé un type de petite dynamo utilisé pour la charge de petites batteries d'accumulateurs servant à l'allumage des moteurs à explosion. Cette dynamo débite 5 ampères sous une tension de 5 volts ; elle tourne à une vitesse angulaire d'environ 1500 t : m et est commandée directement par le moteur. Ces machines rendent de grands services dans les garages d'automobiles. Étudiées spécialement pour la recharge en cours de route des batteries d'allumage, elles sont installées de manière que, dès la vitesse de régime atteinte, un coupleur ferme automatiquement le circuit de charge ; d'autre part, un régulateur, également automatique, maintient la tension constante quelle que soit la vitesse du moteur.

Groupe électrogène de la Société anonyme d'électricité Lahmeyer de Bruxelles et de la Société anonyme des ateliers Carels frères de Gand (Belgique). — Ce groupe électrogène (*fig.* 16 et 17) se compose d'une dynamo multipolaire à courant continu actionnée directement par un moteur thermique, système Diesel, type pilon.

Dynamo. — La dynamo, excitée en dérivation, peut débiter normalement 864 ampères sous 550 volts, ce qui correspond à une puissance de 475 kilowatts à la vitesse angulaire de 150 t : m.

La carcasse inductrice est constituée par une couronne en fonte, en deux pièces assemblées suivant un plan horizontal ; la moitié inférieure est munie de semelles permettant de fixer la dynamo sur les fondations. Cette carcasse a 3 mètres de diamètre extérieur et 2,53 m de diamètre intérieur ; sa longueur axiale étant de 380 mm et l'épaisseur de 235 mm, elle a, par conséquent une section de 800 cm².

A l'intérieur de cette couronne sont rapportés et fixés par des vis 12 noyaux polaires, en acier coulé, disposés radialement. Ces noyaux, de forme cylindrique, ont 335 mm de diamètre et 265 mm de hauteur. Les bobines inductrices, en fil de 3,4 mm de diamètre, sont reliées en série ; la résistance totale du circuit inducteur présente à chaud une résistance de 37 ohms, et le poids total de cuivre sur l'inducteur est de 1270 kg.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'induit a un noyau feuilleté, en forme de tambour, supporté par un croisillon dont le moyeu est claveté sur l'arbre. Les tôles formant ce

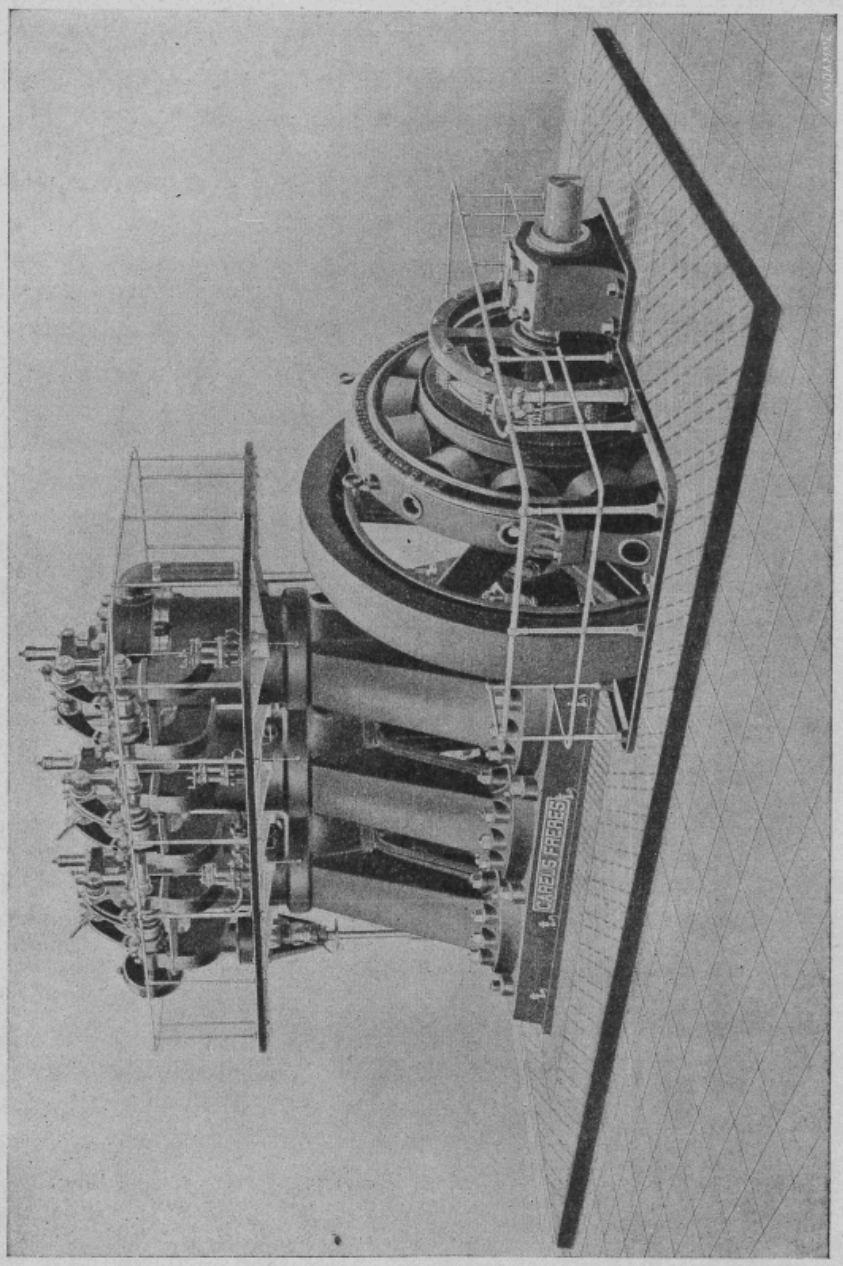


Fig. 16. — Groupe électrogène Lahmeyer-Carels-Diesel.

noyau sont en trois paquets séparés par deux canaux de ventilation ayant chacun 11 mm de largeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce noyau porte 537 encoches de section rectangulaire, ayant chacune 4,7 mm de largeur et 38 mm de profondeur.

L'enroulement induit est du type en tambour avec sections groupées en parallèle; chaque encoche contient deux conducteurs de section rectangulaire ayant 2×15 mm. Ces conducteurs, pliés sur gabarit, sont maintenus dans les encoches par des cales entourées de frettes d'acier. La résistance de l'induit est de 0,010 ohm.

L'induit a une vitesse périphérique de 14,80 m par seconde.

Le collecteur comporte 537 lames en cuivre dur étiré et isolées au mica; il a 1,50 m de diamètre et 16 cm de largeur. Le courant est recueilli par 12 rangées de balais, comportant chacune 4 balais en charbon de 30 mm de largeur et de 20 mm d'épaisseur.

Les tourillons porte-balais sont supportés par un cercle en fonte fixé au palier extérieur et se déplaçant par la manœuvre d'une tige munie d'une vis sans fin.

A pleine charge, cette dynamo a un rendement de 93,7 0/0; à demi-charge, de 92,4 0/0, et à trois quarts de charge, de 93,6 0/0.

Moteur Diesel. — Ce moteur à pétrole développe une puissance normale de 500 chevaux à la vitesse angulaire de 150 t : m. Sa puissance maximum peut atteindre 600 chevaux.

Ce moteur, du type vertical, comporte 3 cylindres dont les manivelles sont calées à 120°.

Les trois cylindres reposent sur un soubassement portant en même temps les quatre paliers de l'arbre moteur.

Le diamètre des cylindres est de 500 mm et la course des pistons de 750 mm; le diamètre de l'arbre dans les paliers est de 280 mm et la portée de 650 mm. Du côté du volant, l'arbre est maintenu par un grand contre-palier de 260 mm de diamètre et de 650 mm de portée.

Les pistons sont de la forme ordinaire et portent huit cercles en fonte. A chaque seconde course, ils reçoivent une injection d'huile entre le premier et le second cycle.

Les bielles sont en trois pièces. Le corps est en acier et reçoit les coussinets, dont chacun est formé de deux parties.

Le coussinet du piston, de 200×300 mm, est en bronze phosphoreux, tandis que celui du bouton de manivelle, de 300×320 mm, est en acier coulé, garni de métal blanc.

La longueur de la bielle peut être modifiée, suivant besoin, au moyen d'intercalaires venant entre le corps et la grosse tête. Pour le réglage des paliers, on se sert également d'intercalaires qui peuvent être montés sans que l'on soit obligé de démonter les paliers, disposition très pratique à cause du grand poids des pièces.

La distribution se fait au moyen de cames calées sur un arbre hori-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

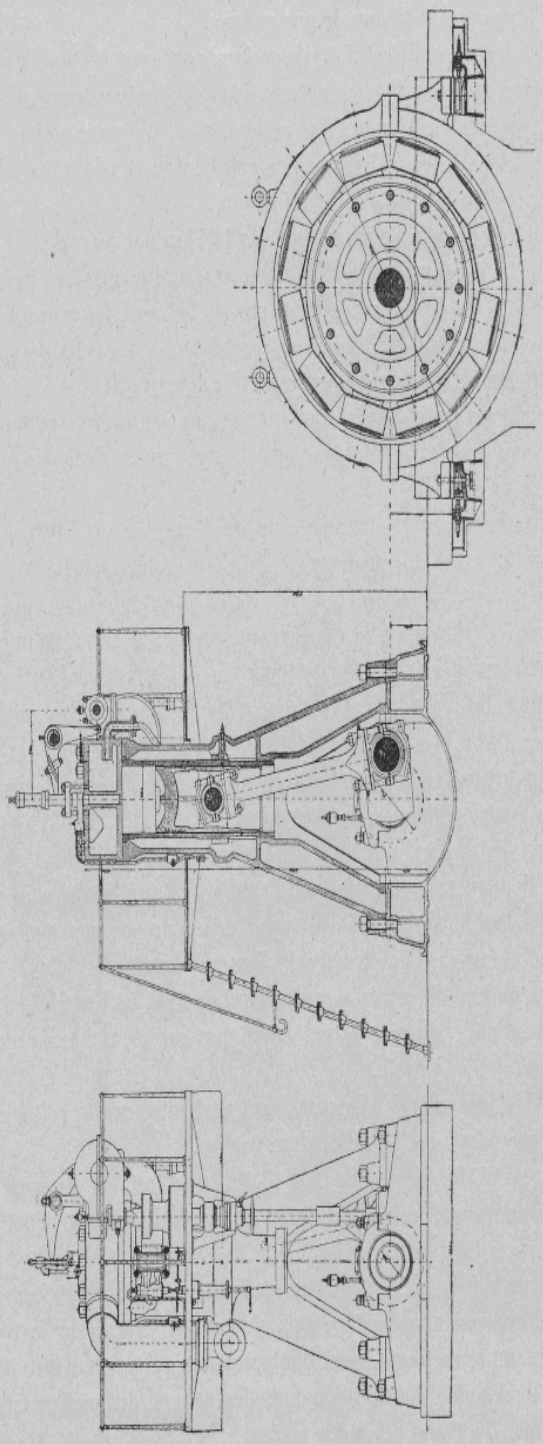


Fig. 17. — Détails de construction du groupe électrogène Lahmeyer-Carels-Diesel.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

zontal; le levier de la soupape de combustion est en deux parties, ce qui permet de retirer toutes les soupapes sans avoir à démonter l'arbre des cames.

Le cylindre, ouvert d'un côté, est fermé de l'autre par un couvercle où se trouvent quatre soupapes logées verticalement: une pour l'aspiration, la deuxième pour l'injection du combustible, la troisième pour l'échappement des produits et la quatrième pour l'admission de l'air comprimé, lors de la mise en marche du moteur.

L'ouverture des trois premiers clapets est réglée par des leviers et par un excentrique monté sur un arbre que met en mouvement une transmission à pignons dentés, ayant une vitesse angulaire qui est la moitié de celle de l'arbre moteur.

Les soupapes se ferment automatiquement par l'action de ressorts.

Les cylindres, ainsi que les couvercles, sont refroidis efficacement au moyen d'une circulation d'eau froide; il en est de même de la soupape et du tuyau de décharge.

La décharge de l'eau réfrigérante passe par un entonnoir, ce qui permet toujours d'en vérifier la température.

Le réglage du moteur est assuré par un régulateur axial permettant de faire varier la vitesse angulaire de 145 à 155 tours par minute. L'irrégularité maximum est de 2 0/0 en passant brusquement de la pleine charge à la marche à vide.

Le degré d'irrégularité est constant pour chaque vitesse possible, ce qui est obtenu par un mouvement spécial du point d'attaque des ressorts du contrepoids.

Le régulateur agit sur la soupape d'aspiration de la pompe à pétrole et règle de cette façon la quantité nécessaire de combustible.

Le régulateur est en outre muni d'un dispositif de déclic automatique pour le cas où la vitesse dépasserait une certaine limite, si un accident survenait aux pièces du régulateur ou de la pompe.

A la vitesse angulaire de 160 t:m à la minute, le déclic automatique du régulateur agit et le moteur s'arrête, supprimant ainsi toute cause de rupture du volant, etc.

Ces moteurs sont donc parfaitement appropriés pour l'attaque de dynamos, tant pour l'éclairage que pour la traction électrique; la mise en parallèle des alternateurs à commande directe s'obtient avec la plus grande facilité.

Le graissage du tourillon de piston se fait au moyen des rainures du piston, qui se remplissent périodiquement.

L'huile de ce graissage, à l'intérieur, est fournie par un Mollerup actionné par l'arbre de distribution pour chaque cylindre. Ce système

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de graissage donne complète satisfaction et répond à toutes les exigences d'un moteur moderne à combustion.

Les trois boutons de manivelle sont lubrifiés au moyen d'anneaux qui y amènent l'huile sous l'action de la force centrifuge.

Tous les paliers sont munis chacun de trois anneaux graisseurs ; les réservoirs à huile possèdent des niveaux montés à l'extérieur du soubassement, ce qui permet de vérifier si le graissage s'effectue bien.

Toutes les pièces en mouvement du régulateur et de la pompe sont enveloppées et graissées par barbotage.

Une plate-forme entourant le moteur rend accessibles toutes les pièces de distribution.

Toute la tuyauterie se trouve sous cette plate-forme et le moteur, ainsi dégagé, revêt un aspect fort élégant.

Le moteur Diesel n'est pas un moteur à explosions, mais, au contraire, à combustion lente, dont le diagramme indicateur ressemble à celui d'une machine à vapeur à admission variable; il travaille avec un cycle à quatre temps.

Premier temps. — Descente du piston; aspiration de l'air ambiant dans le cylindre.

Deuxième temps. — Montée du piston ; compression de l'air à environ 35 atmosphères, ce qui l'amène à une température correspondant au rouge incandescent.

Troisième temps. — Deuxième descente du piston ; injection graduelle, dans cet air incandescent, d'une petite quantité de combustible liquide, quantité réglée par le régulateur suivant la puissance momentanément nécessaire. Ce combustible s'enflamme au contact de l'air surchauffé sans l'intervention d'aucun organe d'allumage et brûle en poussant le piston (à pression constante suivie d'une détente adiabatique) ; le diagramme montre une ligne (de combustion) horizontale plus ou moins longue suivant la position du régulateur.

Après la période d'admission du combustible a lieu la détente des gaz brûlés ; ce troisième temps constitue la période motrice proprement dite.

Quatrième temps. — Deuxième montée du piston ; les produits de la combustion (CO^2 et vapeur d'H^2O) sont chassés du cylindre.

Dans les moteurs du même genre, comme les moteurs à essence et à pétrole, le combustible est introduit dans le cylindre pendant l'aspiration, c'est-à-dire pendant la première course, et c'est pourquoi la combustion y détermine une explosion. Dans les moteurs Diesel, au contraire, le combustible est introduit dans le cylindre après la compression ; sa combustion s'effectue peu à peu à cause de la haute température et sans système d'allumage spécial ; la pression dans le cylindre n'augmente pas sensiblement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'injection du combustible liquide a lieu au moyen d'une pompe à air spéciale qui envoie le liquide, au moment voulu, dans le cylindre. Cette pompe, indépendante du moteur, comporte deux cylindres à triple expansion. Elle peut être commandée, soit par accouplement direct avec l'arbre du moteur, soit par un moteur électrique spécial.

La compression à 60 kg : cm² est atteinte en trois temps. L'air comprimé et chaud entre dans un récipient où il est refroidi et purgé ; il est ensuite aspiré dans le cylindre suivant qui le porte à une pression supérieure. La compression en trois temps empêche la température de l'air comprimé de s'élever au-dessus de 130°-150° environ, condition indispensable pour la conservation et le bon fonctionnement des soupapes. De plus, la compression en trois temps comparée à la compression en deux temps, permet de réaliser une économie de 8 à 10 0/0 au moins du travail nécessaire à la production de l'air d'insufflation.

Le démarrage du moteur s'effectue au moyen de l'air comprimé, emmagasiné dans deux réservoirs d'une capacité de 400 litres à une pression d'environ 50 kg : cm². Deux des cylindres du moteur sont munis du dispositif spécial de mise en marche. Le démarrage s'obtient en plaçant, à la main, le moteur hors du point mort et en le mettant ensuite en communication avec le réservoir d'air comprimé. Après quelques tours, il suffit d'admettre le combustible pour que le moteur fonctionne automatiquement.

Ce moteur est exclusivement destiné à la consommation des combustibles liquides et utilise indifféremment des huiles de toute quantité. Il est aux combustibles liquides ce que le moteur à vapeur est aux combustibles solides, son rendement thermique est quatre à cinq fois plus grand que celui du moteur à vapeur et il est, en outre, beaucoup plus simple au point de vue construction.

Ce moteur consomme en moyenne 200 gr de pétrole brut par cheval et par heure.

Dynamo de la Société parisienne pour l'industrie des chemins de fer et tramways électriques. — La machine exposée à Liège appartient à la série normale de dynamos à courant continu de faible puissance, comprenant 12 types de construction analogue dont la puissance varie depuis 1 jusqu'à 50 kw.

Comme génératrice, elle débite 150 ampères sous 225 volts à la vitesse angulaire de 900 t : m. Comme réceptrice, elle fonctionne à la tension de 220 volts en fournissant 40 chevaux à la vitesse angulaire de 820 t : m.

Le poids total de la dynamo, y compris la poulie, est de 850 kg.

La carcasse de l'inducteur est en acier coulé de grande perméabilité magnétique. Les noyaux des bobines inductrices, au nombre de 4, sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cylindriques, afin de réduire au minimum la longueur de l'enroulement pour diminuer les pertes et, par suite, obtenir un meilleur rendement.

Les bobines inductrices sont enroulées sur des carcasses rigides entourant le noyau ; elles sont maintenues en place par les épanouissements polaires, formés de tôles assemblées par des rivets et fixés dans l'intérieur même du noyau.

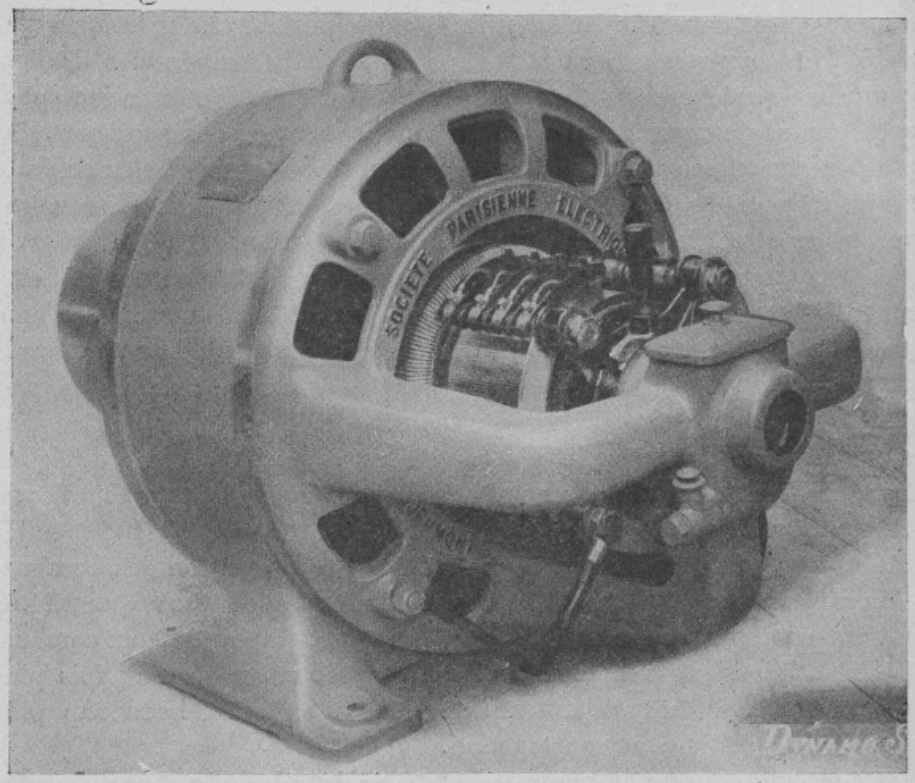


Fig. 18. — Dynamo de la Société parisienne électrique.

Grâce à cette disposition, on a pu réduire à leur minimum les fuites magnétiques qui se produisent à la surface des épanouissements polaires sous l'action du passage des dents de l'induit.

L'induit a un noyau feuilleté en tôles de fer doux. Le fer employé a une grande perméabilité magnétique et un faible coefficient d'hystérésis. Les tôles ont généralement 0,5 mm d'épaisseur ; elles sont isolées l'une de l'autre par une feuille de papier parcheminé très fin collée sur l'une des faces. Ces tôles sont assemblées en un ou plusieurs paquets compacts et maintenues par des plateaux de serrage en fonte. L'ensemble du noyau ainsi constitué est solidement claveté sur l'arbre.

Afin d'assurer une bonne ventilation de l'induit, on a ménagé entre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux paquets consécutifs de tôles, ainsi qu'à chacune des deux extrémités du noyau, des espaces libres ou évents, permettant d'aspirer l'air chaud qui se trouve à la partie intérieure de l'induit et de le refouler à l'extérieur sous l'action de la force centrifuge. Cette circulation d'air est rendue possible par des trous pratiqués, au voisinage de l'arbre, dans les tôles et dans les plateaux de serrage, ainsi que dans la partie intérieure du collecteur. Dans ces conditions, le courant d'air, dû à la rotation de l'induit, refroidit toute sa masse ainsi que l'intérieur du collecteur ; en outre, comme il est refoulé sur les bobines inductrices, il empêche qu'elles ne s'échauffent outre mesure.

L'enroulement induit est du type en tambour et disposé de manière à assurer le plus grand refroidissement possible. Il est constitué soit par des spires semblables faites sur gabarit, soit par des barres massives de cuivre, pliées également sur gabarit, afin d'assurer toujours une parfaite symétrie de l'enroulement. Les différentes spires élémentaires de cet enroulement sont soigneusement isolées d'avance et logées dans les rainures du noyau, où elles sont maintenues par des frettes très solides. Ce mode de construction diminue les chances d'accident et, en cas d'avarie, il est facile de localiser le dérangement et de remplacer rapidement et sans difficulté les sections endommagées, sans qu'il soit nécessaire de défaire complètement l'enroulement.

Le collecteur est formé de lames, en cuivre électrolytique étiré, assemblées et isolées entre elles par du mica. A chaque lame sont soudées les extrémités des sections de l'induit. Les lames du collecteur sont maintenues serrées, au moyen d'un écrou, entre deux emmanchements coniques soigneusement isolés des lames du collecteur par interposition de mica. Le tambour supportant le collecteur est en fonte ; il est solidement claveté sur l'arbre et est muni, comme on l'a déjà dit, d'ouvertures servant à la ventilation.

Les balais sont en charbon graphitique ; ils sont calés sur le collecteur de manière à éviter toute production d'étincelles nuisibles et ne nécessitent aucun changement de position, soit que l'on marche à vide ou en surcharge. Les blocs de charbon sont parfaitement maintenus par leurs porte-balais ; ces derniers sontdisposés de manière à permettre de régler à volonté, même pendant la marche, la pression de chaque balai sur le collecteur. La largeur du collecteur et le nombre de balais de chaque rangée sont largement calculés pour éviter tout échauffement exagéré ainsi que la production d'étincelles nuisibles.

Les porte-balais sont fixés sur des tourillons dont le nombre est généralement égal à celui des pôles de la dynamo. Ces tourillons sont supportés par une étoile en fonte mobile sur le palier de la machine et permettant de modifier au besoin le calage, même pendant la marche. Une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poignée, dont est munie la partie supérieure de l'étoile, facilite cette manœuvre et sert aussi à fixer l'ensemble dans la position voulue.

Les paliers peuvent être disposés de manière à permettre de fixer la dynamo contre un mur ou au plafond si elle est utilisée comme moteur.

Les coussinets sont en bronze et leurs dimensions sont largement suffisantes pour éviter tout échauffement exagéré, même lorsque la dynamo est surchargée.

Le graissage est automatique et obtenu au moyen de bagues baignant dans l'huile et entraînées par l'arbre.

Les bornes sont placées sur le côté de la carcasse et les câbles servant à les relier aux lignes de balais traversent la culasse. Ces bornes peuvent être laissées à découvert ou bien enfermées dans une boîte de protection.

Dynamo Stone pour l'éclairage électrique des trains construite par la Société alsacienne de constructions mécaniques de Belfort. — La dynamo système Stone est caractérisée par un système spécial de régulation destiné à maintenir à peu près constante sa force électromotrice, parce que sa vitesse angulaire reste sensiblement la même, quoique la vitesse de marche du train varie depuis 30 jusqu'à 120 km à l'heure. Ce résultat est obtenu automatiquement par simple glissement de la courroie de commande.

La dynamo est suspendue à un solide cadre métallique en fer forgé, mobile autour d'un axe horizontal fixé au châssis de la voiture. L'axe de suspension de la dynamo est disposé de telle sorte que celle-ci exerce sur la courroie un effort qui suffit, pour une vitesse de marche déterminée, à transmettre sans glissement la puissance nécessaire. L'étrier de suspension de la dynamo peut être déplacé de part et d'autre de la position verticale, à l'aide d'une vis et d'un écrou fixe, ce qui permet d'augmenter ou de diminuer à volonté l'effort exercé sur la courroie par le poids de la dynamo et, par suite, la tension de cette courroie.

La dynamo (*fig.* 19), du type bipolaire, a son induit et tous les organes de conjonction et d'inversion enfermés dans une enveloppe W_2 affectant la forme d'une cloche disposée horizontalement. L'huile servant au graissage s'écoule d'un réservoir par un conduit qui, au repos, se trouve obturé par une palette magnétique ; cette palette est attirée dès que la dynamo fonctionne, de sorte que le graissage ne se fait que pendant la marche.

Le sens du courant produit par la dynamo varie nécessairement avec le sens de marche du véhicule, mais les connexions de la dynamo avec les batteries d'accumulateurs sont inversées en même temps.

La commutation se produit sur le plateau B monté sur l'arbre de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dynamo. Sur ce plateau sont fixées deux séries de pinces à ressorts

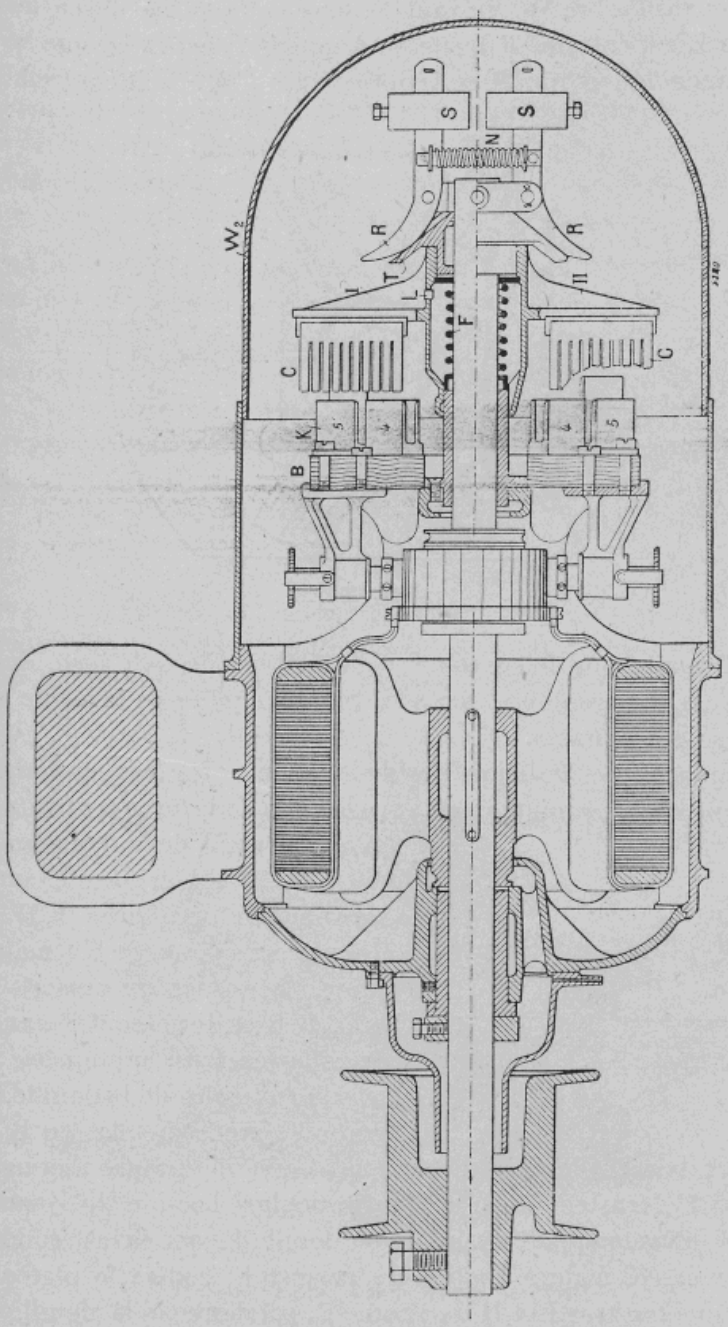


FIG. 19. — Dynamo Stone.

K — 1, 2, 3, 4 et 5 — 1′, 2′, 3′, 4′, et 5′ (*fig.* 20) — dont les lames extérieures

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

forment deux butées entre lesquelles peut osciller d'un certain angle un peigne C à deux branches I et II (*fig.* 20), solidaire d'un manchon L (*fig.* 19) monté fou sur l'arbre W. Suivant le sens de rotation de l'arbre W, le manchon L est entraîné à droite ou à gauche, jusqu'à ce que les bras I et II viennent buter (*fig.* 20) soit contre 1, 2, 3 — 4, 5, soit contre 1′, 2′, 3′ —

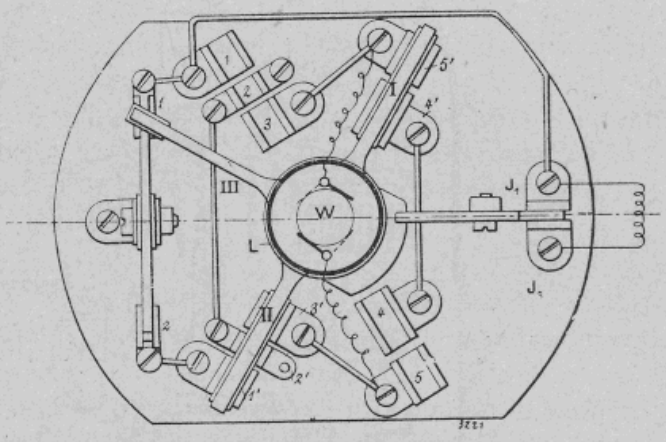


FIG. 20.

4′, 5′ ; les connexions de ces pinces sont établies de telle sorte que, dans les deux cas, les accumulateurs sont toujours reliés de la même manière aux pôles de la dynamo.

La conjonction et la disjonction de la dynamo avec les accumulateurs se produisent aussi mécaniquement sous l'action de la force centrifuge. A cet effet, l'arbre W de la dynamo (*fig.* 19) porte un manchon claveté, sur lequel sont montés deux bras R,R portant deux masses pesantes S,S maintenues rapprochées par un ressort N. Les bras R,R se terminent à gauche par deux mâchoires appliquées sur un cône T, solidaire de la douille L maintenue éloignée du plateau B par un ressort en boudin F. A mesure que la vitesse de marche augmente, les masses S,S s'écartent l'une de l'autre, malgré l'action du ressort N et appuient davantage sur le cône T; la douille L, qui en est solidaire, se trouve poussée, malgré l'action du ressort F, contre le plateau B. Il s'ensuit que les bras I et II du peigne C, solidaire de la douille L, déjà dirigés, dès la mise en route, contre les lames extérieures des pinces 1, 2, 3, 4, 5 ou 1′, 2′, 3′, 4′, 5′, pénètrent dans les lames des pinces et établissent les connexions de la dynamo avec la batterie.

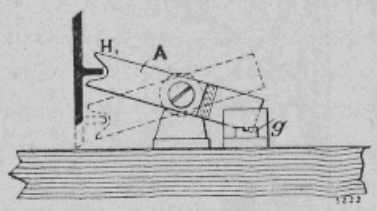


FIG. 21.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La mise en circuit d'une résistance d'absorption est effectuée à l'aide d'un levier accessoire A (*fig.* 21) mobile sur une petite colonne vissée sur le plateau B. Lorsque la douille (*fig.* 19) est poussée vers la dynamo, elle entraîne, par l'intermédiaire du bourrelet H dont elle est munie, un levier, dont l'extrémité était engagée entre deux pinces J_1, J_2 (*fig.* 20), et la résistance se trouve ainsi intercalée. A l'arrêt, la douille L s'éloigne de la dynamo et la résistance est supprimée par sa mise en court-circuit.

Groupe électrogène de la Société anonyme Westinghouse et de la Société française de constructions mécaniques (anciens établissements Cail). — Ce groupe électrogène contribuait à l'alimentation en énergie électrique de la section française; il se compose d'une dynamo Westinghouse à courant continu, du type multipolaire, et d'un moteur à gaz de 100 chevaux, construit par la Société française de constructions mécaniques.

Le moteur à gaz actionne la dynamo par l'intermédiaire d'une courroie.

Dynamo à courant continu. — Cette dynamo (*fig.* 22), d'une puissance de 75 kilowatts, fournit le courant sous une tension de 250 volts à la vitesse angulaire de 750 tours par minute. Elle est excitée en dérivation.

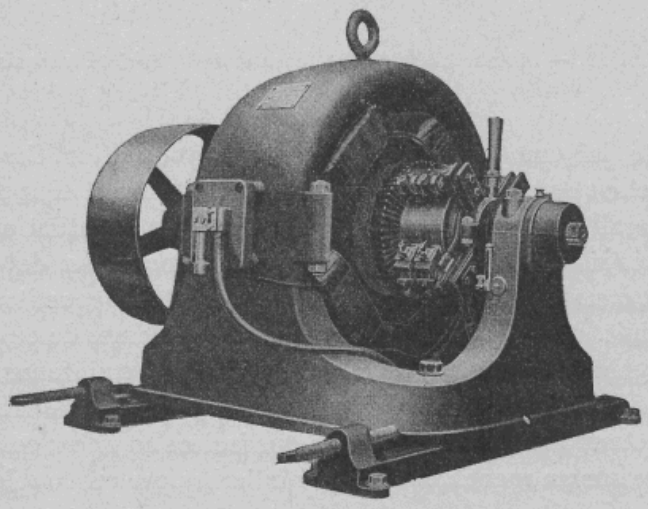


Fig. 22. — Dynamo Westinghouse de 75 kw.

Le système inducteur est constitué par une carcasse magnétique de forme circulaire, munie de 4 pôles. Les pièces polaires sont feuilletées et prises dans la carcasse en fonte au moment de sa coulée. La carcasse

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est divisée en deux pièces suivant un plan horizontal, afin de permettre la vérification et, au besoin, la réparation de l'induit. La partie inférieure est venue de fonte avec le socle, qui porte les deux paliers de l'induit.

Les bobines inductrices ont une forme plate et sont enroulées à la machine sur gabarit.

L'induit se compose d'un noyau feuilleté formé de disques en tôle d'acier doux, soigneusement recuits et empilés les uns sur les autres

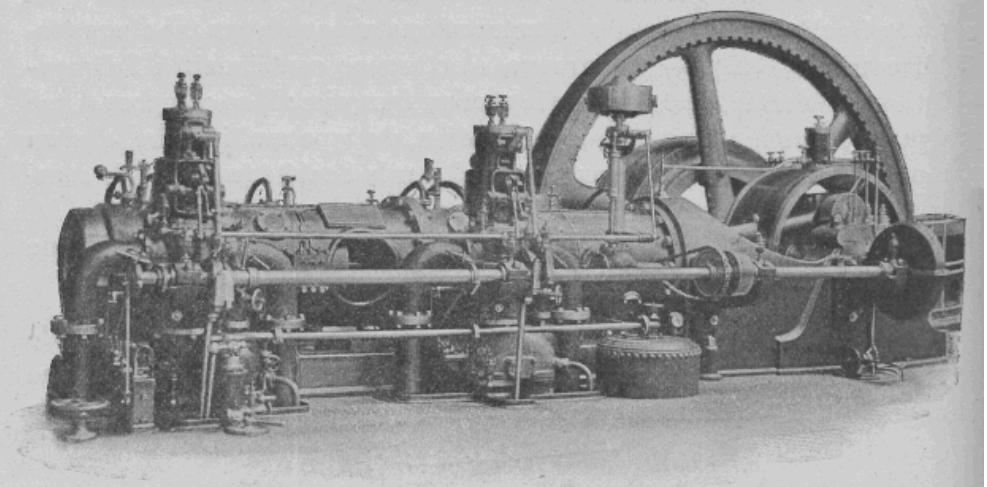


Fig. 23. — Moteur à gaz de 100 chevaux de la Société française.

par paquets, laissant entre eux des canaux de ventilation. Ces paquets de tôles sont clavetés sur une lanterne fixée sur l'arbre et sont munis d'ouvertures parallèles à l'axe, pour assurer une bonne ventilation.

La périphérie du noyau porte des rainures ouvertes, de forme rectangulaire, dans lesquelles sont logés les conducteurs constituant l'enroulement induit. Ces conducteurs sont formés de lames de cuivre isolées, mises sur gabarit à la forme de la bobine; ils sont maintenus solidement dans les rainures du noyau à l'aide de cales en fibre et de frettes.

Le collecteur a des lames en cuivre dur isolées au mica; ces lames sont maintenues sur un manchon claveté sur l'arbre par un double cône isolé à l'aide de micanite.

Les porte-balais sont à glissières radiales et sont munis de balais plats en charbon cuivré.

Les coussinets sont à centrage et à graissage automatique à bagues.

Le poids brut de cette dynamo est de 3000 kg. Elle a 1,79 m de longueur, 1,086 m de largeur et 1,186 m de hauteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moteur à gaz. — Le moteur à gaz (*fig.* 23) a une puissance de 100 chevaux à la vitesse angulaire de 170 t : m. Il est alimenté par du gaz pauvre fourni par un gazogène dans lequel on peut utiliser divers combustibles.

C'est un moteur à quatre temps et à simple effet dont la vitesse angulaire est régularisée par un volant de 3,50 m de diamètre pesant 4 500 kg. Il comporte deux cylindres de 380 mm de diamètre, disposés en tandem et reposant sur une longrine assemblée avec le bâti.

La tige du piston avant sert de crosse ; elle est reliée au piston d'arrière par une tige en deux parties assemblées par des clavettes et glissant dans un presse-étoupe. Ce presse-étoupe est composé d'anneaux en fonte dure en trois parties : ces anneaux sont pressés extérieurement par des ressorts et glissent à frottement doux dans des alvéoles qui assurent leur indépendance. Les pistons sont également munis de garnitures métalliques en fonte à ressorts ; leur course commune est de 650 mm.

La bielle a une longueur égale à six fois celle de la manivelle ; elle est munie, à ses deux têtes, de coussinets à rattrapage de jeu. L'arbre qu'elle attaque est formé de deux flasques de vilebrequin en acier moulé et par des éléments droits en acier Martin-Siemens. Les cinq parties constituant l'arbre sont assemblées à chaud, puis calées par des broches cylindriques avant finissage. L'arbre repose sur trois coussinets garnis de métal antifriction ; il a un diamètre de 190 mm au point où le volant est claveté, de 150 mm au droit des paliers moteurs et de 140 mm au droit du palier extérieur. La distance d'axe en axe des paliers moteurs est de 800 mm ; celle de l'axe du palier moteur de gauche à l'axe du palier extérieur est de 1 500 mm.

Les boîtes de distribution des cylindres sont placées latéralement, comme on le voit sur la figure 23, ce qui permet une visite facile des soupapes d'échappement. Chaque boîte contient un distributeur mélangeur équilibré, admettant en même temps l'air et le gaz, ainsi qu'une soupape d'introduction du mélange et une soupape d'échappement. Pour visiter ces organes, il suffit d'enlever le couvercle guide supérieur, car ils sont disposés sur une même verticale. La soupape d'introduction et la soupape d'échappement sont à réglage fixe et sont commandées par des excentriques et des leviers roulants ; leur fonctionnement est très doux.

La soupape d'échappement est munie d'un dispositif spécial comprimant le ressort de rappel pendant la phase d'aspiration, cette tension redevenant normale pendant les autres phases.

La soupape d'admission, étant soustraite à l'action de la dépression qui se produit dans le cylindre lors des faibles charges, peut être munie d'un ressort ayant une tension normale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La régulation du moteur est obtenue par l'admission, en quantité variable avec la charge, du mélange explosif présentant toujours la même composition. A cet effet, la commande du distributeur mélangeur est prise sur l'excentrique d'admission : le distributeur s'ouvre en même temps que la soupape d'introduction et se ferme en un point de la course du piston déterminé par la position du régulateur et correspondant à la charge. Ce mode de réglage permet d'éviter les parties soustractives des diagrammes que l'on constate aux faibles charges, quand les variations d'admission sont obtenues par étranglement. Grâce aux dispositions prises pour assurer le mélange intime de l'air et du gaz, on peut passer brusquement de la pleine charge à la marche à vide et inversement sans que le moteur s'emballe ou ralentisse.

Groupe électrogène de la Société belge d'électricité A. E. G. (Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft) et de la Société anonyme des ateliers du Thiriau à la Croyère (Belgique). — Ce groupe électrogène (*fig.* 24) se compose d'une dynamo à courant continu, type A. E. G. actionnée directement par un moteur à vapeur, type Corliss, du système A. Pirson.

Dynamo. — La dynamo a une puissance de 225 kw et fournit le courant sous une tension de 460 volts, à la vitesse angulaire de 125 t : m.

Le système inducteur se compose d'une carcasse circulaire en fonte, coulée en deux pièces assemblées suivant un plan horizontal. Des vis de réglage, placées à la partie inférieure de la carcasse, permettent d'obtenir un centrage facile, tant pendant le montage que, plus tard, après usure des paliers.

Les noyaux des bobines inductrices sont feuilletés et fixés à la carcasse par un empattement renforcé au point de jonction. Des épanouissements polaires en fer forgé sont vissés sur les noyaux, ce qui permet d'enlever facilement les bobines en cas de réparation ; de plus, les bobines et les noyaux peuvent être facilement enlevés ensemble et latéralement, sans qu'il soit nécessaire de démonter la machine.

Les bobines inductrices sont chacune formées de plusieurs sections ne reposant pas directement les unes sur les autres, mais séparées entre elles et des noyaux par de petits intervalles, ce qui assure un parfait refroidissement par l'air environnant.

L'induit a un noyau feuilleté et denté portant un enroulement en tambour dont les sections, faites sur gabarit, sont soigneusement isolées, puis placées dans les encoches où elles sont maintenues par des réglettes en bois. Les tôles du noyau sont formées de segments circulaires ; elles sont réunies entre elles au moyen de boulons. Des canaux de ventilation

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont ménagés entre les paquets de tôles. Le croisillon en fonte supportant le noyau est fixé sur l'arbre au moyen de cales et de frettes.

Le collecteur a des lames en cuivre dur étiré, isolées au mica. Le noyau

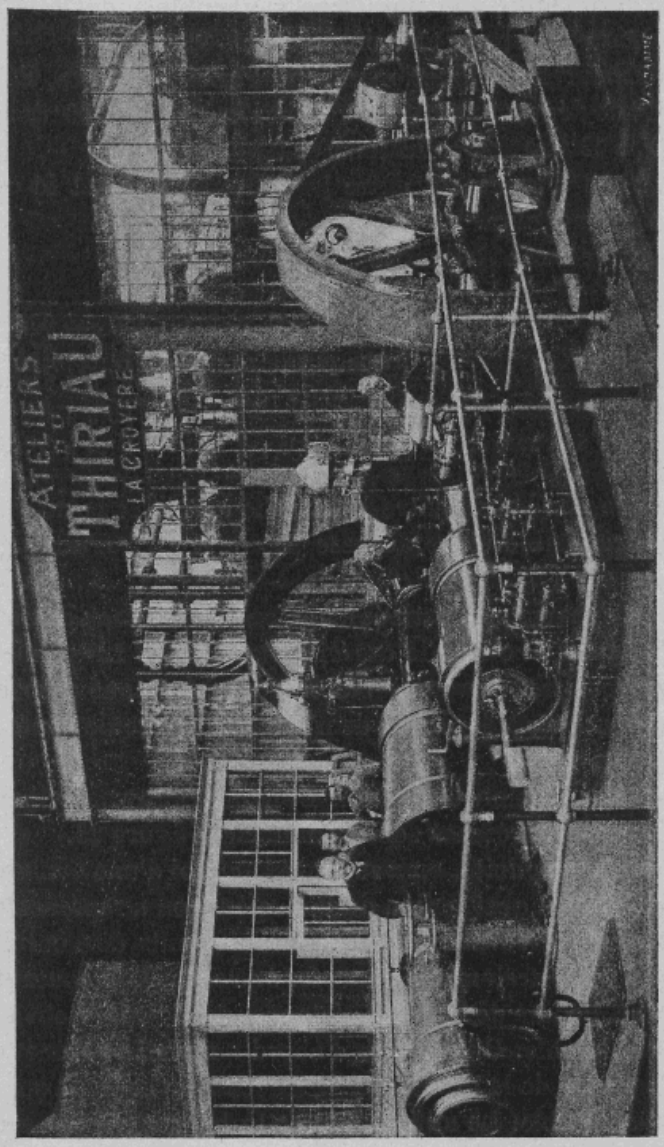


FIG. 24. — Groupe électrogène de la Société A. E. G. et des ateliers du Thiriau.

de ce collecteur est en fonte; il est fixé au croisillon du noyau d'induit de telle manière que l'induit et le collecteur peuvent être détachés ensemble de l'arbre.

Les balais sont en charbon et leurs dimensions sont calculées pour permettre une surcharge momentanée de la dynamo. Le réglage et la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fixation des porte-balais se font au moyen d'une vis munie d'un volant à main.

Des câbles souples relient les porte-balais aux bornes de la dynamo.

Cette dynamo peut supporter, sans crachement des balais et sans échauffement nuisible, une surcharge momentanée de 100 0/0 et, pendant deux heures environ, une surcharge de 25 0/0.

Après dix heures de fonctionnement à pleine charge, l'élévation de température ne dépasse pas 35° à 40° dans l'induit, 40° à 50° dans les inducteurs et 45° à 50° dans le collecteur.

La résistance d'isolement entre les enroulements et la carcasse est supérieure à 1 mégohm.

Les rendements sont les suivants :

A pleine charge.....	91,5 à 95,0 0/0
Avec surcharge d'un quart.....	91,5 à 95,0 0/0
A trois quarts de charge.....	91,0 à 94,5 0/0
A demi-charge.....	89,5 à 93,5 0/0
A quart de charge.....	84,0 à 89,0 0/0

Le décalage des balais entre la marche à vide et la marche à pleine charge est très faible et ne dépasse pas la largeur d'une des lames du collecteur.

Lorsque la dynamo est destinée à alimenter un réseau de distribution à trois conducteurs, et c'était le cas à l'Exposition de Liège, elle comporte des bagues spéciales servant à établir les connexions avec un diviseur de tension, dont l'emploi permet de n'avoir qu'une seule génératrice pour assurer le service.

Le diviseur de tension de M. von Dolivo Dobrowolsky repose sur le principe suivant, représenté schématiquement figure 25.

Pour plus de simplicité, on a supposé l'emploi d'une dynamo Gramme bipolaire et, faisant abstraction du collecteur, on a représenté les balais B^1 et B^2 frottant directement sur les enroulements de l'induit. En deux points a et b diamétralement opposés, on recueille le courant alternatif à travers une bobine de faible résistance, mais présentant une self-induction considérable. On suppose d'abord que cette bobine tourne avec l'induit. En raison de la grande self-induction, le courant qui traverse la bobine est très faible. Le milieu o de cette bobine n'a pas seulement la moitié de la tension existant entre les points extrêmes a et b, ce qui est évident, mais encore la moitié de la différence de potentiel existant entre les balais B^1 et B^2 par où s'écoule le courant continu, de sorte qu'en tout temps les tensions B^1o et B^2o sont égales. Les forces électromotrices B^1a et B^2b sont, en réalité, variables; elles augmentent et diminuent suivant la position de l'induit; il en est de même des forces électromotrices

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ao et bo qui peuvent être positives ou négatives. Mais, comme B^1o et B^2o sont les sommes algébriques de $B^1a + ao$ et $B^2b + bo$ et que, pour des raisons de construction, $B^1a = B^2b$, de même que $ao = bo$, il en résulte que les forces électromotrices B^1o et B^2o ont la même valeur.

Par conséquent, on pourra relier au point o le fil neutre N.

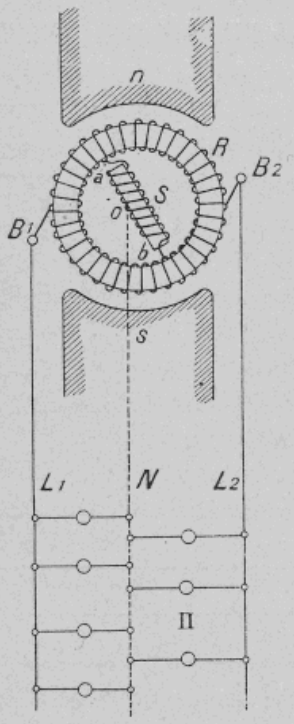


FIG. 25.

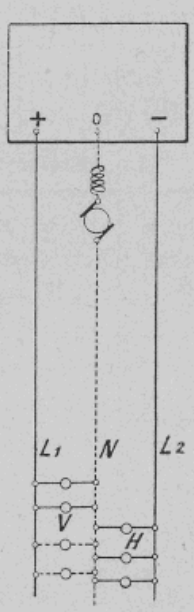


FIG. 26.

Comme la bobine S possède une faible résistance ohmique, le courant continu pouvant circuler dans le conducteur neutre passe facilement à travers les deux moitiés de l'enroulement jusque dans l'induit. Si l'on construit cette bobine de manière que les deux moitiés de l'enroulement soient superposées, le passage du courant continu ne modifie en rien le degré d'aimantation du noyau en fer, la somme algébrique des deux courants continus étant nulle.

Pratiquement, on ne fait pas tourner l'inducteur S ou diviseur de tension avec l'induit ; on l'installe extérieurement à la dynamo (*fig.* 26) et on le relie en deux points opposés de l'induit par l'intermédiaire de deux bagues et de balais. De même, il est avantageux de donner au noyau en fer du diviseur de tension une forme annulaire fermée, afin de n'avoir à enrouler que peu de cuivre pour obtenir une self-induction telle que le courant alternatif qui tend à circuler soit réduit à une valeur négli-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

geable. La figure 27 montre également, d'une façon schématique, le dispositif qui vient d'être décrit. Il est évident que le dispositif indiqué s'applique tout aussi bien au cas d'une machine multipolaire et il serait superflu d'insister là-dessus.

Il est également évident qu'une dynamo pourvue d'un diviseur de tension peut fonctionner comme moteur et peut par suite jouer le rôle de machine de compensation. Ce fait présente de l'importance si la

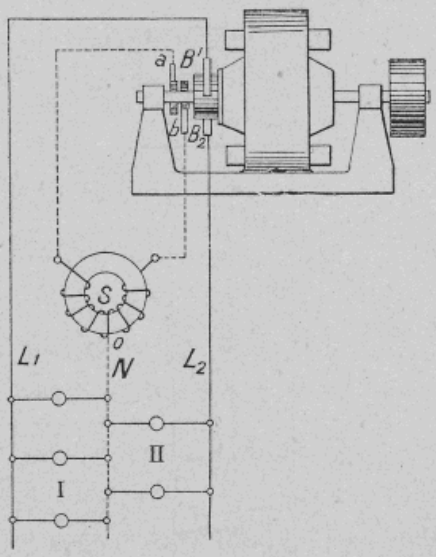


FIG. 27.

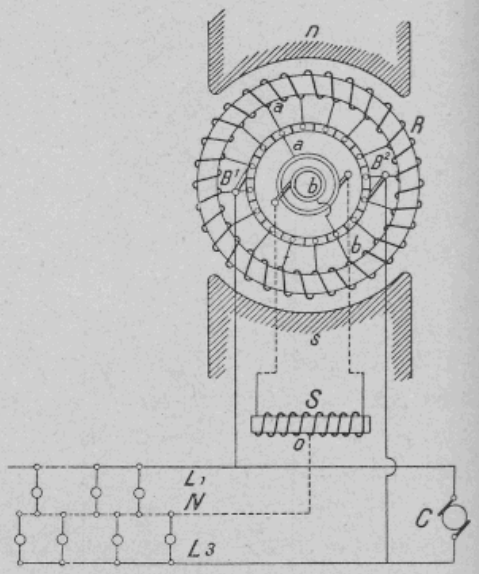


FIG. 28.

station centrale est à une distance suffisante du centre de distribution pour qu'il y ait intérêt à économiser l'installation du conducteur neutre. Dans le cas d'une inégale répartition de l'énergie dans le réseau, une moitié de l'induit de la machine fonctionne comme moteur, tandis que l'autre fonctionne comme dynamo. La figure 28 montre en C une station centrale à 200 volts, dans laquelle on a placé, après coup, un moteur pourvu du diviseur de tension jouant le rôle de compensateur.

Le diviseur partage la tension en deux parties exactement égales, à la condition que la dissymétrie de la charge ne soit pas trop importante par rapport à la puissance de la dynamo, en d'autres termes aussi longtemps que les pertes ohmiques inégales dans les deux parties de l'induit ne prendront pas une valeur trop forte et par suite nuisible. En admettant qu'à pleine charge la chute de tension dans l'induit soit d'environ 4 0/0, une dissymétrie de 10 0/0 de la charge maximum dans les deux moitiés du réseau amène une variation de 0,4 0/0 par rapport à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la tension moyenne, plus environ 0,5 0/0 qui viennent s'y ajouter du fait de la résistance de l'enroulement du diviseur.

D'après ces valeurs, on voit clairement combien sont faibles les variations de tension et à quel point la division se fait exactement.

Malgré tout, dans des cas particuliers, il peut se faire que la chute de tension dans le conducteur neutre soit telle que, bien que les tensions sur les deux ponts soient exactement les mêmes à la station centrale, il n'en soit plus ainsi aux points de branchement des lampes. Ce défaut de réglage peut être corrigé de différentes manières et la meilleure d'entre elles est celle qui consiste à intercaler dans le conducteur neutre un petit survolteur-dévolteur. Celui-ci peut être entraîné soit par un petit électromoteur, soit par l'arbre de la machine principale. Cet égalisateur de tension doit avoir de préférence un enroulement série, afin que la tension qu'il développe se règle automatiquement en grandeur et en direction. L'induit du survolteur-dévolteur ne doit supporter que l'intensité maximum du conducteur neutre, soit environ 10 0/0 de l'intensité maximum de la génératrice. D'autre part, il est aisé de voir que la tension à développer égale seulement la moitié de la différence à corriger, diminuée de l'écart toléré. La puissance de cette machine sera donc très faible comparativement à celle de la machine principale. Ainsi une génératrice de 100 chevaux ne demanderait qu'un survolteur-dévolteur de 1/4 à 1/5 cheval au maximum.

Moteur à vapeur. — Le moteur à vapeur horizontal, compound, à deux cylindres en tandem, est du type Corliss. Sa puissance normale est de 330 chevaux indiqués, avec une pression de vapeur de 10 kg : cm² et avec une détente totale de quinze fois le volume primitif.

Le bâti, les cylindres et leurs entretoises sont emboîtés les uns dans les autres, assurant ainsi à l'ensemble de ces organes une correspondance rigoureuse de leurs axes.

L'entretoise entre les cylindres, construite en deux pièces assemblées suivant leur axe vertical, permet d'effectuer le démontage des boîtes à valves intérieures ainsi que la visite des pistons aussi facilement que dans une machine monocylindrique.

Les dimensions principales et les données caractéristiques de cette machine sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression....	425 mm
Diamètre du cylindre à basse pression....	690 —
Course des pistons.....	800 —
Vitesse angulaire.....	125 t : m
Vitesse linéaire du piston.....	3,33 m par seconde

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au point de vue cinématique, le mouvement d'admission est réduit aux éléments les plus simples. Il se compose d'un levier fou, placé sur le pont de valve et commandé par un excentrique ; ce levier porte un cliquet entraînant dans son mouvement le levier calé sur la tige de la valve. La liaison entre le cliquet et la valve peut être rompue par l'intervention d'une came contre laquelle vient buter la queue du cliquet.

La position de cette came est dépendante de celle du régulateur et permet de faire varier l'introduction de vapeur entre zéro et 70 0/0 de la course du piston.

Une deuxième came, placée à côté de la première, a pour fonction de supprimer automatiquement toute introduction de vapeur en cas d'accident à la commande du régulateur.

La queue du cliquet porte, en outre, un dispositif d'arrêt fonctionnant à la main en cas d'accident au moteur.

La fermeture rapide de la valve d'admission est obtenue au moyen d'un amortisseur combiné à huile et à air. Il est construit de telle sorte que la fermeture de la lumière s'opère très rapidement, tandis que la période de recouvrement est utilisée pour absorber progressivement la force vive acquise par le piston et réduire ainsi le choc à un simple souffle.

Ce réglage, une fois établi, ne peut être influencé en aucune façon par un changement de pression de la vapeur dans le cylindre, ni par suite d'une modification dans la vitesse de régime.

Quant au réglage des valves, il est fait de telle façon que les lumières sont entièrement ouvertes avant 10 0/0 de la course, de sorte que les diagrammes relevés sur le moteur, fonctionnant avec des admissions de 50 à 60 0/0, n'accusent qu'un laminage de vapeur insignifiant.

Le régulateur, du système Porter, permet de faire varier la durée d'admission de zéro à 70 0/0 de la course. Ce régulateur, d'une grande sensibilité, n'est aucunement influencé par la résistance de très courte durée des organes du déclic. L'action du régulateur s'opère donc très rapidement sur la distribution lors d'une variation de charge.

La régularité de la machine n'est d'ailleurs affectée que pendant quelques secondes dans le cas de la suppression complète de la charge.

Un contrepoids mobile, monté sur le levier de commande du régulateur, permet de faire varier le nombre de tours de la machine dans la limite de 5 à 10 0/0 pendant la marche. Cette disposition est très avantageuse lorsqu'il s'agit de coupler des alternateurs en parallèle.

La question des grandes vitesses, si délicate dans son application aux machines perfectionnées, paraît avoir reçu une solution satisfaisante grâce à l'emploi de valves à double passage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce mode de construction, tout en permettant de réduire le diamètre des valves et par conséquent l'importance des efforts exigés pour leur fonctionnement, a en outre l'avantage de diminuer l'amplitude de l'oscillation des leviers de commande, dont l'inertie devient négligeable. Ces conditions ont permis de réaliser pratiquement des vitesses angulaires de 125 à 150 tours par minute.

Le mouvement d'échappement comporte un simple levier calé sur l'axe de la valve et commandé par un excentrique.

Le réglage de l'échappement est établi de telle façon que la lumière est presque entièrement couverte au point mort ; dans ces conditions, la contre-pression du piston se trouve être à son minimum pendant toute la course.

La surface intérieure du cylindre, des fonds ainsi que des lumières est totalement chauffée et présente cette particularité que toute cette surface, manteau et fonds, est parcourue par la vapeur avant que cette dernière ne soit admise dans le cylindre.

Ceci empêche toute accumulation d'eau ou d'air, même en quantités négligeables, et augmente considérablement l'efficacité de l'enveloppe de vapeur.

Cet avantage spécial est obtenu grâce à la position des valves en dessous de l'axe du cylindre.

Les boîtes à valves jouent le rôle de véritables sécheurs de vapeur, grâce à leur construction spéciale ; l'eau de condensation est séparée de la vapeur par une chicane à l'entrée même de la valve d'admission.

Le graissage, étudié d'une façon soignée, s'opère, pour le cylindre et les valves, au moyen d'une pompe double actionnée par la machine. Les paliers moteurs sont à graissage automatique par chaîne. Tous les organes sont munis de graisseurs à débit visible et sont accessibles pendant la marche.

Les essais effectués sur cette machine, tournant à 125 tours par minute et marchant à condensation, accusent une consommation de vapeur de 5,400 kg environ par cheval indiqué et par heure.

Groupe électrogène de la Société belge d'électricité Siemens-Schuckert de Bruxelles et de la Société anonyme John Cockerill de Seraing (Belgique). — Ce groupe électrogène (*fig.* 29) comprend une dynamo à courant continu, du type Schuckert, actionnée directement par un moteur à vapeur compound, système N. François fils.

Dynamo. — La dynamo multipolaire est du type Schuckert, suffisamment connu pour qu'il ne soit pas nécessaire de la décrire.

Moteur à vapeur. — Le moteur à vapeur compound, d'une puissance de 300 chevaux, a été construit par la Société Cockerill sur les plans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de son ingénieur, M. N. François fils. Ce moteur est à piston chauffé ; les deux cylindres sont disposés parallèlement et les manivelles sont calées à angle droit sur l'arbre moteur portant le volant et l'induit de la dynamo.

M. François a étendu au piston le bénéfice de l'enveloppe et cela de la manière suivante :

Le cylindre à haute pression (*fig.* 30) est en réalité composé de deux cylindres isolés, réunis par la chemise extérieure et laissant entre eux un intervalle en communication constante avec l'enveloppe.

Dans chacun de ces cylindres se meut un piston ; les deux pistons sont portés par une même tige qui les maintient à une distance invariable et ils constituent en réalité un seul piston creux, d'une longueur un peu supérieure à la course ; il est constamment rempli de vapeur à la température et à la pression de l'enveloppe dont sa cavité fait aussi partie.

Cette disposition allonge la machine et lui donne un aspect un peu spécial ; l'augmentation de la longueur totale du cylindre est environ de 50 0/0.

Cette disposition permet non seulement de réchauffer efficacement le piston, mais présente, en outre, l'avantage de réchauffer directement les parois internes du cylindre.

L'effet de ce réchauffement est encore augmenté par le fait que les pistons tiennent constamment en mouvement la vapeur servant à cet échauffement et expulsent à chaque coup de piston l'eau ruisselant sur les parois. Enfin, elle permet la libre dilatation de chaque partie du cylindre sans exiger de joints intérieurs.

L'assemblage est obtenu par un joint extérieur et le cylindre est assujetti dans l'enveloppe par des nervures qui assurent l'exactitude et la rigidité de la construction, tout en permettant la dilatation.

Le mode d'assemblage des deux pistons a, du reste, été étudié de façon à prévenir le desserrage et il soustrait la tige aux réactions qui s'exercent intérieurement sur les deux faces du piston.

Dans ce but, l'un des pistons est calé sur la tige ; celle-ci est vissée dans une entretoise tubulaire qui est boulonnée aux deux pistons.

La distribution a été établie également sur un plan nouveau, permettant de fortes pressions et de grandes vitesses et réduisant, autant que possible, l'espace mort en volume et en surface.

La figure 31 donne la coupe du cylindre et la disposition des organes distributeurs ; ceux-ci, placés sur les fonds mêmes du cylindre, sont au nombre de deux.

Ils appartiennent au système de tiroirs doubles, dont les types sont les distributeurs Meyer et Farcot.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le cylindre porte à chacune de ses extrémités une chapelle en rela-

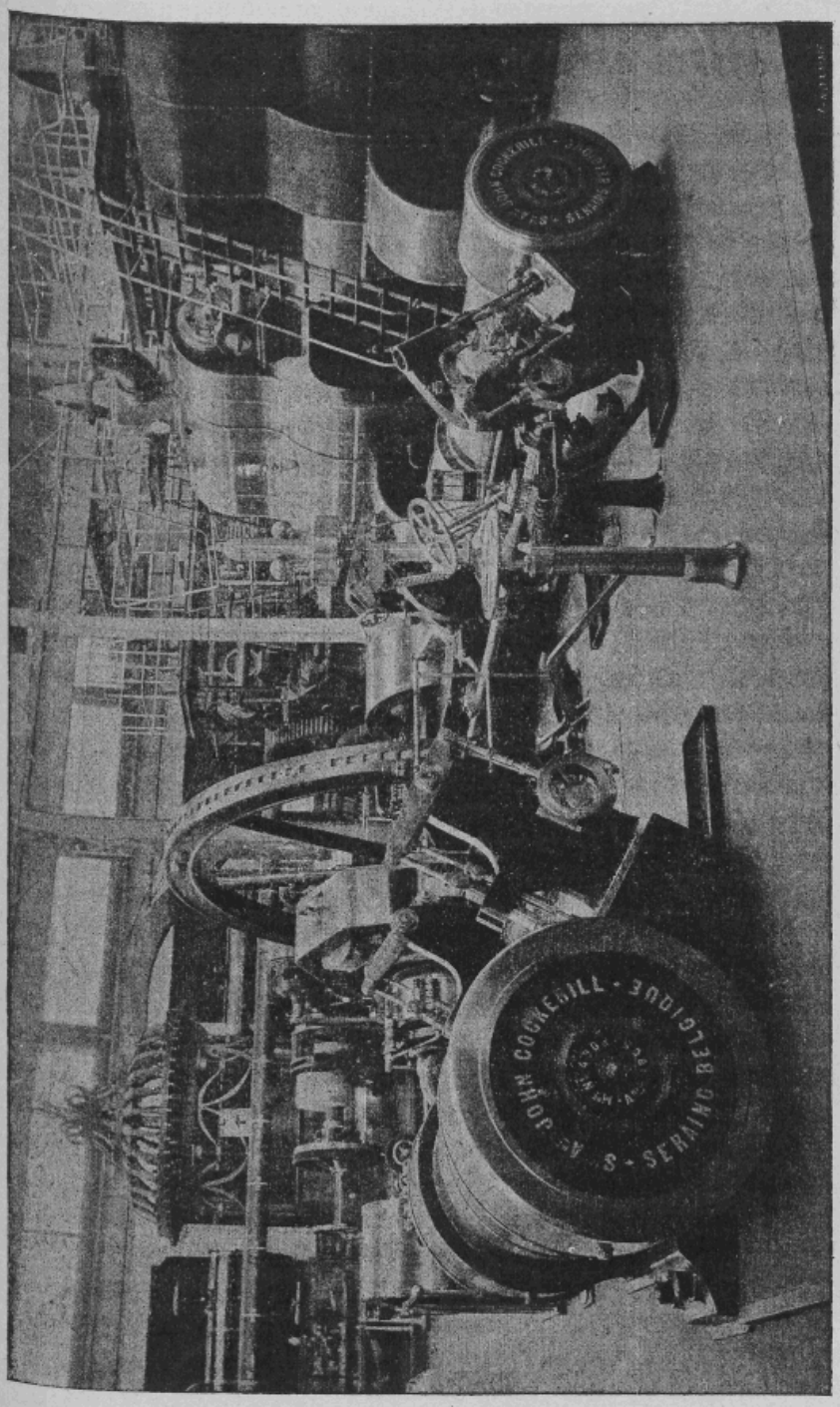


Fig. 29. — Groupe électrogène de la Société belge Siemens-Schuckert et de la Société John Cockerill.

tion à ses deux bouts avec l'enveloppe et recevant par conséquent la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vapeur vive. Dans cette chapelle se trouve un fourreau percé de deux ouvertures, dont l'une correspond à une large lumière pratiquée dans la paroi du cylindre; l'autre est en relation avec la conduite d'échappement.

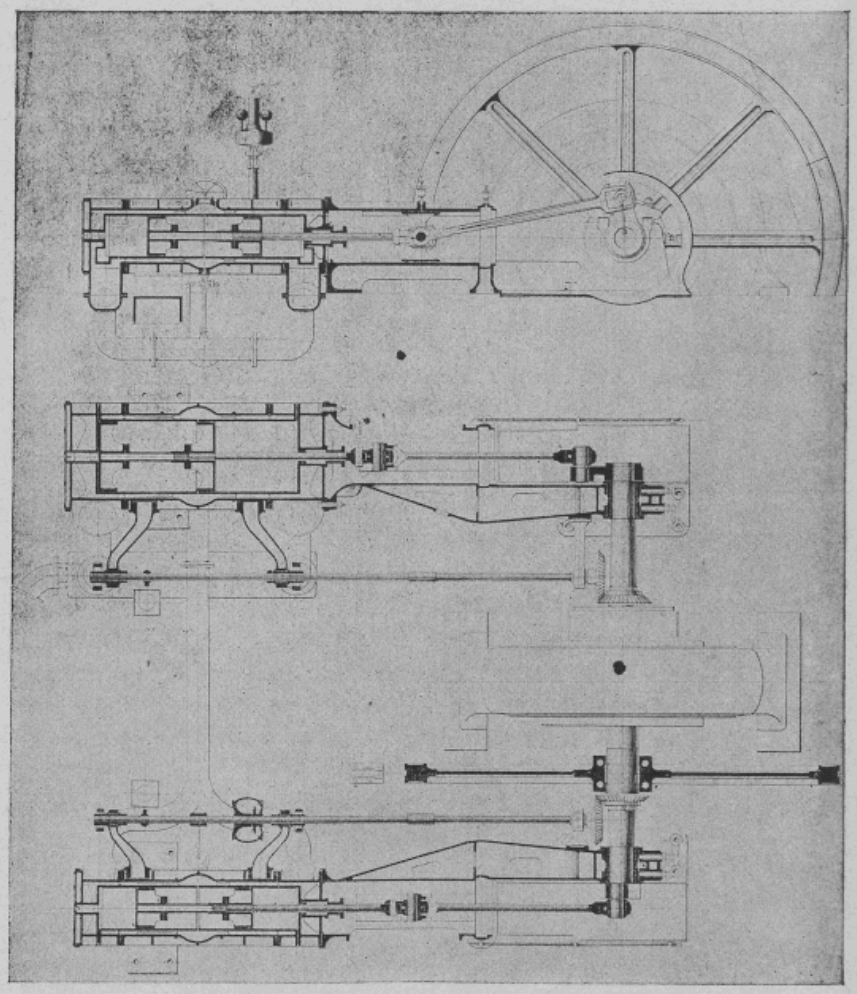


Fig. 30. — Moteur à vapeur à piston chauffé, système François.

Dans ce fourreau se meut un tiroir cylindrique, percé également d'une lumière de même hauteur que celle du cylindre et interrompu par un rétrécissement qui crée, sur une certaine longueur, une cavité en relation avec la lumière d'échappement.

Le mouvement du tiroir est déterminé par des leviers que commande l'excentrique calé sur un arbre auxiliaire placé parallèlement à l'axe du cylindre et recevant son mouvement par l'intermédiaire de roues den-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tées. En descendant, le tiroir place sa lumière en face de celle du fourreau et détermine l'admission de la vapeur qui pénètre ainsi à l'intérieur du tiroir par les deux extrémités.

En remontant, il établit au contraire la communication entre le

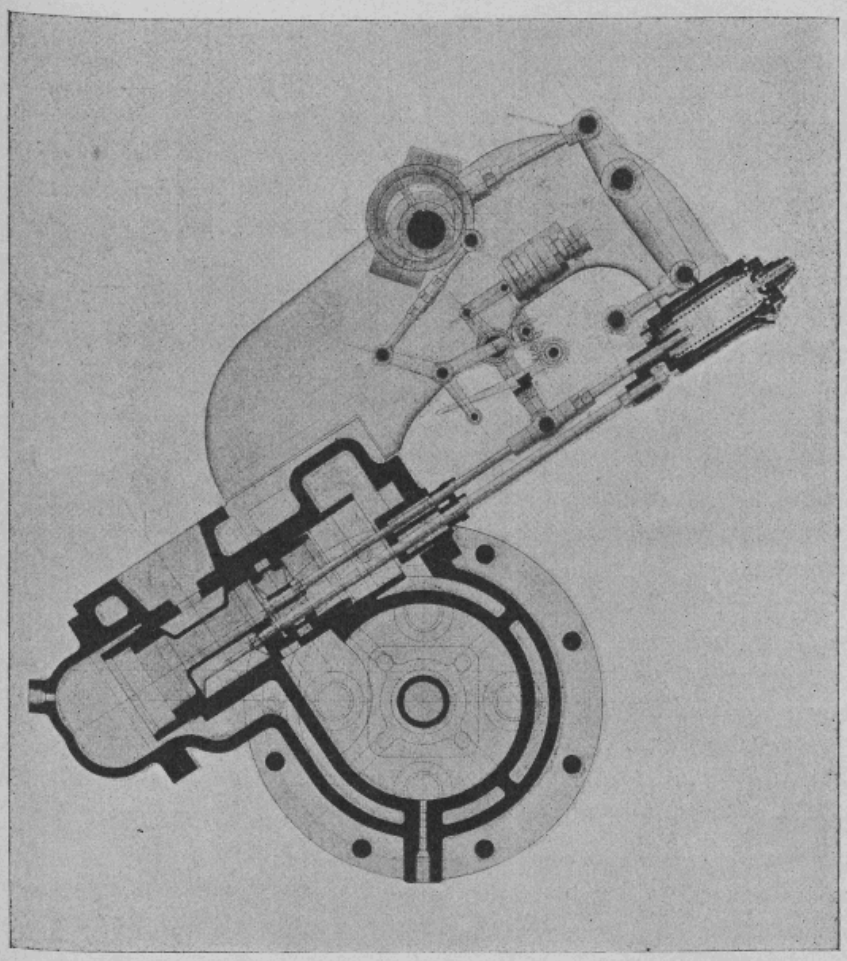


Fig. 31. — Coupe transversale du cylindre par les tiroirs-pistons de distribution. Système N. François.

cylindre et la tuyauterie d'échappement, où la vapeur se rend en contournant la partie retrécie du tiroir.

A l'intérieur de ce tiroir se trouve un second tiroir également cylindrique, faisant l'office de plaque de détente. Sa tige, parallèle à celle du tiroir, porte à son extrémité supérieure un piston glissant dans une boîte qui fait partie de la tige et qui est guidée par un fourreau fixe.

Le mouvement de ces deux tiges s'obtient donc par l'intermédiaire

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une série d'articulations, dont certaines sont munies d'un déclic pour l'ouverture et la fermeture rapides des orifices d'admission et d'échappement.

Cette distribution peut ainsi se prêter à une grande vitesse angulaire du moteur; le déplacement du tiroir principal est bien lié au mouvement de celui-ci, mais la chute du tiroir de détente dépend de l'élasticité du ressort et, par conséquent, sa durée est à peu près constante.

Il importe donc que cette durée soit réduite au minimum pour que l'effet du tiroir de détente ne soit pas altéré ou même inutilisé aux grandes vitesses; pour cela, il faut que la course à effectuer par ce tiroir soit la plus petite possible.

Pour permettre les admissions très courtes, on est même obligé de donner une certaine avance au déclenchement, c'est-à-dire de déclencher le tiroir de détente un peu avant le commencement de la course rétrograde du piston.

En résumé, le moment d'ouverture de l'admission dépend du tiroir principal et le rôle du tiroir de détente se borne à effectuer la fermeture de cette admission.

Cette disposition a l'avantage de permettre des admissions très variables en maintenant une hauteur de chute du tiroir de détente à peu près constante. Le manchon du régulateur actionne un levier permettant de modifier le moment de déclenchement et, par conséquent, la durée de l'admission.

Ce mécanisme permet de faire varier les admissions de zéro à 60 0/0, en conservant au moteur une vitesse angulaire dépassant 120 t : m.

Un dispositif identique est appliqué au cylindre à basse pression, lorsqu'on désire rendre la détente variable par le régulateur aux deux cylindres.

La forme donnée à la paroi du cylindre permet l'expulsion facile de l'eau qui pourrait se trouver dans celui-ci après la détente; la forme du fond de la chapelle, complétée par l'installation d'un purgeur automatique, évite l'entraînement dans le cylindre de l'eau condensée dans l'enveloppe.

La disposition du fourreau à la partie supérieure de la chapelle concourt au même but.

Malgré l'apparente complication du mécanisme, celui-ci n'exige, pour l'admission et l'émission à chaque fond, qu'un excentrique et quatorze pivots et ne comprend aucune came.

En outre, toutes les phases de la distribution peuvent, pour chaque fond, être réglées ou modifiées à volonté, même pendant la marche du moteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Groupe électrogène de la Société belge d'électricité Siemens-Schuckert de Bruxelles et de la Société anonyme des ateliers de construction de la Meuse, à Sclessin, Liège (Belgique). — Ce groupe électrogène (*fig.* 32) se compose d'une dynamo à courant continu, multipolaire, du type Siemens, actionnée directement par un moteur à vapeur horizontal compound, avec cylindres en tandem.

Dynamo. — La dynamo, d'une puissance de 450 kw, à la vitesse angulaire de 1101 t : m, peut débiter 1875 ampères sous une tension de 240 volts.

L'inducteur, en deux pièces, est formé par une carcasse circulaire en fonte dont les deux moitiés sont assemblées par boulons suivant un diamètre horizontal. La demi-carcasse inférieure est munie de pattes de fixation ; deux boulons spéciaux pour chaque assise permettent de déplacer le centre de la carcasse lorsque l'usure des coussinets l'exige. L'assise est prolongée et permet de fixer un chariot dans le cas où il serait nécessaire de tourner sur place le collecteur.

Intérieurement, la carcasse porte des parties dressées et alésées, destinées à recevoir les noyaux polaires; ces derniers, au nombre de douze, sont munis d'épanouissements.

Ces noyaux, fixés à la carcasse au moyen de deux fortes vis, reçoivent les bobines inductrices.

Cette dynamo est à excitation compound.

L'induit est constitué par un noyau denté en tôles isolées; il est supporté par un croisillon claveté sur l'arbre.

Six couronnes de ventilation sont ménagées dans le noyau, assurant un refroidissement énergique.

L'enroulement est du type en tambour, avec sections groupées en parallèle; l'enroulement est réparti dans 168 rainures.

Les spires sont protégées de la masse par des cavaliers isolants et sont maintenues dans les encoches par des réglettes en bois enchâssées dans la partie supérieure des rainures.

Le collecteur, de 1,15 m de diamètre, comporte 504 lames en cuivre laminé et isolées au mica; sa largeur utile est de 280 mm.

La surface totale de refroidissement est de 8303 cm², soit de 2,21 cm² par ampère.

Le courant est recueilli par douze rangées de 6 balais chacune; les balais sont en charbon et présentent chacun une surface de $18 \times 25 = 450\,\text{mm}^2$.

Les tiges porte-balais sont montées sur un curseur dont elles sont isolées; ce curseur est combiné de façon à servir de protection mécanique aux enroulements.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

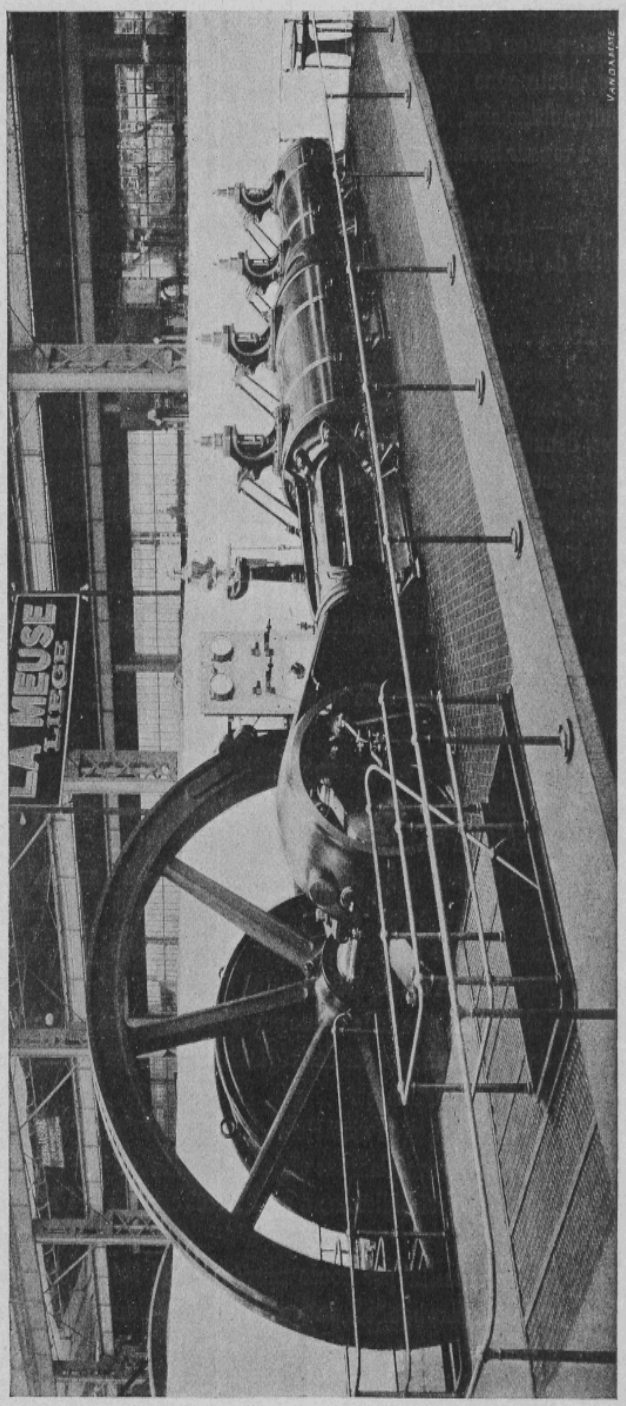


Fig. 32 — Groupe électrogène de la Société belge Siemens-Schuckert et des ateliers de construction de la Meuse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette machine a été soumise aux essais de réception; les pertes, parfaitement établies, se résument comme suit :

a) Pertes par hystérésis, courants de Foucault et ventilation	7 780	watts
b) Pertes par l'excitation « shunt »	5 409	—
c) — — « série »	2 538	—
d) — dans l'induit par effet Joule	9 241	—
e) — dues aux balais	3 525	—
SOIT AU TOTAL	28 493	—

Le rendement est donc de 94 0/0.

La dynamo a été soumise à un essai de variation de charge, de zéro à pleine charge, sans modifier le calage des balais, et il a été reconnu que les balais peuvent être calés dans une position permettant ces variations de débit, sans qu'il soit nécessaire de modifier l'angle de calage, ce qui constitue un grand avantage.

Moteur à vapeur. — Le moteur, d'une puissance de 600-700 chevaux, attaque directement la génératrice de 450 kw, dont l'induit est calé sur l'arbre à côté du volant du moteur.

Le cylindre à haute pression a 550 mm de diamètre, celui à basse pression 900 mm ; la course des pistons est de 1,10 m.

La vitesse angulaire normale est de 110 t : m.

Les soupapes de distribution équilibrées sont logées dans les couvercles et le régulateur commande simultanément la détente des deux cylindres. Il en résulte une très grande régularité de marche, quelles que soient les variations de charge.

Les soupapes d'échappement sont commandées par des leviers roulants.

Tous les organes sont très robustes. Le mouvement de déclic est très simple, d'un réglage et d'un accès faciles.

La consommation de vapeur à 350°, par cheval indiqué et par heure, est de 4,5 kg environ.

Groupes électrogènes de la Société Garbe-Lahmeyer d'Aix-la-Chapelle et de la Société « Gazmotorenfabrik Deutz », de Cologne. — Ce groupe électrogène est constitué par une dynamo à courant continu, de la Société *Deutsche Elektricitätswerke zu Aachen, Garbe-Lahmeyer und C°*, et par un moteur à gaz sortant des ateliers de la *Gazmotorenfabrik Deutz* de Cologne. Ce moteur à gaz était alimenté par un gazogène Deutz à aspiration, alimenté avec des briquettes de tourbe.

Dynamo. — La dynamo (*fig.* 33) a une puissance de 143 kw et débite 1 240 ampères sous 115 volts à la vitesse angulaire de 160 t : m.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La carcasse inductrice, en forme de couronne, est en acier coulé; elle est en deux pièces assemblées suivant un diamètre horizontal. Sa partie inférieure est munie de pattes de fixation boulonnées sur le bâti, qui supporte également le contre-palier. Cette carcasse a un diamètre extérieur de 1,80 m, une largeur de 420 mm et une épaisseur de 125 mm; sa section est de 450 cm².

L'intérieur de cette carcasse porte huit noyaux polaires en acier coulé, venus de fonte avec elle; ils sont de forme ovale et ont 204 mm de hauteur et une section droite de 740 cm². Chaque noyau est muni d'un épa-

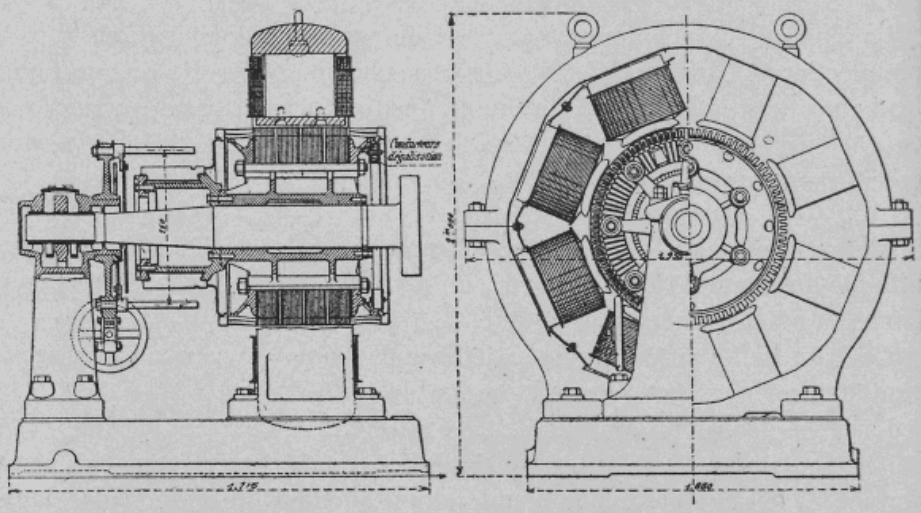


Fig. 33. — Vues en coupe longitudinale et en bout de la dynamo Garbe-Lahmeyer.

nouissement polaire en acier coulé, maintenu par des vis, de 29,5 mm d'épaisseur et d'un développement de 308 mm. Les bobines inductrices ont deux enroulements, l'un en série et l'autre en dérivation, disposés sur une carcasse en zinc. Les bobines shunt sont en fil rond guipé de 4,55 mm de diamètre et les bobines série sont constituées par trois conducteurs plats de 25 × 8 mm, montés en parallèle et formant une spire et demie. Ces bobines sont isolées de leur carcasse en zinc par des feuilles de carton comprimé et sont maintenues sur les noyaux par les épanouissements polaires.

La résistance du circuit inducteur shunt à chaud est de 5,35 ohms et l'intensité du courant d'excitation à pleine charge de 17 ampères. Le poids de cuivre sur l'inducteur est de 608 kg et le poids total de l'inducteur de 3 570 kg. Le diamètre d'alésage est de 1,014 m et l'entrefer simple a 7 mm.

L'induit a un noyau feuilleté fixé par des boulons de serrage sur une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lanterne en fonte. Ce noyau a un diamètre extérieur de 1 m et une longueur axiale de 414 mm. Les tôles sont divisées en quatre paquets séparés par trois couronnes de ventilation de 12 mm de largeur. La surface de ce noyau porte 232 encoches rectangulaires ouvertes de 7,2 mm de largeur et de 24 mm de profondeur; chaque rainure contient deux barres rectangulaires à angles arrondis, de 5,5 × 10,5 mm, maintenues par des frettes en bronze phosphoreux. L'enroulement induit est du type imbriqué avec connexions équipotentielles. La densité maximum du courant dans l'induit est de 2,7 ampères par mm². Les conducteurs sont isolés par du ruban imprégné de vernis isolant.

La résistance de l'induit est de 0,03 ohm à chaud et son poids total de 2600 kg.

Le collecteur, de 650 mm de diamètre et de 310 mm de longueur axiale, se compose d'un manchon en fonte vissé à la lanterne du noyau et supportant 232 lames en cuivre dur étiré, maintenues entre deux cônes isolés à la micanite. L'intérieur du manchon porte des ailettes venues de fonte, formant ventilateur et refoulant l'air froid à l'intérieur dunoyau.

La vitesse périphérique du collecteur est de 5,50 m par seconde et la différence de potentiel entre deux lames consécutives est de 4 volts environ. Le courant est capté par huit rangées de balais, formées chacune de 9 blocs de charbon de 30 × 15 mm et de 30 mm de hauteur. Chaque balai couvre deux lames du collecteur. Les porte-balais pivotent autour d'un tourillon et sont appliqués sur le collecteur par une lame-ressort. Une lame plate en cuivre souple assure un bon contact de la partie mobile avec la partie fixe.

Les coussinets sont en bronze et le graissage est assuré par des graisseurs à bagues.

Les rendements de cette dynamo sont les suivants :

A pleine charge	92,5	pour cent
Avec surcharge d'un quart	92,5	—
A trois quarts de charge	91,8	—
A demi-charge	90,0	—

L'échauffement à pleine charge ne dépasse pas 26° dans l'inducteur, 26° dans l'induit et 30° pour le collecteur.

Moteur à gaz. — Le moteur à gaz a une puissance normale de 250 chevaux effectifs à la vitesse angulaire de 160 t : m. Il est monocylindrique, à quatre temps et à double effet. La figure 34 en donne une coupe verticale perpendiculaire à l'axe.

Le cylindre a un diamètre de 560 mm. Le piston creux est refroidi par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une circulation d'eau passant par sa tige, qui est également creuse et prolongée par une contre-tige qui reçoit l'eau à la partie arrière du

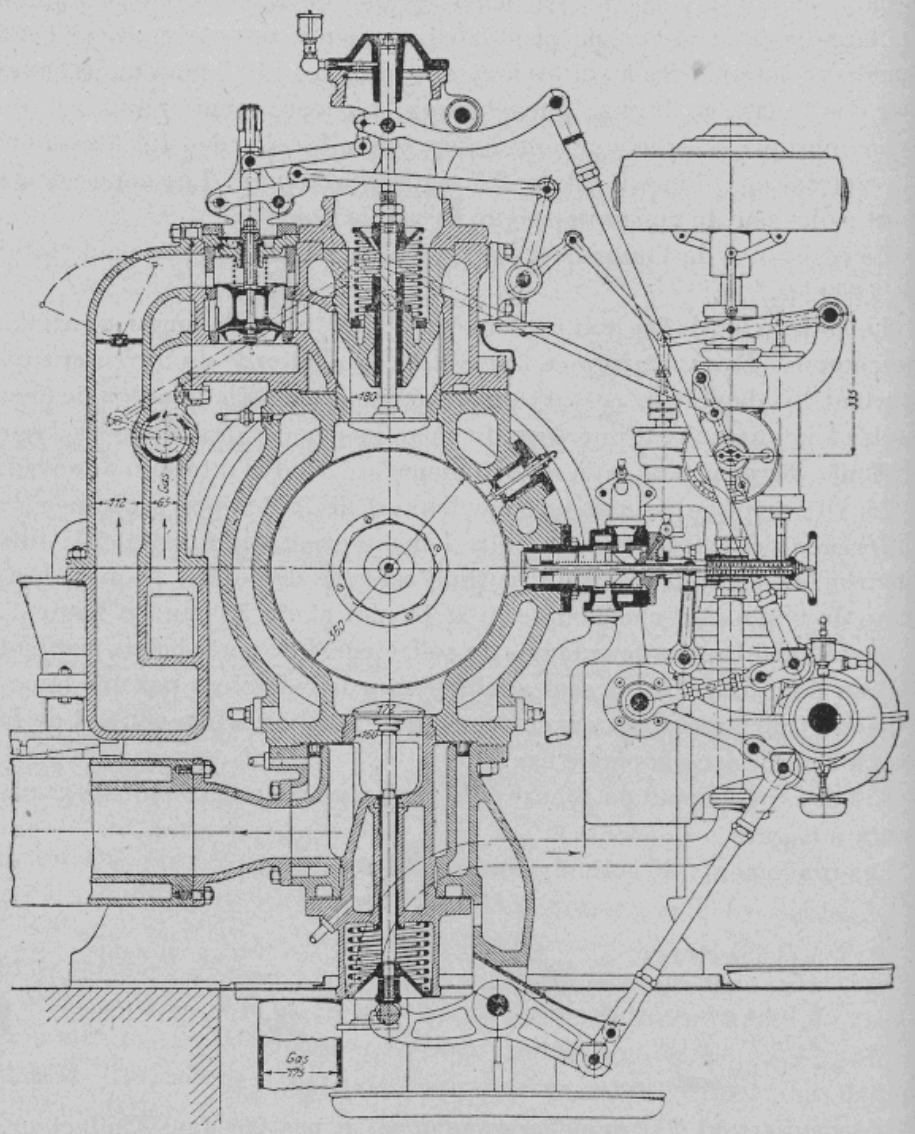


Fig. 34. — Coupe transversale du moteur Deutz de 250 chevaux.

moteur. Le piston a une garniture parfaitement étanche, formée de cinq cercles en fonte douce. La course du piston est de 740 mm.

La distribution est assurée par des soupapes d'admission placées à la partie supérieure et par des soupapes d'échappement placées à la partie inférieure du cylindre. Une soupape de mélange, distincte de la soupape

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'admission, produit un mélange de gaz et d'air dont la composition reste constante à toutes les charges. La soupape d'admission effectue une course variable suivant la charge, afin que la quantité de mélange introduite dans le cylindre varie en fonction de celle-ci. Le régulateur agit sur cette soupape au moyen de dispositifs cinématiques nettement visibles sur la figure 34. Pour une variation brusque de charge de 25 0/0, la vitesse angulaire ne varie pas de plus de 1,5 0/0 et, après une oscillation, le moteur reprend sa vitesse normale ; l'écart entre la pleine charge et la marche à vide est d'environ 3 à 4 0/0.

L'allumage du mélange tonnant est produit, pour chaque face du piston, par une étincelle électrique de rupture fournie par une petite magnéto. Les deux magnétos du moteur sont fixées sur la paroi extérieure du cylindre.

Groupes électrogènes de la Société Felten-Guilleaume et Lahmeyer et de la Société « Gazmotorenfabrik » de Cologne. — Ces deux Sociétés exposaient deux groupes électrogènes, l'un de 16 chevaux, et l'autre de 50 chevaux, constitués chacun par une dynamo à courant continu commandée par courroie par un moteur à gaz pauvre.

La première de ces dynamos, d'une puissance de 8,5 kw, à la vitesse angulaire de 1 300 t : m, fournit le courant sous une tension de 220 volts ; elle est excitée en dérivation.

La carcasse inductrice en fonte est rectangulaire et forme une seule pièce avec le bâti de la machine. Elle porte deux pôles rectangulaires feuilletés, fixés à la carcasse par des boulons. Les bobines inductrices sont enroulées sur une carcasse en zinc et comportent chacune 4 600 spires de fil de 1,1 mm de diamètre ; ces deux bobines sont reliées en séries.

L'induit a un noyau feuilleté, divisé en trois paquets, muni de 114 encoches de 35 mm de profondeur. L'enroulement, du type tambour série, se compose de 114 bobines ayant chacune 2 spires. Le collecteur est constitué par 114 lames en cuivre dur étiré, isolées au mica et à la micanite ; deux rangées de trois balais servent à recueillir le courant.

La seconde de ces dynamos, à excitation compound, a une puissance de 36 kw sous 440 volts, à la vitesse de 650 t : m.

La carcasse inductrice de forme circulaire est en fonte et d'une seule pièce avec le bâti qui supporte les paliers ; elle a une section ovale. Les noyaux polaires, au nombre de quatre, sont feuilletés et maintenus sur la carcasse à l'aide de boulons. Les bobines inductrices, au nombre de deux sur chaque noyau, sont supportées par les épanouissements polaires. Les quatre bobines en fil fin, ayant chacune environ 3700 spires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de fil de 1,3 mm de diamètre, sont reliées en tension et excitées en dérivation. Les quatre autres bobines sont formées de 54 spires de ruban de 57 mm² de section ; elles sont reliées en tension et excitées en série par le courant normal de la dynamo.

L'entrefer a 2,5 mm.

Le noyau d'induit est feuilleté et divisé en trois paquets. Sa périphérie porte 159 encoches de 37,5 mm de profondeur. L'enroulement est du type en tambour série et formé de conducteurs plats isolés par des rubans.

Sur le collecteur, comportant 159 lames en cuivre dur isolées au mica, appuient quatre rangées de chacune trois balais en charbon.

Les moteurs à gaz qui actionnent les dynamos sont monocylindriques. La distribution est assurée par un organe spécial dans lequel sont combinées la soupape à gaz et la soupape à mélange ; la course des soupapes est variable suivant la charge du moteur, mais la composition du mélange gazeux reste toujours la même. Les variations de vitesse pendant la marche ne dépassent jamais 5 0/0 de la vitesse angulaire normale.

Les appareils gazogènes qui alimentent ces moteurs sont du type à aspiration et se composent d'un générateur, d'une chaudière et d'un épurateur. Le générateur peut brûler de l'anthracite, du coke ou des briquettes de lignite.

Groupe électrogène des ateliers de construction électrique de Charleroi et de la Société anonyme des ateliers du Thiriau à la Croyère (Belgique). — Ce groupe électrogène comporte une dynamo à courant continu, d'une puissance de 40 kw, commandée par courroie par un moteur à vapeur monocylindrique, sans condensation, de 66 chevaux.

Dynamo. — La dynamo de 40 kw sous 220 à 240 volts sort des ateliers de Charleroi.

Le système inducteur est constitué par une carcasse circulaire munie de quatre noyaux polaires ronds, venue de fonte, de 205 mm de diamètre. Cette dynamo est excitée en dérivation.

L'induit a un noyau feuilleté ayant 445 mm de diamètre extérieur et comportant 50 encoches ouvertes de 13 × 30 mm dans lesquelles sont logés les enroulements de l'induit. Le collecteur a un diamètre de 320 mm et une largeur utile de 260 mm.

Moteur à vapeur. — Le moteur monocylindrique est du type Corliss, système Pirson. Sa puissance normale, avec une pression de vapeur de 10 kg : cm² à l'admission et une introduction de 1/8 environ de la course, est de 66 chevaux à la vitesse angulaire de 125 t : m.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre du cylindre	325 millimètres
Course du piston	500 —
Vitesse linéaire du piston	2,085 mètres par seconde

Le cylindre est muni d'une enveloppe de vapeur.

L'arbre porte un volant de 2,75 m de diamètre, pesant 4 500 kg ; il reçoit la courroie destinée à entraîner la dynamo.

Tous les détails de distribution, de réglage et de graissage de ce moteur sont les mêmes que ceux du moteur compound, tandem de 330 chevaux déjà décrit [1]. La consommation de vapeur est de 9,400 kg par cheval et par heure.

Turbogénérateur à courant continu de la Société Helios de Cologne et de la Maschinenbau A.-G. « Union » d'Essen-Ruhr (Allemagne). — Ce groupe électrogène, exposé par la Maschinenbau A.-G. Union, se compose d'une dynamo commandée par une turbine à vapeur verticale.

Dynamo. — La Société Helios désirant ne publier encore aucun renseignement sur la dynamo, nous ne pouvons en donner la description.

Turbine à vapeur. — La puissance de cette turbine est de 300 chevaux à la vitesse angulaire de 3 000 t : m. Elle se compose d'une turbine d'action à quatre roues (à haute pression) et d'une turbine de réaction à tambour comportant cinq couronnes d'aubages (machine à basse pression). La vapeur admise à la partie inférieure de la turbine s'échappe par la partie supérieure. La figure 35 donne une coupe longitudinale de ce turbogénérateur; la turbine d'action se trouve dans le bas, et la turbine de réaction au-dessus de cette dernière. La carcasse en fonte supporte l'inducteur de la dynamo à axe vertical, montée à la partie supérieure de l'ensemble.

La turbine d'action est constituée par des roues pleines en acier-nickel, à la périphérie desquelles sont fraisées des aubes. Ces roues, analogues à celles des turbines Riedler-Stumpf, sont très exactement équilibrées. Les aubes forment des pochettes, en forme de U, superposées; leurs bords sont soigneusement polis pour diminuer le frottement. La vapeur qui agit sur elles est détendue, jusqu'à ce que sa pression soit assez faible, dans les tuyères convergentes-divergentes, disposées par groupe de trois diamétralement opposés. Ces tuyères sont creusées à la fraise dans des plaques d'acier rapportées dans la carcasse en fonte.

1. Voir page 51.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les canaux qui amènent la vapeur d'une roue à la suivante présentent une surface très lisse et sont très courts, afin de diminuer le moins possible la vitesse de la vapeur.

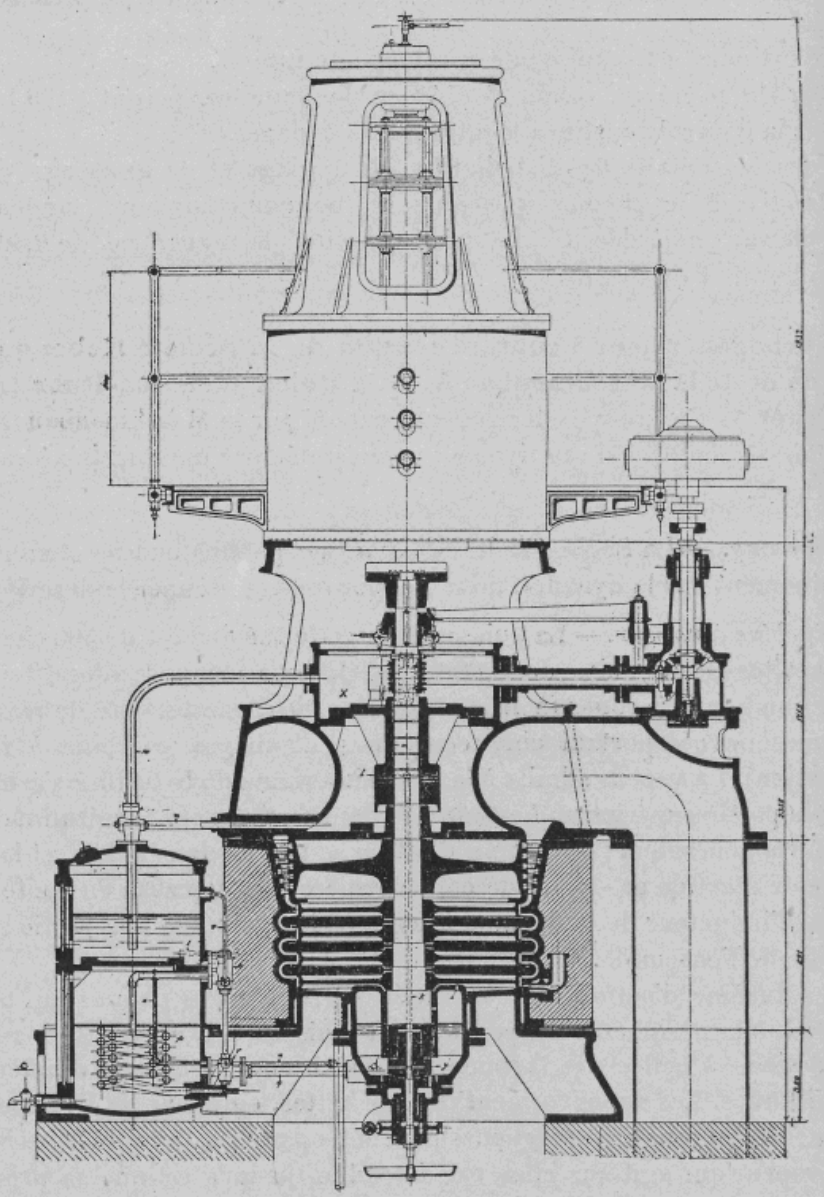


Fig. 35. — Vue et coupe longitudinale du turbogénérateur Union.

La turbine de réaction, dans laquelle la vapeur sortant de la turbine d'action achève de se détendre, est constituée par une roue en acier-nickel à large jante, formant tambour et munie d'aubes rapportées. Les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cinq couronnes d'aubes reçoivent la vapeur de cinq couronnes de distributeurs rapportés dans la carcasse en fonte de la turbine. Comme on le voit sur la figure 36, les sections de passage de la vapeur vont en augmentant. Le profil des aubes et des distributeurs est indiqué sur la

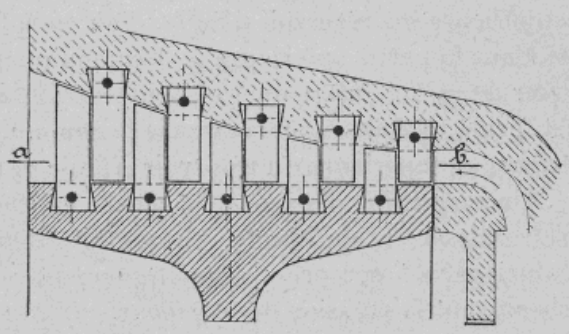


FIG. 36. — Coupe de la turbine de réaction.

figure 37 qui donne une coupe de ces organes suivant la ligne *ab* de la figure 36.

Le réglage de la turbine, suivant les variations de la charge, est obtenu en modifiant la quantité de vapeur admise. A cet effet, un dis-

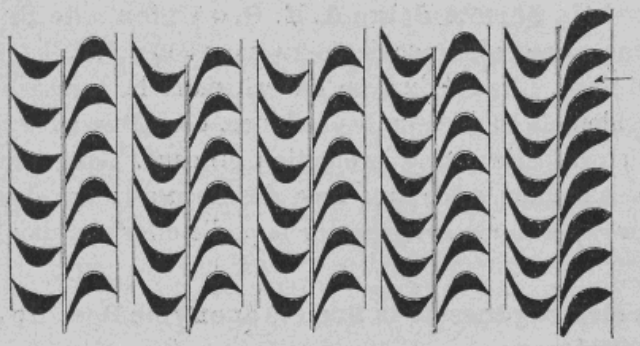


FIG. 37. — Coupe des aubes suivant la ligne *ab* de la figure 36.

tributeur, intercalé dans la conduite d'amenée de vapeur, est actionné par le régulateur et modifie, suivant la charge, le nombre de tuyères en fonctionnement. Indépendamment du régulateur, la turbine est munie d'un dispositif de sécurité provoquant l'arrêt immédiat en cas d'avarie et empêchant ainsi tout emballement.

L'étanchéité de l'arbre, à la partie inférieure, est assurée par le coussinet qui le supporte et qui est complètement fermé et, à la partie supérieure, par l'huile sous pression qui assure, en même temps, le grais-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sage du palier intermédiaire. La circulation de l'huile est continuelle et, par suite de la présence du trou i (*fig.* 35), l'huile contenue dans le récipient du palier inférieur est soumise à la pression totale de la vapeur vive et monte, par un trou foré dans l'arbre, jusqu'au palier l. De là, après avoir assuré un excellent graissage, elle coule par le tube n dans la partie supérieure du réservoir d'huile, d'où on la fait passer, de temps en temps, dans la partie inférieure p, communiquant par le tube q avec le réservoir du palier inférieur. Ce tube q est muni d'un robinet qui, lorsqu'il est fermé, établit en même temps la communication entre les parties inférieure et supérieure du réservoir d'huile et la ferme lorsqu'il est ouvert. Un serpentin, disposé à la partie inférieure du réservoir assure le refroidissement de l'huile. La quantité d'huile de graissage circulant ainsi varie à peu près automatiquement avec la charge puisqu'elle varie suivant la pression de la vapeur.

L'action de la vapeur se produisant de bas en haut, le poids des parties tournantes est presque entièrement compensé. Le poids non ainsi équilibré est supporté par le palier inférieur à huile comprimée.

A pleine charge, la consommation de vapeur est de 6,3 kg par cheval effectif et par heure avec de la vapeur surchauffée à 300° et à la pression de 12 kg : cm².

Dynamo de la Société Belge A. E. G. « Union » de Bruxelles. — Cette dynamo a une puissance de 50 kw sous 230 volts à la vitesse angulaire de 710 t : m. Elle est du type ouvert, mais la carcasse inductrice, faisant latéralement saillie sur les bobines, constitue avec les flasques-croisillons porte-paliers une protection efficace. Cette protection est étendue au collecteur grâce aux bras des flasques ; ces dernières sont centrées par rapport à la carcasse sur laquelle elles sont boulonnées.

Groupes électrogènes de la Société anonyme Beer de Jemeppes-lez-Liège (Belgique). — Cette Société avait exposé trois groupes électrogènes.

Le premier de ces groupes est constitué par une dynamo du type de l'État Belge, d'une puissance de 70 chevaux, commandée, à l'aide d'une courroie, par un moteur à vapeur horizontal monocylindrique développant sa puissance normale à la vitesse angulaire de 110 t : m, avec une pression de vapeur de 10 kg : cm² à l'admission.

La distribution de la vapeur s'effectue au moyen de 4 distributeurs cylindriques disposés deux à deux dans le fond du cylindre. La commande du mécanisme de distribution se fait au moyen d'un arbre longitudinal, parallèle au cylindre. Les distributeurs d'admission sont com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mandés par l'intermédiaire de déclics dont la durée d'action est réglée par le régulateur; ces distributeurs sont pourvus de cataractes à air.

Le condenseur, à simple effet, est placé horizontalement sur le sol et le piston de la pompe à air est calé sur le prolongement de la tige du piston du cylindre à vapeur.

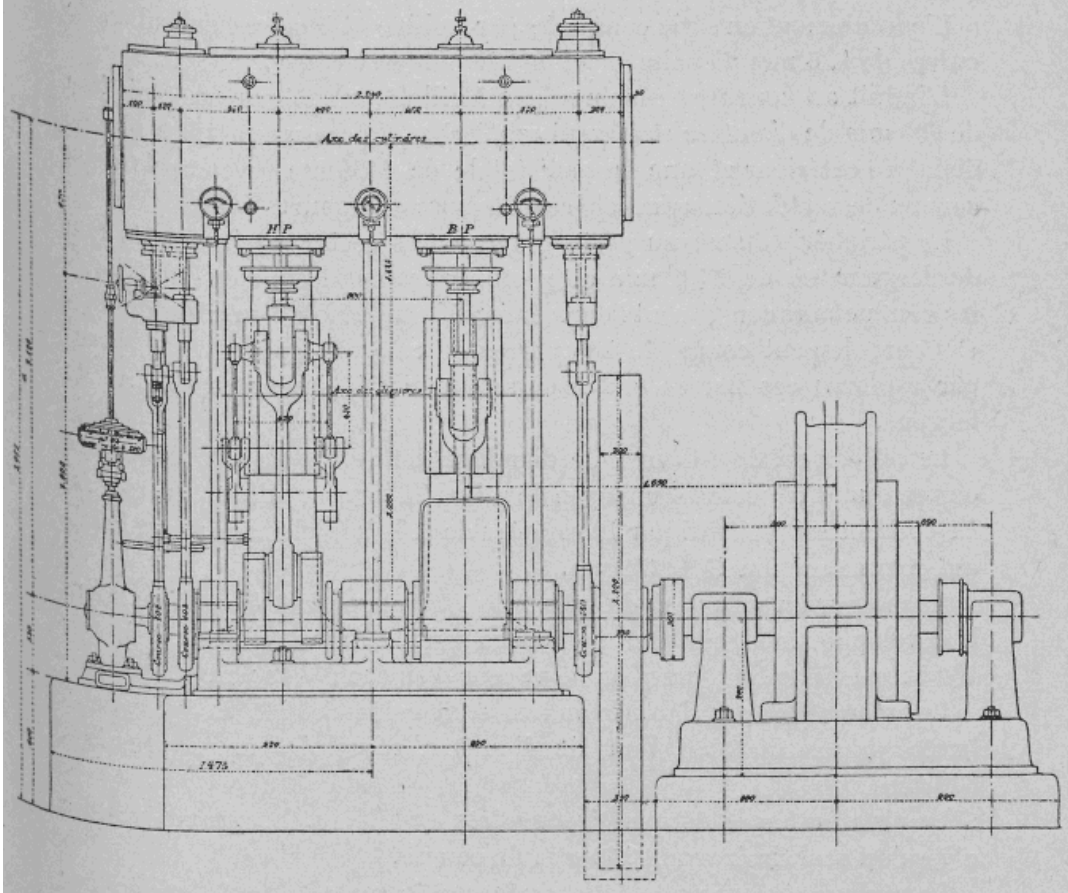


Fig. 38. — Groupe électrogène à courant continu de la Société Beer, coupe transversale.

Le deuxième groupe électrogène, d'une puissance de 75 kw, est constitué par une dynamo actionnée directement par un moteur à vapeur compound, type pilon (*fig.* 38).

La dynamo à excitation compound débite normalement 320 ampères sous 230 volts à la vitesse angulaire de 180 t : m.

La carcasse magnétique, de forme circulaire, est en acier coulé; elle est munie, à sa partie inférieure, de pattes venues de fonte qui servent à la fixer sur un bâti portant les paliers.

A l'intérieur de la carcasse sont fixés, à l'aide de boulons, douze

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

noyaux polaires de forme cylindrique, ayant 205 mm de diamètre et 165 mm de hauteur. Les épanouissements polaires développent un arc polaire de 230 mm.

L'enroulement en dérivation des bobines inductrices comporte 689 spires de fil de 2,3 mm de diamètre par bobine. Les douze bobines sont reliées en série.

L'enroulement en série comporte par bobine 3, 5 spires en ruban de cuivre de 1, 5 mm d'épaisseur et de 145 mm de largeur.

L'induit est constitué par un noyau feuilleté, monté sur un croisillon de 980 mm de diamètre et claveté sur l'arbre. Le noyau a 1200 mm de diamètre extérieur et une largeur totale de 240 mm, y compris deux canaux de ventilation ayant chacun 10 mm de largeur.

La périphérie du noyau porte 184 rainures rectangulaires de 11 mm de largeur et de 37,5 mm de profondeur dans lesquelles sont logés les conducteurs constituant l'enroulement induit, monté en série double. Cet enroulement comporte 736 barres de cuivre, à raison de 4 barres par rainure ; ces barres ont chacune 3 mm d'épaisseur et 13 mm de largeur.

Le collecteur, de 850 mm de diamètre, est formé de 368 lames de cuivre dur étiré, isolées au moyen de mica. Sa largeur utile est de 60 mm. Le courant est recueilli par 12 rangées de 2 balais chacune ; ces balais ont comme section 25×30 mm.

Le moteur à vapeur est du type pilon, compound et à condensation. Il développe une puissance de 100 chevaux à la vitesse angulaire de 180 t : m et avec une pression de vapeur d'environ 9 kg : cm².

Les manivelles des deux cylindres sont calées à 180°. Le cylindre à haute pression a 370 mm de diamètre, et celui à basse pression, 600 mm.

La distribution se fait par tiroirs plats équilibrés. Le grand cylindre n'a qu'un seul tiroir ayant 140 mm de course.

Le réglage s'effectue de telle sorte que le moteur peut fonctionner sans chocs et sans variations de vitesse appréciables, avec ou sans condensation.

Au petit cylindre, la détente est du type Meyer, réglable à la main.

Le régulateur agit sur une valve équilibrée. Quoique certaines critiques aient été formulées relativement à la régulation par valves, la réalisation du système de la Société Beer a montré que l'on peut supprimer brusquement la totalité de la charge, sans que la vitesse angulaire varie de plus de 8 0/0 environ.

Le troisième groupe électrogène, exposé par la Société Beer, a été étudié spécialement pour être monté sur un wagon spécial des chemins de fer de l'Etat Belge. Il est destiné à fournir l'énergie électrique néces-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

saire à l'éclairage, en cas de travaux urgents à effectuer en pleine voie. La dynamo peut débiter 55 ampères sous 70 volts. La chaudière, le moteur à vapeur et la dynamo sont montés sur un socle unique en fonte. Le poids total ne dépasse pas 2000 kg, et les dimensions d'encombrement comme surface sont de 2 × 0,90 m, et la hauteur de 1,60 m.

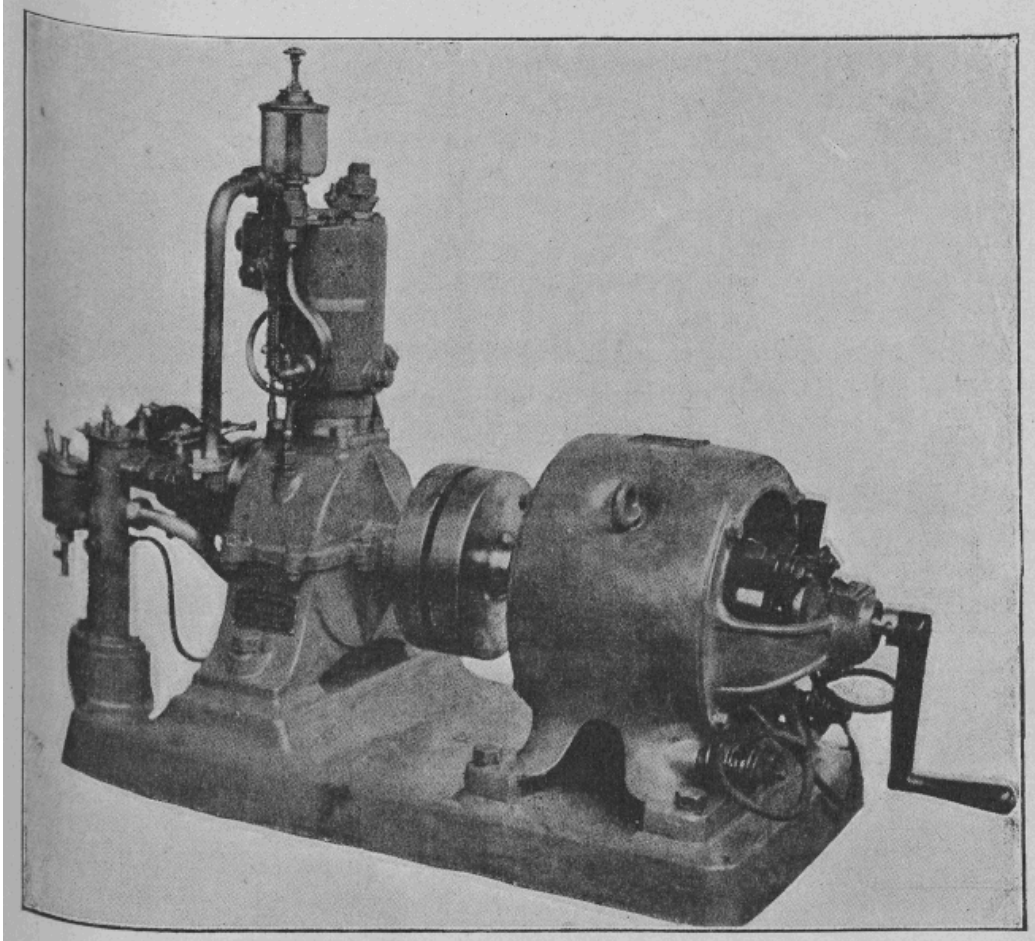


Fig. 39. — Groupe électrogène « Aster ».

Groupes électrogènes des ateliers de constructions mécaniques Aster de Paris. — Ces groupes électrogènes (*fig.* 39) sont construits pour des puissances depuis 3 jusqu'à 24 chevaux. Ils conviennent particulièrement dans tous les cas où il est nécessaire d'établir une installation de poids et d'encombrements réduits, notamment pour les installations privées d'éclairage électrique et pour l'alimentation de moteurs dans la petite industrie.

Les groupes électrogènes Aster sont constitués par un moteur à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

essence à grande vitesse angulaire commandant, par accouplement élastique, une dynamo à courant continu, le tout monté sur un socle unique qui porte également le carburateur, ainsi que le graisseur automatique assurant le graissage de tous les organes. On a de cette façon réalisé un ensemble très compact, très léger et peu encombrant.

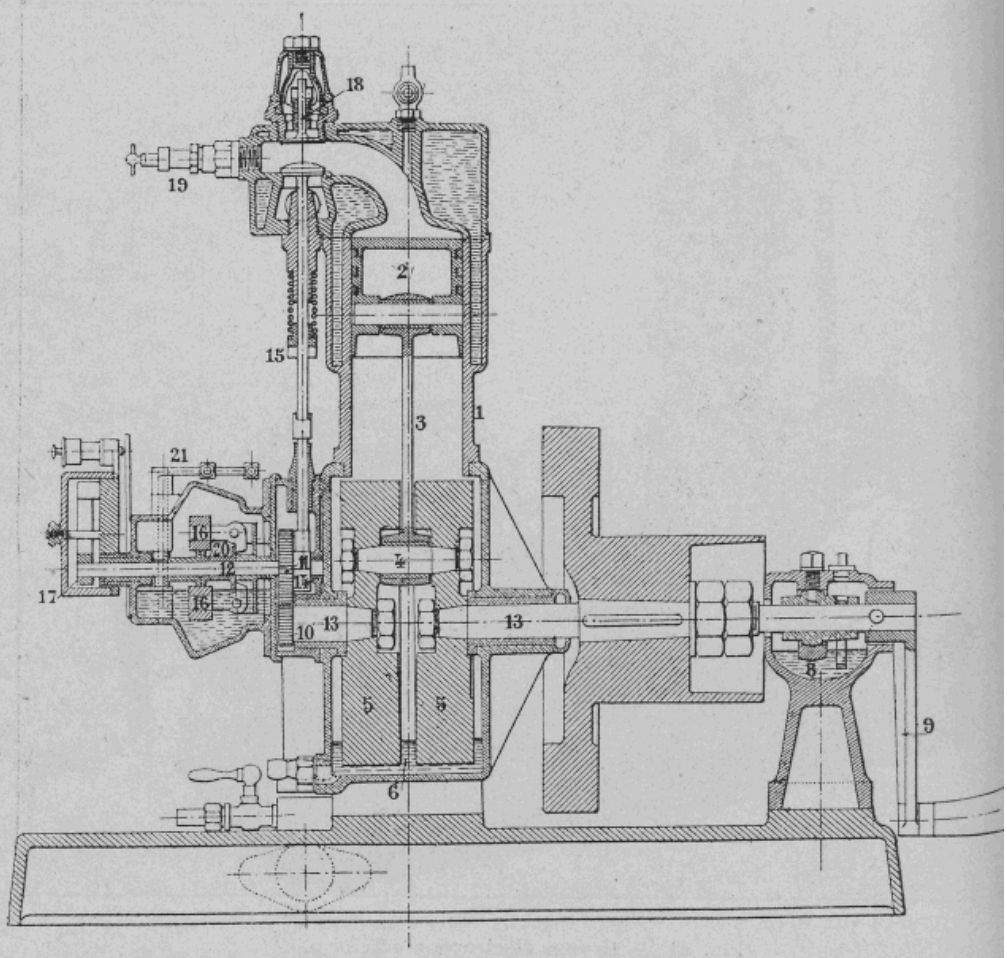


Fig. 40. — Coupe du moteur « Aster ».

Pour compléter l'installation de ces groupes électrogènes et les mettre en état de fonctionner, il suffit de relier à un réservoir d'eau de faible capacité les raccords d'arrivée et de sortie d'eau du moteur, de monter à proximité de ce dernier un réservoir à essence et, enfin, d'évacuer les gaz d'échappement au moyen d'un tuyau en fer.

La consommation d'essence ne dépasse pas un demi-litre par cheval et par heure pour les groupes dont la puissance est comprise entre 3 et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

7 chevaux; pour les puissances supérieures jusqu'à 24 chevaux, elle est moindre.

Dynamo. — La dynamo à courant continu est reliée par accouplement élastique au moteur qui l'actionne; cet accouplement est formé de deux plateaux servant de volant.

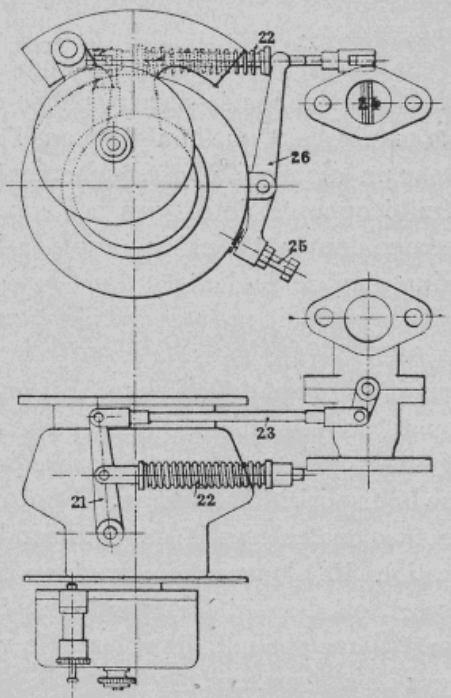


FIG. 41. — Détails du régulateur.

L'inducteur est constitué par une carcasse circulaire portant quatre noyaux polaires; les paliers, en forme de flasques, sont montés à embrèvements sur la carcasse et maintenus à l'aide de quatre vis.

L'induit est du type en tambour rainé et les bobines sont faites sur gabarit. Le collecteur est isolé au mica, et les balais sont en charbon.

Généralement, ces dynamos sont établies pour une tension de 110 volts; toutefois, lorsque la dynamo doit être utilisée pour la charge d'une batterie d'accumulateurs, elle est établie pour fournir le courant sous des tensions pouvant varier de 110 à 160 volts.

Ces dynamos sont très robustes, compactes, légères et d'un entretien facile. La forme de la carcasse a été étudiée de manière à protéger tous les organes contre toute cause extérieure de détérioration. Les bras qui supportent les paliers laissent entre eux de larges ouvertures, ce qui assure une excellente ventilation et permet d'accéder facilement au collecteur et aux balais.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moteur. — Le moteur « Aster » fonctionne d'après le cycle de Beau de Rochas, dit cycle à quatre temps. Il se compose essentiellement d'un cylindre 1 (*fig.* 40) dans lequel se meut verticalement un piston 2 qui, par l'intermédiaire d'une bielle 3 et d'un maneton 4, actionne un ensemble de volants 5, tournant à l'intérieur d'un carter 6 contenant une certaine quantité d'huile. Le cylindre 1 est entouré d'une chemise renfermant l'eau de refroidissement.

L'axe sur lequel sont calés les volants actionne extérieurement la dynamo; son extrémité est supportée par un palier-rotule avec graisseur à bagues 8. Une manivelle 9, que l'on place sur l'extrémité de l'axe, entraîne le moteur par un dispositif à déclenchement et sert à la mise en marche. L'extrémité opposée de cet axe porte un petit pignon 10 engrenant avec une roue dentée 11, calée sur un arbre 12. Comme la roue 11 est munie d'un nombre de dents qui est le double de celui que porte le pignon 10, l'arbre 12 fait un tour pendant que l'axe moteur 13 en fait deux.

L'arbre 12 est muni d'une came 14 qui, par l'intermédiaire d'un poussoir, soulève au moment voulu le clapet d'échappement 15 qui est ensuite rappelé sur son siège par un ressort. Le même arbre porte, en outre, une came 17 qui actionne le dispositif d'allumage. Enfin, cet arbre porte encore un système à boules centrifuges 16 qui commande le régulateur.

Un clapet d'aspiration 18, s'ouvrant de haut en bas et rappelé sur son siège par un ressort, est disposé à la partie supérieure du moteur. Ce clapet est recouvert d'une chapelle dans laquelle vient déboucher le tuyau amenant les gaz du carburateur.

La bougie d'allumage 19 est placée sur le côté et également à la partie supérieure du moteur. Enfin un robinet vertical, disposé sur le haut du cylindre, sert à mettre ce dernier en communication avec l'atmosphère. Le régulateur agit sur l'admission des gaz. Comme on l'a déjà dit, l'arbre 12 est muni d'un système à boules centrifuges 16; ce système actionne un manchon mobile 20 porté par l'arbre et pouvant se déplacer longitudinalement sur lui. Ce manchon agit sur le levier 21 (*fig.* 41) qu'un ressort antagoniste 22 tend à ramener à sa position primitive. Le levier 21 actionne à son tour la tige 23 qui commande le papillon 24 placé sur la conduite amenant le mélange gazeux du carburateur au moteur.

Lorsque le moteur tend à accélérer sa vitesse, les boules, sous l'action de la force centrifuge, s'éloignent de l'axe et repoussent le manchon; par suite, la tige 23 ferme le papillon et le moteur, n'étant plus alimenté, ralentit son allure. A ce moment, les boules se rapprochent de l'axe, le papillon s'ouvre et ainsi de suite. Au moyen d'une vis 25 on peut comprimer le ressort 22 en agissant sur le levier 26, ce qui permet de faire agir le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

régulateur pour une vitesse plus grande du moteur, autrement dit pour modifier le régime de marche de ce dernier.

Le dispositif d'allumage (*fig.* 42) comporte :

1° Une batterie de 4 éléments de piles à grand débit ou de 2 éléments d'accumulateurs;

2° Une bobine d'induction;

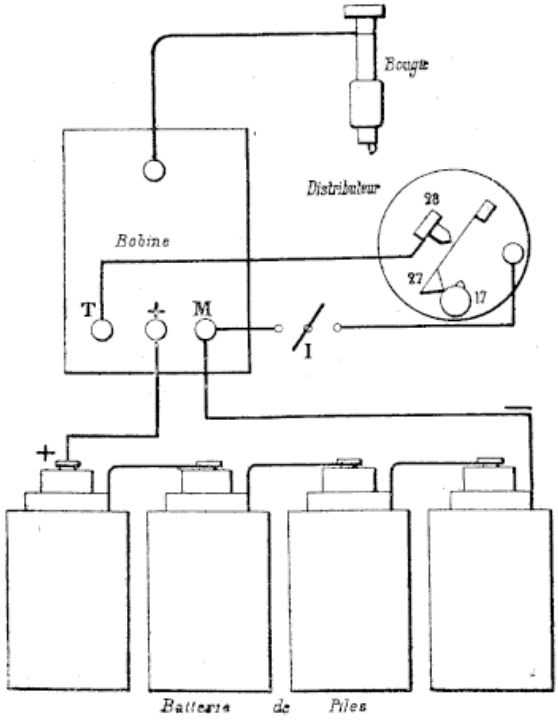


FIG. 42. — Dispositif d'allumage du moteur « Aster ».

3° Un dispositif distributeur, commandé par le moteur, provoquant la production de l'étincelle au moment voulu de la course du piston;

4° Une bougie d'allumage constituée essentiellement par 2 pointes métalliques soigneusement isolées l'une de l'autre; ces pointes sont disposées dans la chambre de compression du moteur, et c'est entre elles que jaillit l'étincelle d'inflammation.

Cet allumage fonctionne de la manière suivante : l'arbre 12 du moteur porte, comme on l'a vu, une came 17 destinée à actionner le dispositif d'allumage, came qui ne fait qu'un tour pendant que l'axe 13 du moteur en fait deux. A chaque tour de l'axe 12, cette came vient rencontrer le sabot du ressort 27 portant un contact en platine qui vient alors buter contre le pied platiné d'une vis 28; cette vis est isolée électriquement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du moteur. Lorsque le contact se produit, le courant de la batterie passe par le circuit primaire de la bobine d'induction, la vis 28 et le ressort 27 relié électriquement à la masse constituée par le socle métallique de l'interrupteur d'allumage. Lorsque la came abandonne le ressort 27, ce dernier abandonne le contact de la vis 28 et une étincelle de rupture éclate; au même moment il se produit dans le circuit secondaire de la bobine un courant induit à haute tension qui détermine la production d'une étincelle entre les deux pointes de la bougie d'allumage reliées respectivement à ce circuit.

Le socle de l'interrupteur d'allumage peut tourner autour de la came 17 en déplaçant une poignée à arrêt à droite ou à gauche sur un secteur à crans. Dans ces conditions, par suite du déplacement du socle, le contact du ressort 27 peut prendre par rapport à la came 17 une position relative différente; il est donc facile de changer le moment où le contact vient rencontrer le ressort de manière à produire l'étincelle à des moments variables de la course du piston, c'est-à-dire de produire l'explosion à des moments où le mélange gazeux est plus ou moins comprimé, ce qui permet de faire varier la force de l'explosion et, par suite, la vitesse et la puissance du moteur.

Balais en charbon pour dynamos. — La Société « le Carbone », de Levallois-Perret, près Paris, s'occupe depuis 1890 de la fabrication des balais en charbon pour dynamos et moteurs. Elle présentait à l'Exposition la série complète des différentes et nombreuses qualités de balais qu'elle fabrique dans ses usines et qui répondent aux diverses exigences des constructeurs en ce qui concerne leur forme, leurs dimensions, leur degré de dureté et leur résistance électrique.

Les diverses qualités de ces charbons peuvent être résumées de la manière suivante :

1° *Balais électrographitiques*, traités au four électrique par les procédés Girard et Street, caractérisés par leur grande conductivité et principalement utilisés dans les alternateurs et dans les alternomoteurs simples et polyphasés ;

2° *Balais non graphitiques* pour dynamos et moteurs à courant continu, les uns de conductivité moyenne et les autres de résistivité assez élevée ;

3° *Balais pour moteurs de traction*, qualité spéciale, comportant deux types : l'un, pour moteurs moyennement et fortement chargés; l'autre, pour moteurs peu chargés.

Balais feuilletés Boudreaux. — Les balais feuilletés fabriqués et exposés par M. Boudreaux sont obtenus en laminant, à une aussi faible épaisseur que possible, un alliage métallique de cuivre, de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

zinc et de silicium. Ces feuilles laminées de 180 mm de largeur sont ensuite pliées et asemblées, puis soumises à une forte pression pour former des balais.

Cet alliage est très malléable et possède les qualités particulières des métaux antifriction.

Chaque millimètre carré de section de ces balais comporte près de 40 feuilles ayant chacune de 2 à 4 centièmes de millimètre d'épaisseur.

Par suite de l'extrême division de l'alliage constituant le balai, on obtient une douceur de frottement qui réduit au minimum l'usure du collecteur, tout en assurant une longue durée aux balais qui se présentent sous la

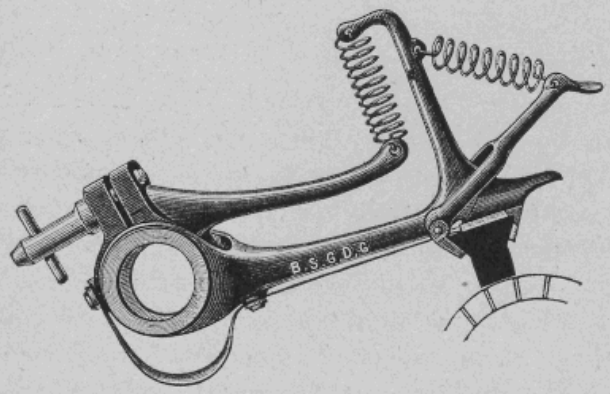


Fig. 43. — Porte-balai « Supra ».

forme d'une lame métallique à texture feuilletée, dont la masse est beaucoup plus homogène que celle des balais en fils ou en toiles métalliques. La surface de frottement, sans solution de continuité, polit le collecteur, tandis que le balai en fils, présentant une surface très divisée, raye et détériore le collecteur ; en outre, la résistance électrique de ces balais est très faible, ce qui constitue un avantage appréciable.

Porte-balai « Supra ». — Ce porte-balai, exposé par M. Boudreaux, se compose de deux parties indépendantes (*fig.* 43) : la première se fixe solidement, par serrage d'une bague fendue, sur la tige qui supporte les porte-balais : la seconde est munie de deux anneaux qui lui permettent de pivoter librement autour de la même tige.

La bague fendue de la première pièce porte une tige à l'extrémité de laquelle est placé un ressort en boudin qui sert de liaison avec la seconde pièce. Ce ressort agit normalement sur le balai pour qu'il appuie normalement sur le collecteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La seconde pièce, constituant le porte-balai proprement dit, est une sorte de pince entre les mâchoires de laquelle le balai en charbon est énergiquement serré. Ce serrage est obtenu par un ressort, dont l'action est décuplée par suite de la grande longueur donnée aux bras de levier de cette pince; il a pour effet d'assurer un excellent contact entre le balai et le conducteur souple en cuivre qui est relié à la première pièce, c'est-à-dire à celle qui est fixée sur la tige collectrice des porte-balais.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III

GROUPES ÉLECTROGÈNES A COURANT ALTERNATIF ET ALTERNATEURS

Indépendamment des alternateurs exposés, un certain nombre de groupes électrogènes à courant alternatif étaient en fonctionnement à l'Exposition, notamment dans la section française qui a produit elle-même l'énergie électrique nécessaire à ses différentes installations.

Comme l'Administration de l'Exposition ne pouvait fournir que du courant continu à 440 volts, la section française, grâce à ses machines, a pu disposer de courant alternatif à 3 000 volts et de courant continu à 150 ou 120 volts, le courant alternatif étant transformé au moyen de permutatrices du système Rougé-Faget.

Groupe électrogène triphasé de la maison Sautter-Harlé et Cie, de Paris. — Ce groupe électrogène (*fig.* 44) a concouru à l'alimentation en énergie électrique de la section française à l'exposition de Liège.

Il se compose d'un alternateur triphasé de 400 kw de puissance et d'une turbine à vapeur multicellulaire, système Rateau, de 600 chevaux actionnant directement l'alternateur à la vitesse angulaire de 3 000 tours par minute.

Alternateur. — L'alternateur produit des courants triphasés à 3 000 volts entre fils, à la fréquence de 50 périodes par seconde.

La puissance effective de cet alternateur est de 400 kw ; mais il est construit avec des conducteurs de section suffisante pour lui permettre de développer une puissance apparente de 500 kilovolts-ampères, c'est-à-dire qu'il peut produire une puissance de 400 kw effectifs, lorsqu'il alimente un réseau ayant un facteur de puissance au moins égal à 0,85.

Le système inducteur est mobile et l'induit fixe. Le système inducteur est feuilleté et bipolaire avec enroulement continu des bobines, ce qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

permet d'obtenir un champ magnétique absolument sinusoïdal. Le courant produit par des alternateurs de ce type ne donne pas lieu à des harmoniques dans les circuits d'utilisation, les pertes par hystérésis sont sensiblement diminuées et le rendement de l'alternateur en est augmenté.

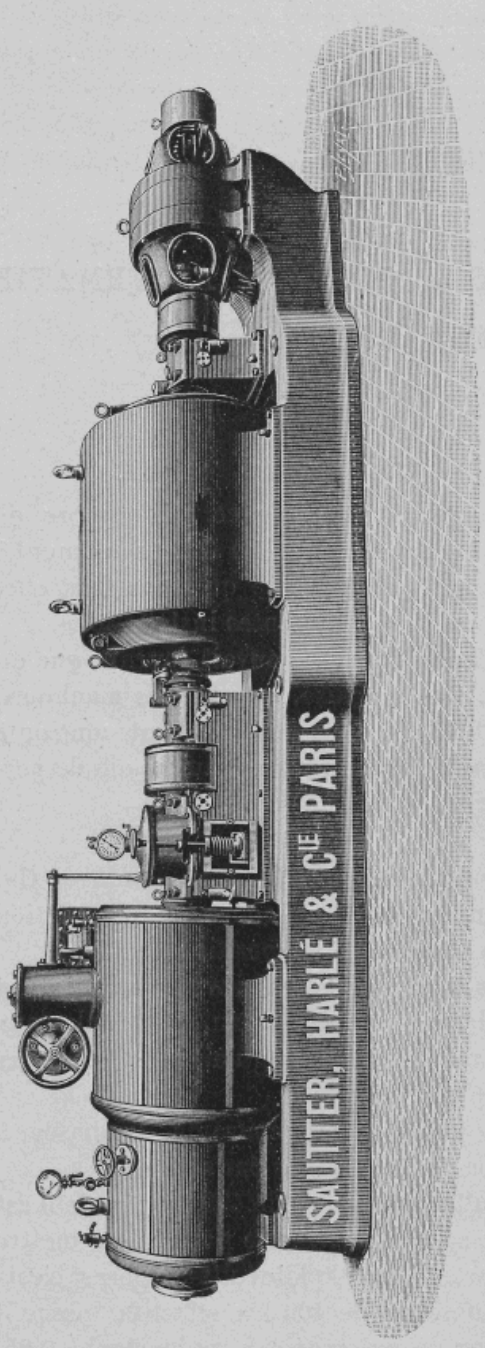


Fig. 44. — Turbo-alternateur Sautter-Harlé.

Le stator ou induit est à bobines courtes, ce qui facilite le démontage et assure un excellent coefficient d'utilisation de la matière. Les circuits induits sont protégés par une enveloppe métallique, munie de canaux intérieurs convenablement distribués, afin d'assurer une excellente ventilation.

L'excitatrice est montée dans le prolongement de l'arbre de l'alternateur.

La régulation automatique de la tension est obtenue à l'aide du dispositif de compoundage de M. Blondel ; les rhéostats d'excitation ne servent qu'à régler l'alternateur une fois pour toutes. La vitesse angulaire de la turbine étant constante, le compoundage assure seul l'uniformité de la tension pour toutes les valeurs de la charge.

Ce système de compoundage comporte l'emploi d'une excitatrice à réaction et à double excitation, combinée avec un transformateur en série ; il est très pratique, par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suite de sa facilité de réglage, quelles que soient la chute de tension de l'alternateur et la valeur du facteur de puissance du réseau. Aussi a-t-on obtenu des résultats tout à fait remarquables qui ont permis de fonctionner à tension constante sur un réseau industriel dont le facteur de puissance descend, par moments, au-dessous de 0,7.

Grâce à la construction judicieuse de cet alternateur, on obtient des courbes de courant qui sont presque des sinusoïdes parfaites ne présentant aucun harmonique appréciable. Il est facile de s'en rendre

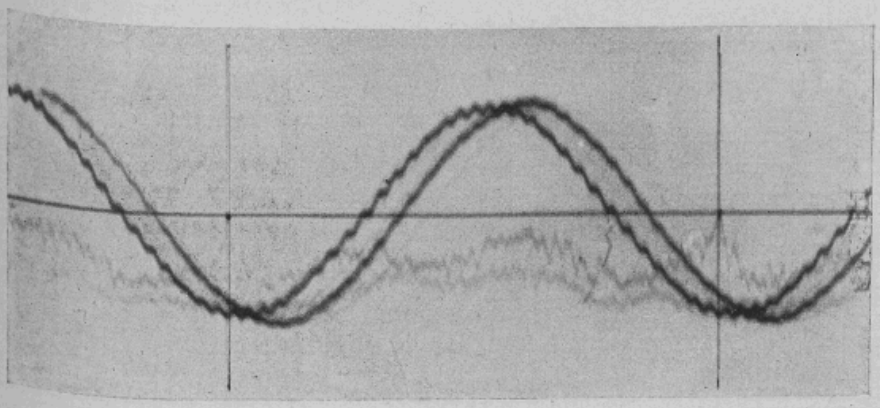


FIG. 45.

compte en examinant la reproduction d'une des nombreuses épreuves photographiques relevées avec l'oscillographe Blondel (*fig.* 45). C'est là un avantage capital au point de vue des effets de surtension pouvant se produire dans des canalisations présentant de la capacité.

La figure 46 reproduit un tracé d'enregistreur donnant les différentes valeurs de l'intensité du courant d'excitation de l'alternateur pour la marche à tension constante à l'exposition de Liège. On voit que la courbe suit exactement les variations de charge de l'alternateur au fur et à mesure que de nouveaux moteurs ont été mis ou retirés du circuit alimenté par l'alternateur.

Turbine à vapeur. — La turbine à vapeur Rateau est une turbine d'action, hélicoïde, multicellulaire et à pressions étagées.

La turbine du groupe électrogène exposé à Liège a une puissance de 600 chevaux, à la vitesse angulaire de 3000 tours par minute. Elle est à un seul corps et fournit sa puissance effective lorsqu'elle est alimentée avec de la vapeur à 9 kg : cm² de pression.

Le corps cylindrique de cette turbine est cloisonné à l'intérieur, par des diaphragmes fixes, en un certain nombre de cellules. Dans chaque

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cellule se déplace une roue en tôle d'acier emboutie, clavetée sur l'arbre et portant sur la jante des ailettes rivées.

Les diaphragmes sont percés, à leur périphérie, d'orifices munis d'aubes directrices. La section de ces diaphragmes va en croissant depuis le premier, côté admission, jusqu'au dernier, côté échappement, ce qui assure une détente régulière de la vapeur depuis la pression d'amont jusqu'au vide du condenseur, vide qui doit être poussé le plus loin possible en vue de l'économie de consommation de vapeur. On arrive ainsi à réaliser des détentes de 100, 200 et même 250 avec un bon



FIG. 46.

condenseur. Dans les moteurs à pistons, où le degré de détente est déterminé par le rapport du volume total du ou des cylindres au volume d'introduction de vapeur, indépendamment des pressions, on est loin d'atteindre un pareil résultat, même avec les moteurs à expansions multiples du type le plus perfectionné.

Dans la turbine Rateau, qui est une turbine d'action, la vapeur s'écoule parallèlement à l'axe suivant un élément d'hélice, et la forme des aubages qu'elle traverse est telle que la détente ne se produit que dans les distributeurs fixes des diaphragmes et non dans les aubages. Il s'ensuit que, dans chaque cellule, la pression de la vapeur est constante et que l'effort moteur sur les ailettes des roues mobiles est dû uniquement à la quantité de mouvement du fluide.

Ces propriétés très importantes caractérisent ce genre de turbine qui, par suite, présente des avantages de premier ordre, tant au point de vue

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la construction qu'à celui de l'efficacité. Ces avantages peuvent être résumés de la manière suivante :

1° Il n'y a point de poussée latérale, d'où suppression de tout piston d'équilibrage ;

2° On peut ménager entre le cylindre et les roues mobiles un jeu relativement grand atteignant plusieurs millimètres, par conséquent, dix fois plus grand que dans les turbines à réaction, sans que le rendement s'en trouve affecté ;

3° Le système permet de faire l'injection partielle, ce qui facilite la construction des distributeurs ;

4° Enfin, et c'est là une propriété particulière au dispositif multicellulaire, le joint d'une cellule à l'autre, au lieu de se faire sur un grand

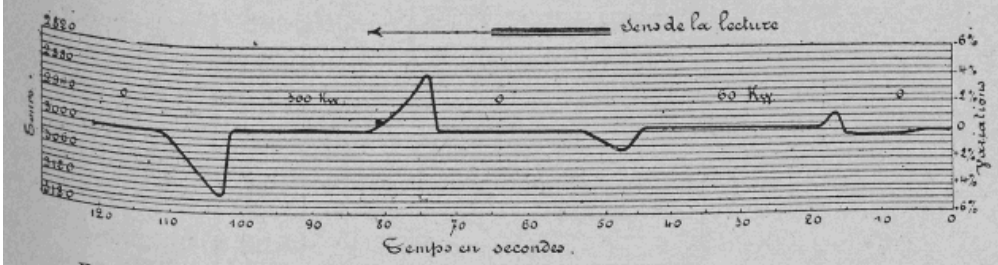


FIG. 47. — Diagramme de vitesse relevé avec un tachymètre enregistreur sur un groupe électrogène de 350 kilowatts à 3000 tours.

développement, comme c'est le cas dans les systèmes à tambour, se fait sur un petit diamètre, celui de l'arbre. Cela permet de réduire au minimum les fuites provenant des joints.

La régulation de la vitesse angulaire s'effectue à l'aide d'une vanne manœuvrée à la main et d'un obturateur automatique à soupape, commandé par un régulateur à force centrifuge monté sur un des paliers de la turbine. La précision de fonctionnement de cet organe permet de limiter à moins de 2 0/0 les écarts de vitesse angulaire entre la marche en charge et la marche à vide. L'écart instantané, au moment où se produit la variation, n'atteint pas en général 6 0/0. Un volant à main, relié à un ressort, permet de faire varier, dans certaines limites, la vitesse angulaire normale de la turbine. La figure 47 reproduit un diagramme de vitesse relevé avec un tachymètre enregistreur sur un groupe électrogène de 350 kw fonctionnant à 3 000 t : m.

Lorsque la turbine doit fournir une puissance supérieure à 10 0/0 de sa valeur normale, on admet, par le jeu d'une soupape spéciale, de la vapeur en un point intermédiaire du cylindre, généralement au passage d'un diamètre de roue à l'autre. La puissance supplémentaire qu'on peut ainsi développer atteint environ 30 0/0 de la valeur normale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En ce qui concerne la consommation de vapeur, les valeurs suivantes méritent d'attirer l'attention ; elles se rapportent à la marche avec con-

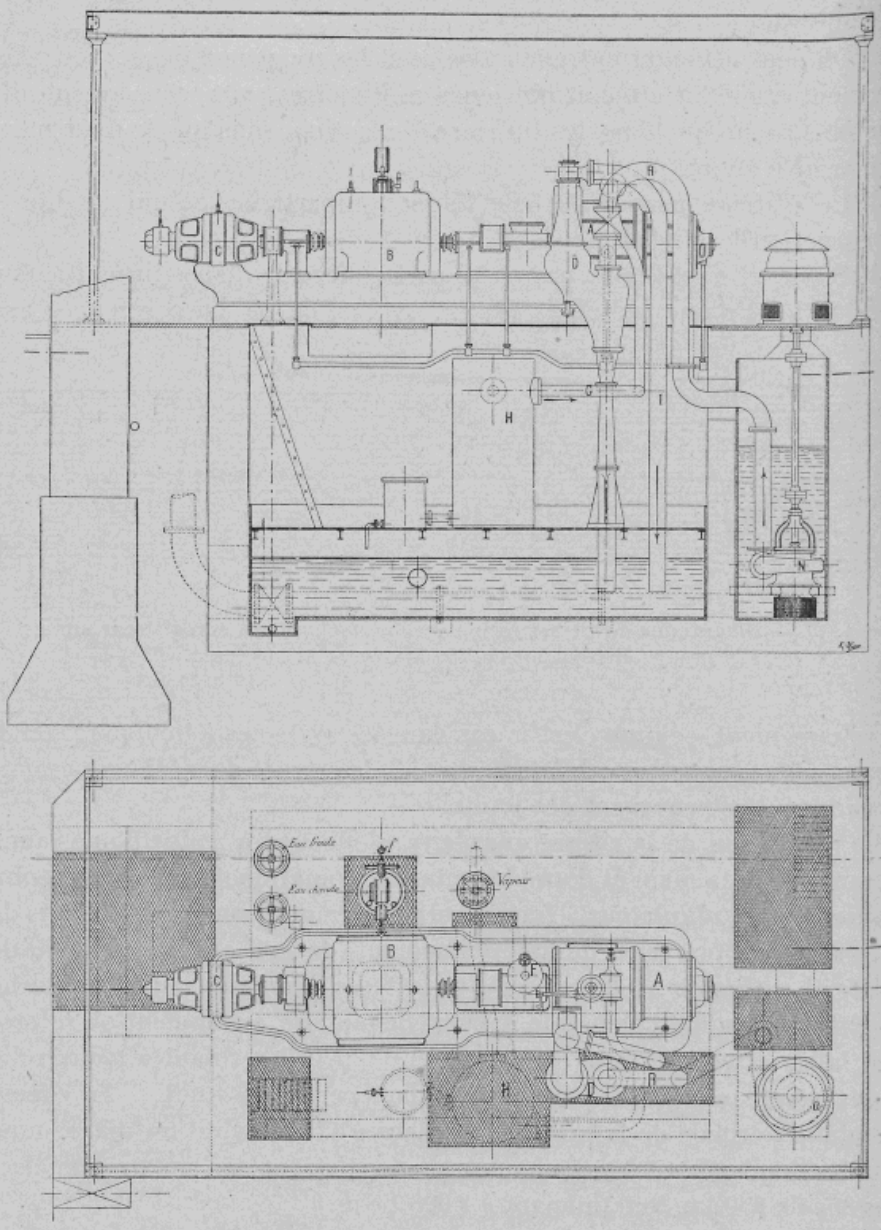


Fig. 48.

denseur, la contre-pression à l'échappement étant de 0,08 kg, c'est-à-dire avec un vide de 92 0/0.

A pleine charge, la consommation de vapeur, exprimée en kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grammes par kilowatt-heure, est de 9,7 kg sans surchauffe et de 8,2 avec surchauffe de 100°, la pression à l'admission étant de 12 kg : cm² absolus. Pour une pression de 6 kg : cm² absolus, cette consommation de vapeur, sans surchauffe, est de 11,2 kg et, avec surchauffe de 100°, de 9,5 kg.

A demi-charge, la consommation de vapeur est de 16 0/0 seulement plus élevée qu'à pleine charge.

La faible surface, relativement à sa puissance, occupée par ce groupe électrogène (6,50 m de longueur et 1,60 m de largeur) et l'absence de réaction sur le sol permettent de n'établir pour l'installer que des fondations peu importantes.

Les paliers sont du modèle à bagues avec circulation d'eau de refroidissement.

La consommation d'huile est fort réduite et est environ dix fois plus faible que dans un groupe électrogène de même puissance comportant une machine à pistons.

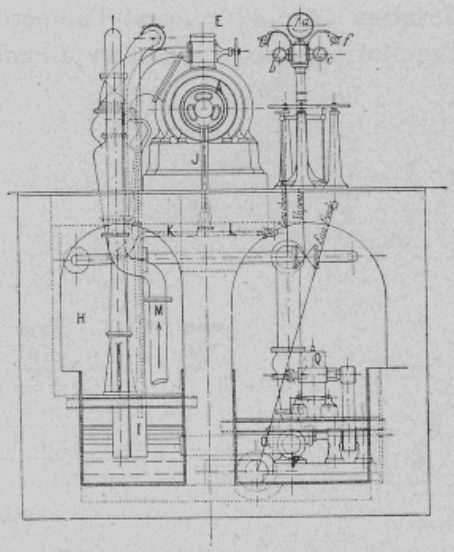


FIG. 49.

Installation à l'exposition de Liège. — Les dessins reproduits figures 48 et 49 représentent cette installation : A est la turbine à vapeur système Rateau ; B est l'alternateur triphasé, et C, l'excitatrice.

Ces trois machines sont montées sur un bâti unique avec ligne d'arbres commune.

La vapeur, prise sur la conduite générale de l'exposition, traverse la vanne de barrage G′, puis la bouteille de purge H, munie d'un purgeur automatique H′, et se rend par le tuyau G à la vanne d'admission ; cette dernière est montée sur l'obturateur E, commandé par le régulateur à force centrifuge F, muni d'un compensateur.

Après avoir traversé la turbine, la vapeur s'échappe dans l'éjecto-condenseur B, alimenté en R par la pompe centrifuge N que commande le moteur électrique O. La pompe N est noyée dans un puisard alimenté par un siphon S. L'eau chaude sortant de l'éjecto-condenseur est reprise par la pompe centrifuge P, actionnée par le moteur électrique U, qui la refoule dans la canalisation de retour d'eau de l'exposition.

L'échappement de la vapeur peut s'effectuer aussi par le tuyau I en cas de manque d'eau de condensation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les dispositions de cette installation sont un peu spéciales et ont été motivées par des circonstances locales, notamment en ce qui concerne la circulation des eaux de condensation. C'est également pour les mêmes motifs que l'alimentation des moteurs commandant les pompes est faite par du courant continu.

Les tuyaux J, K, L servent à la circulation d'eau destinée au refroidissement des paliers.

Les instruments de mesure et les appareils de manœuvre de l'alternateur sont portés par une colonne que l'on voit à droite de la coupe en élévation (*fig.* 49) : *a* est l'ampèremètre triphasé ; *b*, l'ampèremètre d'excitation, et *c* le voltmètre à haute tension ; en *f* sont les lampes de

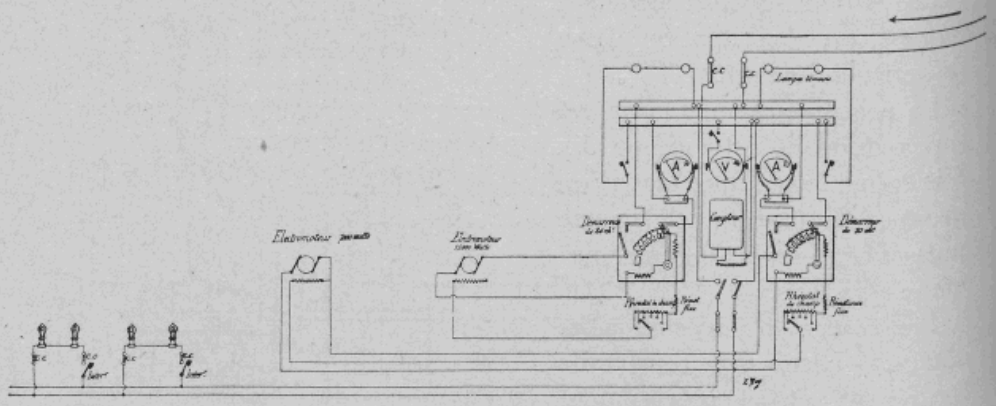


Fig. 50.

phase permettant de coupler l'alternateur avec une autre génératrice de même genre. Sur les côtés de la colonne et à hauteur de la main sont disposés les volants servant à commander les rhéostats d'excitation ainsi que le levier commandant l'interrupteur général.

La figure 50 donne le schéma des connexions électriques de l'installation. Les courants triphasés produits par l'alternateur traversent d'abord les circuits primaires du transformateur de compoundage et se rendent ensuite à l'interrupteur principal placé dans un bac rempli d'huile. Deux dérivations sont prises sur les conducteurs avant leur arrivée à l'interrupteur principal : l'une alimente, le voltmètre, et l'autre, l'un des transformateurs de phases. Le second transformateur, de phases est branché après l'interrupteur, afin de recevoir le courant du circuit d'utilisation, alimenté éventuellement par un autre alternateur avec lequel on devrait coupler l'alternateur triphasé du groupe électrogène.

L'un des conducteurs sortant de l'interrupteur à huile traverse le circuit primaire d'un petit transformateur alimentant l'ampèremètre.

Le circuit triphasé, à sa sortie de l'interrupteur à huile, se rend à un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

compteur branché comme l'indique le schéma et, de là, à un coupe-circuit tripolaire servant de liaison entre le circuit de l'alternateur et celui qui dessert l'exposition.

Le transformateur de compoundage alimente par ses circuits secondaires l'excitatrice compound établie suivant le principe indiqué par M. le professeur Blondel ; cette excitatrice est une véritable commutatrice actionnée par l'arbre de la turbine. Elle reçoit des courants triphasés qu'elle transforme en courants continus servant à alimenter le

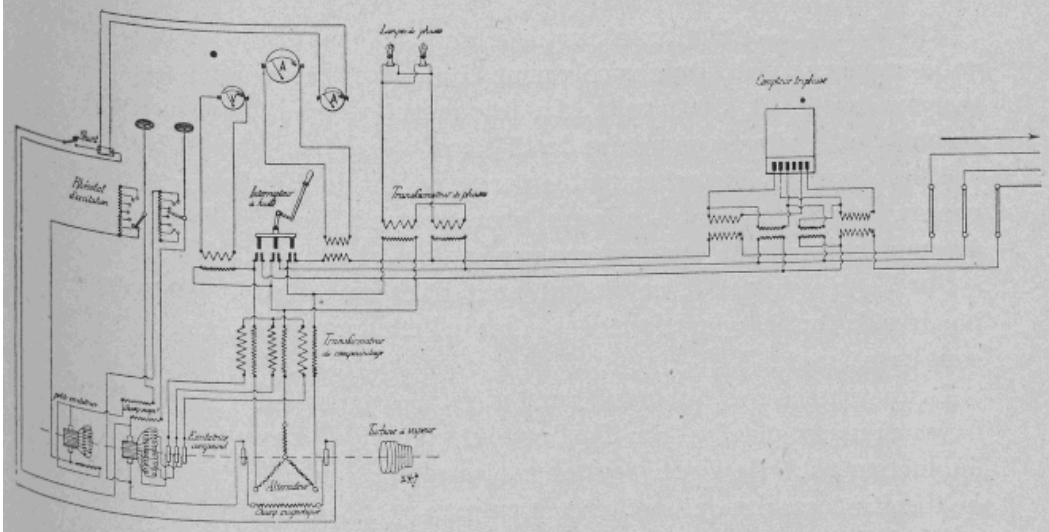


FIG. 51.

rotor ou inducteur tournant de la génératrice triphasée pour produire son excitation.

L'excitatrice compound est elle-même excitée par une autre petite dynamo à courant continu placée à l'extrémité de l'arbre commun du groupe électrogène.

L'excitatrice compound a deux champs magnétiques dans le circuit de chacun desquels est intercalé un rhéostat.

La figure 51 donne schématiquement les connexions de la distribution à courant continu ; ce courant, emprunté au circuit de l'exposition, dessert les pompes de condensation du groupe électrogène ainsi que l'éclairage du stand.

Le courant continu à 440 volts arrive à un tableau comportant deux appareils de manœuvre à déclenchement automatique commandant respectivement les deux moteurs des pompes. Le tableau porte, en outre, deux rhéostats d'excitation permettant de régler la vitesse angulaire des moteurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce tableau est complété par un compteur destiné à enregistrer la consommation de courant continu, par un voltmètre et, enfin, par deux ampèremètres, un pour chaque moteur.

Groupe électrogène de la Compagnie internationale d'électricité de Liège et de la Société anonyme du Phœnix de Gand (Belgique). — Ce groupe électrogène (*fig.* 52) se compose d'un alternateur triphasé commandé directement par un moteur à vapeur horizontal compound-tandem.

Alternateur. — Cet alternateur développe une puissance de 215 kilovolts-ampères ; il débite normalement 41 ampères par phase, sous une tension étoilée de 3000 volts. La fréquence est de 50 périodes par seconde, et la vitesse angulaire de 125 t : m.

L'inducteur mobile est constitué par un volant dont la jante est reliée par six bras au moyeu claveté sur l'arbre ; ce volant est en deux pièces assemblées à la jante et au moyeu par boulons et carcans.

Sur la périphérie de ce volant sont fixés radialement 48 noyaux polaires de forme cylindrique ; les pôles inducteurs et les pièces polaires sont en acier coulé.

Les carcasses des bobines d'excitation sont en métal et solidement fixées au noyau polaire, afin d'éviter tout jeu radial. La construction de l'inducteur est telle qu'on peut enlever aisément un pôle complet sans qu'il soit nécessaire de toucher à la culasse.

L'induit fixe est constitué par une carcasse en fonte ; bien qu'elle soit très légère, elle présente néanmoins une résistance suffisante.

A l'intérieur de cette carcasse est fixé le noyau annulaire, formé de paquets de tôles minces en fer spécial et isolées au vernis émail. Des canaux de ventilation sont ménagés à l'intérieur du noyau.

En ce qui concerne l'enroulement de l'induit, tous les cadres sont faits d'avance sur gabarit, ce qui a le double avantage d'éviter les accidents et de faciliter les réparations éventuelles. Les conducteurs sont logés dans des tubes isolants d'une seule pièce en papier et mica ; par une préparation spéciale, les tubes sont rendus non hygroscopiques, ce qui conserve à la machine une résistance d'isolement toujours excellente.

Les conducteurs de l'enroulement, ainsi isolés, sont logés dans les encoches du noyau où ils sont maintenus par des cales en matière isolante. Les extrémités des conducteurs sont entourées d'un ruban spécial imperméable.

Le courant d'excitation est fourni par une dynamo dont l'induit est claveté directement sur l'arbre moteur. Cette dynamo a une puissance de 7 kilowatts et débite le courant sous une tension de 240 volts.

Le rendement de l'alternateur est de 94 0/0. Il pèse 12 tonnes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moteur à vapeur. — Ce moteur Corliss (*fig.* 53), compound avec

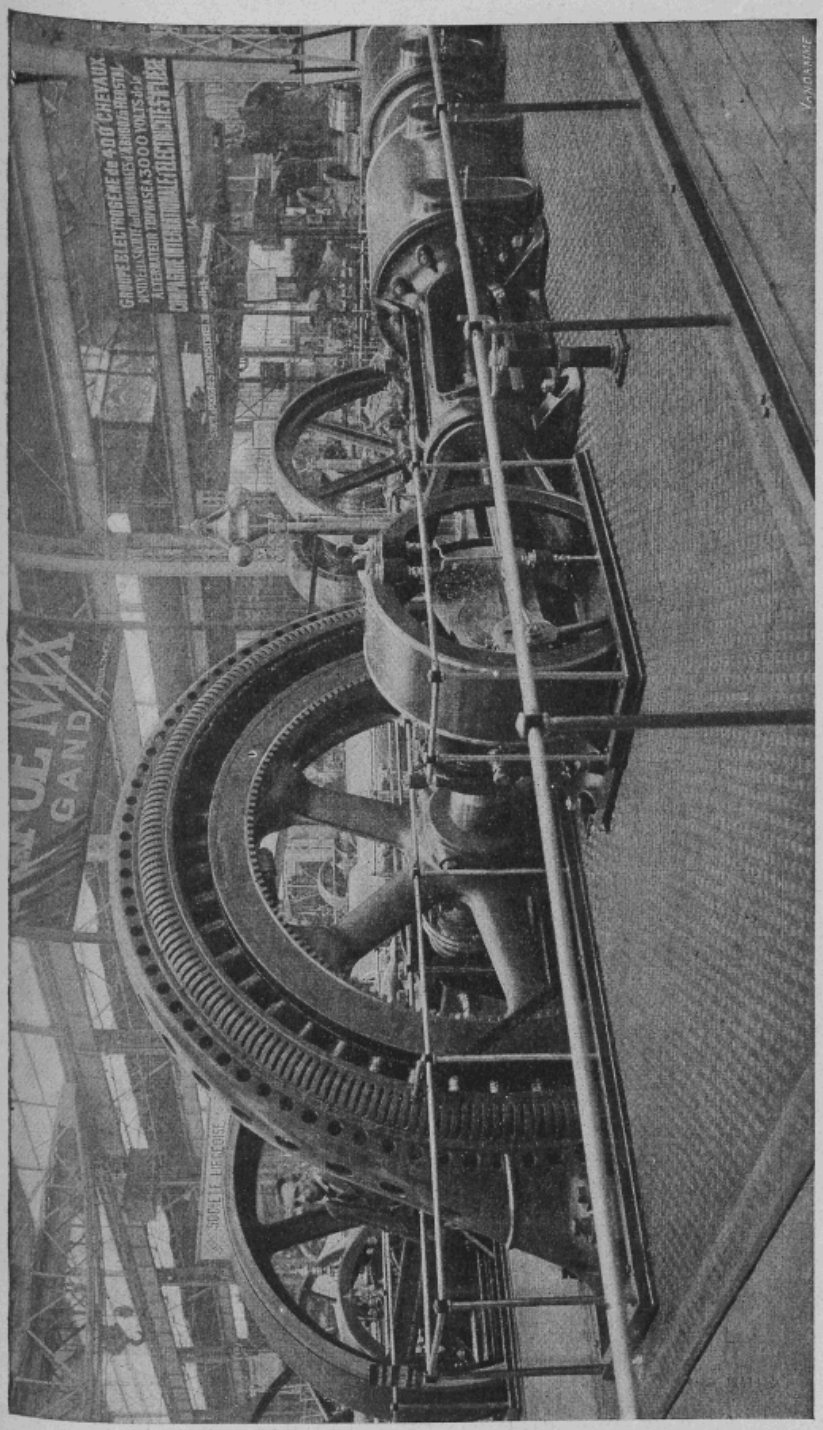


Fig. 52. — Groupe électrogène de la Compagnie internationale d'électricité et de la Société du Phœnix.

cylindres montés en tandem, est du type renforcé, établi pour fonctionner

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à la haute pression de 12 kg : cm² à l'admission. La vitesse angulaire est de 130 t : m.

Dans ces conditions, avec une détente totale de 16 pour la vapeur, la puissance indiquée est de 530 chevaux, soit 488 chevaux effectifs avec un rendement mécanique de 0,92. La marche la plus économique est obtenue avec les trois quarts de la charge; la consommation de vapeur

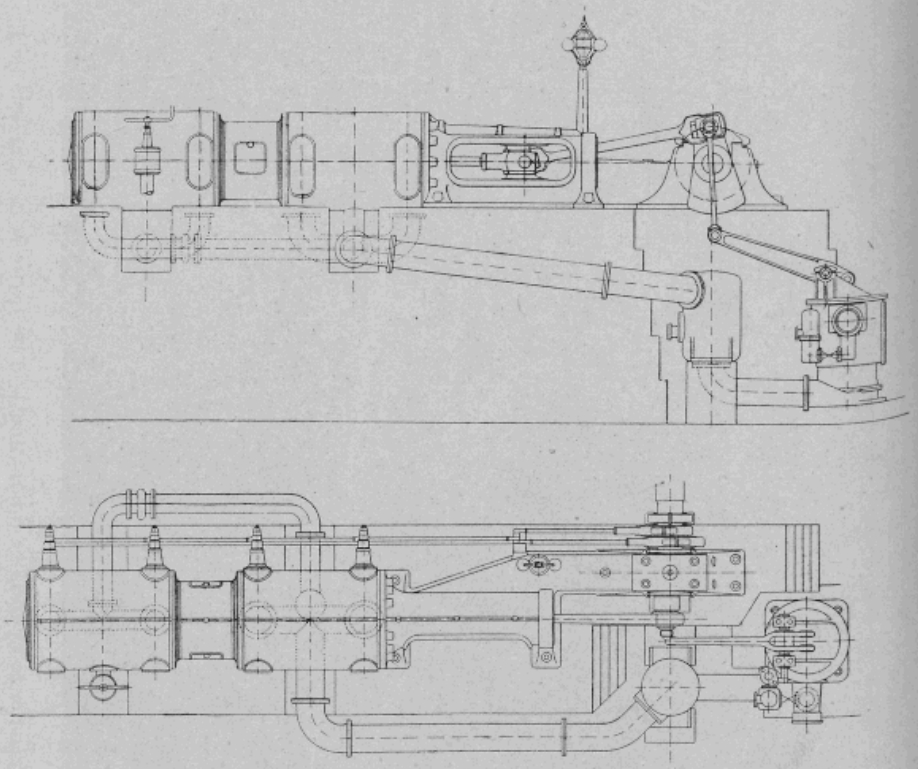


Fig. 53. — Moteur à vapeur de la Société du Phœnix.

par cheval indiqué atteint son minimum; seulement, les résistances passives étant presque constantes, la consommation par cheval effectif augmente.

Les dimensions principales de cette machine sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression.....	450 mm
— — basse —	710 —
Course des pistons.....	900 —

Le bâti, venu de fonte avec le palier-moteur, repose sur la fondation sur toute sa longueur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le cylindre à basse pression est fixé au bâti. Son pied arrière ainsi que le pied avant du cylindre à haute pression reposent sur une taque unique rabotée qui assure la concordance des axes.

Le pied arrière du petit cylindre repose également sur une taque rabotée et permet la libre dilatation.

Les obturateurs d'admission et d'échappement sont logés dans les fonds afin de réduire l'importance des surfaces et des espaces nuisibles.

Les excentriques de la distribution sont au nombre de deux. L'un actionne les quatre valves d'échappement, l'autre les quatre valves d'admission ; celles-ci sont à déclic pour les deux cylindres. L'action du régulateur fait varier la durée d'admission, sans modifier les avances ; cette action peut s'appliquer à volonté aux deux cylindres ou à celui à haute pression seulement.

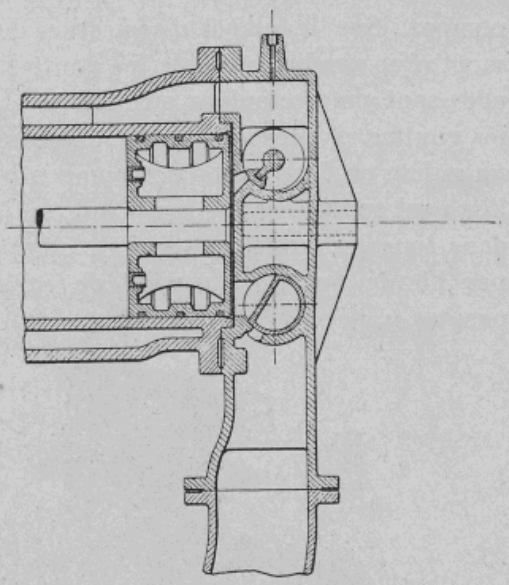


FIG. 54.

Les valves de ce moteur ont un diamètre très réduit et une grande longueur, ce qui a pour effet de diminuer l'effort nécessaire pour les mouvoir.

La figure 54 représente un fond de cylindre muni de ses valves.

La distribution est établie de manière que la lumière d'admission soit complètement ouverte lorsque le piston a parcouru les 11 centièmes de sa course. La section totale du passage correspond à une vitesse de la vapeur de 35 m par seconde.

Les périodes de distribution de ce moteur sont les suivantes :

1° Avance à l'admission (ouverture de la lumière au point mort).....	1,5 mm	1,5 mm	1,5 mm	1,5mm
2° Admission minimum.....	0	0	0,20	0,20
3° Admission maximum.....	0,74	0,66	0,74	0,66
4° Avance à l'échappement (mesurée sur la course).....	10 0/0	9 0/0	10 0/0	9 0/0
5° Compression (mesurée sur la course)	0,12	0,12	0,15	0,15

Indépendamment de l'étanchéité des obturateurs et des pistons, qui peut être obtenue par des soins et des procédés de fabrication particu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

liers, l'économie de marche d'un moteur à vapeur est liée intimement à l'efficacité des enveloppes de vapeur aux surfaces et aux espaces nuisibles. La machine Corliss, avec les obturateurs logés dans les fonds, permet de réaliser les conditions économiques les meilleures, car les espaces nuisibles sont forcément réduits, les valves n'étant séparées du cylindre que par l'épaisseur de la paroi du fond.

Les cylindres et les obturateurs reçoivent l'huile d'un appareil de distribution centrale qui se compose d'un certain nombre de petites pompes. Sur le clapet d'aspiration de chacune d'elles tombent, librement et en nombre réglable, les gouttes d'huile d'un réservoir supérieur; elles sont alors refoulées aux points à graisser. Il est à remarquer que les gouttes visibles ne sont pas en pression et ne sont pas non plus dans un milieu où l'aspiration des pompes produit le vide. Il en résulte que l'on peut supprimer les joints qui ne tiennent jamais et les verres qui, dans tous les graisseurs qui en comportent, sont régulièrement salis par l'huile épaisse au point de cacher totalement les gouttes qui passent.

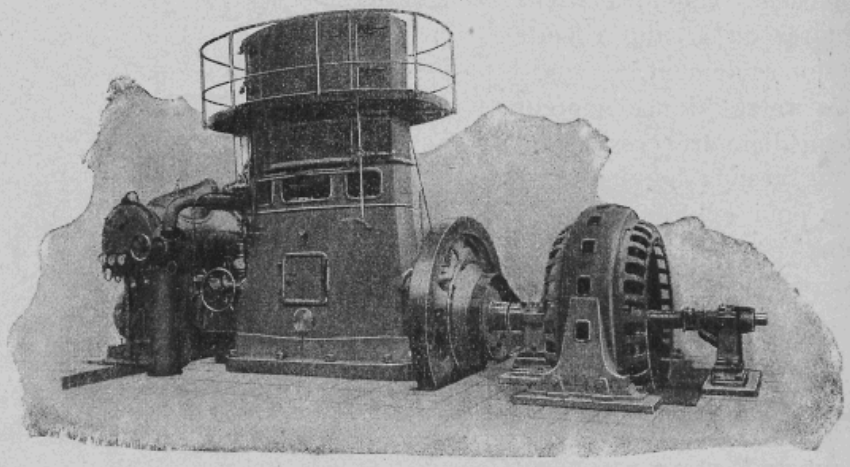


Fig. 55. — Groupe électrogène de la Société « l'Éclairage électrique » et des établissements Delaunay-Belleville.

Groupe électrogène de la Société l'Éclairage électrique de Paris et des établissements Delaunay-Belleville. — Ce groupe électrogène (*fig.* 55) a concouru à assurer le service d'éclairage et de transport d'énergie de la section française de l'Exposition.

Il se compose d'un alternateur triphasé, système Labour, construit dans les ateliers de la Société « l'Éclairage électrique », et d'un moteur à vapeur vertical, à triple expansion, sortant des ateliers des établissements Delaunay-Belleville.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Alternateur. — L'alternateur (*fig.* 56), à la vitesse angulaire de 375 t : m, a une puissance apparente de 450 kilovolts-ampères, ce qui correspond à une puissance effective de 370 kw avec un facteur de puissance égal à 0,8. Il débite des courants triphasés à raison de 90 ampères par phase sous une tension de 3000 volts à la fréquence de 50 périodes par seconde.

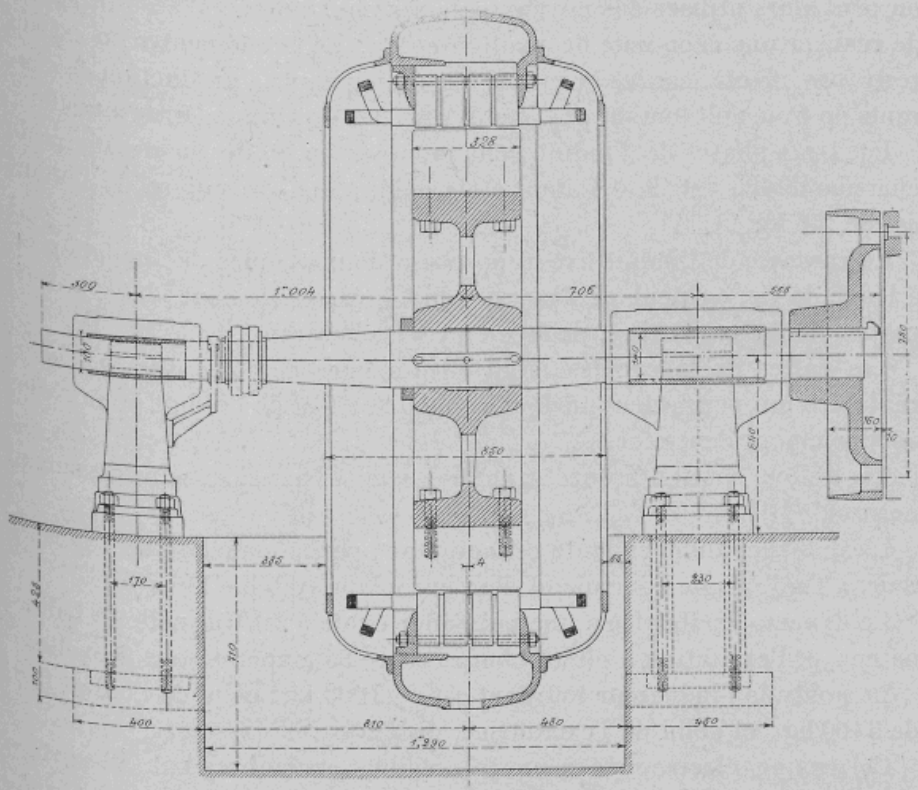


FIG. 56. — Alternateur, système Labour.

L'inducteur tournant comporte un volant d'une seule pièce, muni de 16 pôles : il a 1,422 m de diamètre, ce qui, à la vitesse angulaire 375 t : m, correspond à une vitesse périphérique de 38 m par seconde.

Les noyaux des bobines inductrices sont d'une seule pièce, en acier coulé, de forme rectangulaire et ont une section de 126 × 350 mm. Ils sont maintenus sur le volant par des vis dont la tête se trouve à l'intérieur de la jante. Les bobines inductrices sont en cuivre, profilé et guipé, de 31 mm² de section. La résistance totale du circuit inducteur est de 1,12 ohm, et le poids de cuivre de 480 kg.

L'entrefer est de 5 mm.

La carcasse de l'induit a un diamètre extérieur de 2,300 m ; le noyau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

feuilleté est muni de quatre canaux de ventilation de 14 mm chacun. Il y a six encoches fermées par pôle, soit au total 96 encoches ; chacune d'elles contient dix spires de fil ayant 28 mm² de section.

Ce faible nombre de spires justifie l'emploi d'encoches fermées qui compliquent évidemment le bobinage, puisqu'il est nécessaire de faire passer à la main les câbles dans les encoches du noyau, mais, par contre, on peut alors utiliser des noyaux polaires non feuilletés, ce qui permet de réaliser une économie de main-d'œuvre. Le rendement n'en est, du reste, pas affecté, car les encoches fermées évitent la production de courants de Foucault lors du passage devant des noyaux polaires massifs.

Les trois phases de l'induit sont montées en étoile ; la résistance de chacune d'elles est de 0,4 ohm, et le poids total de cuivre de l'induit est de 256 kg.

La carcasse de l'induit fixe repose sur deux plaques de fondation et, à l'aide de vis, on peut déplacer l'induit horizontalement, dans le sens perpendiculaire à l'arbre, de façon à régler l'entrefer.

Les pattes de la carcasse sont elles-mêmes montées sur des cales réglables qui permettent un déplacement vertical de l'induit pour régler verticalement l'entrefer.

Les paliers sont en bronze, avec graissage à bagues et refroidissement naturel.

L'excitatrice indépendante est actionnée par le manchon de l'alternateur, à l'aide d'une courroie et d'un enrouleur système Leneveu.

La dynamo excitatrice a une puissance égale à 2 0/0 de celle de l'alternateur, et l'excitation à pleine charge exige 65 ampères sous 90 volts.

Le poids de l'inducteur tournant est de 3 000 kg ; celui de l'induit fixe, de 3 100 kg ; et celui de l'excitatrice, de 320 kg.

Ce groupe électrogène a un très faible encombrement, la surface occupée étant de 22,5 m², soit environ 5 décimètres carrés par kilovolt-ampère.

A pleine charge, le rendement atteint 94 0/0 ; à trois quarts de charge, 93,5 0/0 ; et à demi-charge, 92 0/0.

Après dix heures de fonctionnement, l'échauffement du fer dans l'induit n'est que de 30° au-dessus de la température ambiante et de 40° dans le cuivre ; en ce qui concerne l'inducteur, l'élévation de température ne dépasse pas 30°.

Moteur à vapeur. — Le moteur à vapeur vertical Delaunay-Belleville est à quatre cylindres et à triple expansion (*fig.* 57 et 58). Il entraîne directement l'alternateur Labour à la vitesse angulaire de 375 t : m.

Ce moteur est établi pour une puissance de 580 à 600 chevaux avec une pression de vapeur d'environ 14 kg : cm² en avant du régulateur. A l'Expo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

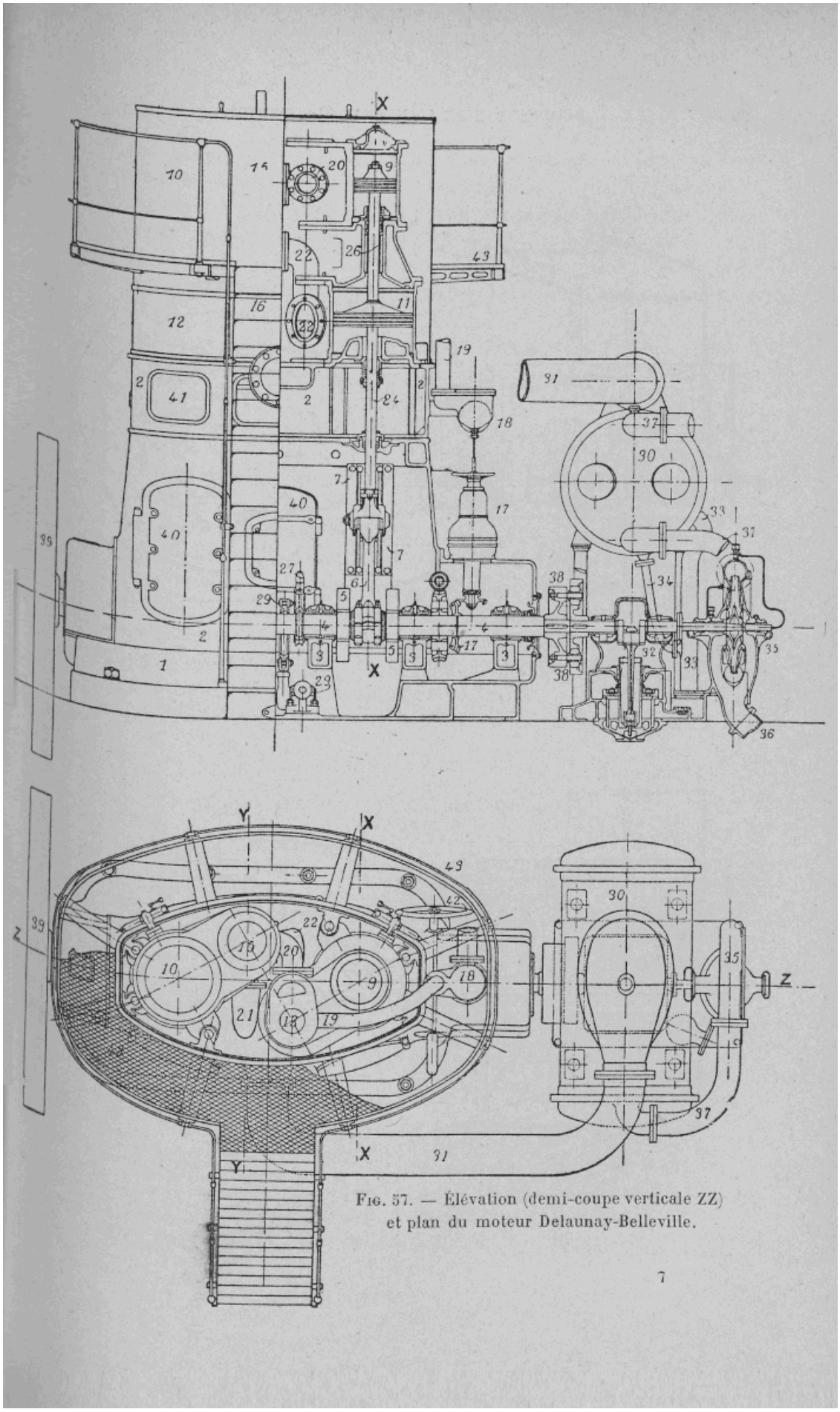


FIG. 57. — Élévation (demi-coupe verticale ZZ) et plan du moteur Delaunay-Belleville.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

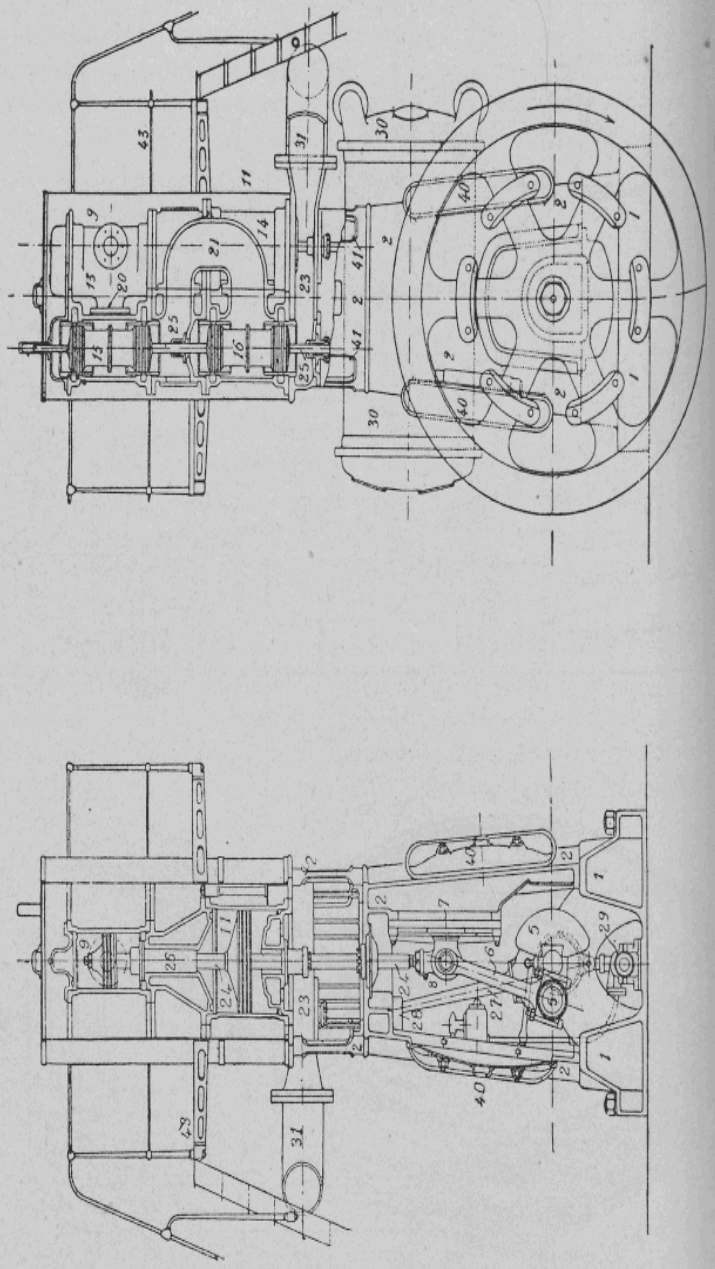


Fig. 58. — Coupe transversale XX et vue en bout (demi-coupe YY) du moteur Delannay-Belleville.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sition de Liège, où la pression de la vapeur ne dépassait pas 10 kg : cm², sa puissance effective sur l'arbre de l'alternateur était de 400 chevaux.

Les cylindres sont disposés par deux en tandem au-dessus l'un de l'autre. Le cylindre à haute pression et celui à moyenne pression sont chacun superposés à un des cylindres à basse pression. Les pistons, munis de garnitures métalliques Ramsbotton, commandent deux manivelles placées à angle droit l'une de l'autre.

Le diamètre du cylindre à haute pression est de 270 mm ; celui du cylindre à moyenne pression de 436 mm et, enfin, celui des deux cylindres à basse pression de 500 mm.

Les distributeurs, de forme cylindrique, se trouvent également superposés deux à deux, comme leurs cylindres respectifs ; dans ces conditions, deux excentriques sont suffisants pour assurer la distribution à l'aide de tiges communes à deux tiroirs.

Pour rendre l'ensemble du moteur plus compact, les distributeurs ont été légèrement déplacés de part et d'autre du plan axial longitudinal.

Le régulateur à boules agit sur une soupape équilibrée placée sur la boîte à tiroir du cylindre à haute pression. Ce régulateur, entièrement monté sur roulement à billes, comporte un système de ressorts de réglage qui permettent de faire varier, dans une certaine mesure, la vitesse angulaire du moteur pendant la marche.

Les cylindres supérieurs sont recouverts de calorifuge, mais les

LÉGENDE DES FIGURES 57 ET 58

1. Plaque de fondation.
2. Bâti.
3. Paliers de l'arbre moteur.
4. Arbre moteur.
5. Manivelles et leurs contrepoids.
6. Grandes bielles.
7. Glissières pour la tête de tige de piston.
8. Têtes de tige de piston.
9. Cylindre à haute pression.
10. Cylindre à moyenne pression.
11. Cylindre à basse pression sous le cylindre à haute pression.
12. Cylindre à basse pression sous le cylindre à moyenne pression.
13. Boîte à tiroir du cylindre 9.
14. — — 11.
15. — — 10.
16. — — 12.
17. Régulateur de vitesse à force centrifuge.
18. Boîte de la soupape équilibrée de régulation.
19. Tuyau reliant la soupape 18 au cylindre à haute pression.
20. Conduit amenant la vapeur du cylindre à haute pression au tiroir du cylindre à moyenne pression.
21. Conduit amenant la vapeur du cylindre à moyenne pression au tiroir du cylindre à basse pression situé au-dessous.
22. Conduit amenant la vapeur du cylindre à moyenne pression au tiroir du cylindre à basse pression placé sous le cylindre à haute pression.
23. Conduit d'évacuation des deux cylindres à basse pression.
24. Tige de piston commune aux deux cylindres superposés.
25. Tige de tiroir commune à deux tiroirs superposés.
26. Boîte à garniture métallique.
27. Excentrique des tiroirs.
28. Glissière du pied de bielle de l'excentrique 27.
29. Pompe à huile pour le graissage sous pression (il y a deux pompes semblables).
30. Condenseur par surface.
31. Tuyau d'évacuation allant au condenseur.
32. Pompe à l'air.
33-34. Tuyau entre le condenseur et la pompe à air.
35. Pompe de circulation.
36. Aspiration de la pompe.
37. Refoulement de la pompe.
38. Accouplement semi-élastique de l'arbre moteur avec l'arbre de la pompe à air.
39. Volant portant une couronne pour l'accouplement semi-élastique de l'alternateur.
40-41. Portes de visite du bâti.
42. Vireur et son volant de manœuvre.
43. Passerelle à la hauteur des cylindres supérieurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cylindres inférieurs à basse pression comportent des doubles fonds permettant le réchauffage lors de la mise en marche.

Le condenseur a une surface refroidissante de 61,5 m² et il comporte 846 tubes dans lesquels l'eau de circulation fait deux allées et venues.

L'ensemble du moteur a 4,90 m de longueur, 2,30 m de largeur et 4 m de hauteur.

Groupe électrogène de la Société d'Applications industrielles et de la Société des établissements Weyher et Richemond de Paris. — Ce groupe électrogène se compose d'un moteur à vapeur horizontal

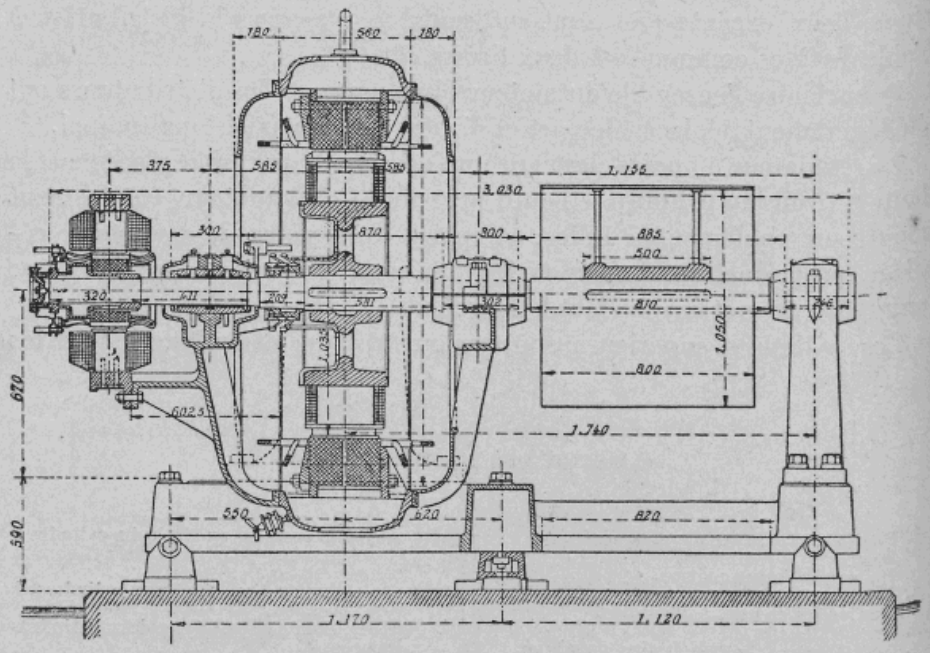


Fig. 59. — Coupe longitudinale de l'alternateur Alioth.

compound, construit par la Société des établissements Weyher et Richemond et d'un alternateur triphasé, système Alioth, construit par la Société d'applications industrielles.

Alternateur. — Cet alternateur (*fig.* 59) est commandé par courroie. Il a une puissance apparente de 235 kilovolts-ampères à la vitesse angulaire de 500 t : m et débite des courants triphasés sous une tension de 3000 volts à la fréquence de 50 périodes par seconde.

Cet alternateur est à induit fixe et à inducteur tournant. Son poids total est de 7 tonnes ; sa hauteur totale au-dessus du sol est de 2,105 m.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'inducteur est constitué par un volant en acier coulé d'une seule pièce ; la jante et le moyeu sont réunis par une partie pleine dans laquelle sont ménagés un certain nombre de trous circulaires, en vue d'alléger la partie mobile de l'alternateur. La jante affecte la forme d'un dodécagone régulier dont chaque côté porte un noyau polaire en acier doux, venu de fonte avec le volant. Les noyaux polaires ont une forme ovale et une section de 274 mm². L'inducteur est solidement claveté sur l'arbre à la presse hydraulique.

Les bobines inductrices comportent chacune 110 spires en cuivre plat, enroulé sur champ; ce ruban de cuivre a une section de 2×16 mm². La bobine est maintenue sur le noyau par un épanouissement polaire, en forme d'arc de cercle, fixé dans le noyau au moyen de vis. Les 12 bobines sont reliées en série et les deux extrémités du circuit d'excitation aboutissent à deux bagues, en bronze, de prise de courant sur lesquelles appuient des balais en charbon.

Les deux bagues servant à amener le courant d'excitation sont disposées dans une boîte spéciale fixée sur l'arbre à côté du volant. Un mode de construction très ingénieux empêche les bagues de se décentrer.

La résistance totale de l'enroulement inducteur est de 0,7 ohm. L'intensité du courant d'excitation, à pleine charge, est de 64 ampères sous 55 volts.

Le poids du cuivre des bobines inductrices est de 310 kg et le poids total de l'inducteur est de 1 700 kg, y compris celui de l'arbre. Son diamètre est de 1,035 m et la vitesse périphérique est de 26 m par seconde.

L'entrefer est de 7,5 mm.

L'induit a un noyau feuilleté, en tôles minces, isolées au papier et ayant un très faible coefficient d'hystérésis. Les tôles sont en deux pièces assemblées suivant le diamètre horizontal. Des canaux de ventilation ont été ménagés à l'intérieur de ce noyau, maintenu par des boulons à l'intérieur d'une carcasse ronde en fonte, d'une seule pièce. Les bords de cette carcasse sont alésés et supportent des croisillons porte-paliers assurant un centrage parfait de l'inducteur tournant à l'intérieur de l'induit.

Cette carcasse a un diamètre extérieur de 1,70 m et une largeur de 56 cm ; elle est munie de nombreux trous de ventilation et de deux enveloppes latérales destinées à protéger les enroulements.

Le noyau porte 72 encoches demi-fermées de 24 mm de largeur sur 39 cm de profondeur, ce qui donne 2 encoches par pôle et par phase.

L'enroulement induit est en fil de cuivre rond de 4,2 mm de diamètre recouvert d'un guipage. Il y a, par phase, six doubles bobines de 17 spires, ce qui donne au total 204 spires en série pour chaque phase. Les trois phases sont montées en étoile. Les 17 conducteurs contenus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans chaque encoche sont logés dans un caniveau fermé en micanite comprimée.

La résistance à froid de chaque phase est de 0,48 ohm. Le poids total de la partie fixe de l'alternateur est de 2500 kg.

La sortie du courant est placée à la partie inférieure de la machine et les bornes sont fixées sur des isolateurs en porcelaine.

Les paliers de l'alternateur, supportés par les croisillons fixés à la carcasse, ainsi que le palier auxiliaire supporté par le bâti sont munis de graisseurs à bague du modèle spécial adopté par la Société Alioth.

L'excitatrice est une dynamo de 3,5 kilowatts, calée à l'extrémité de l'arbre de l'alternateur. La carcasse multipolaire de cette machine est fixée sur une console et l'induit est claveté sur l'arbre de l'alternateur.

Avec un facteur de puissance égal à 0,8, l'alternateur débite 45 ampères par phase sous 3000 volts ; sa puissance efficace est donc de 188 kilowatts.

Les rendements aux différentes charges sont les suivants :

à 3/4 de charge	93,5 0/0
à pleine charge	93,0 0/0
à 3/4 de charge	92,5 0/0
à demi-charge	90,0 0/0

L'échauffement au-dessus de la température ambiante, est de 30° C. après une marche continue de vingt-quatre heures, aussi bien dans l'induit que dans l'inducteur.

Moteur à vapeur. — Le moteur compound horizontal (*fig.* 60) a ses deux cylindres montés en tandem.

Le cylindre à haute pression a 370 mm de diamètre et celui à basse pression 640 mm ; la course commune des pistons est de 1,05 m. La vitesse angulaire normale est de 110 t : m.

A l'Exposition, il tournait à 95 t : m et marchait à condensation à la pression de 11 kg : cm². Il développait alors une puissance normale de 400 chevaux et pouvait fournir un maximum de 620 chevaux effectifs, la détente totale variant entre 30 et 6 fois le volume de vapeur admis.

La consommation de vapeur saturée et sèche, par cheval indiqué et par heure, est de 5,890 kg au régime économique. Avec une surchauffe de 300° à 350°, cette consommation peut s'abaisser jusqu'à 4,450 kg.

Le cylindre à basse pression est muni d'une enveloppe de vapeur.

Le graissage est assuré par des graisseurs à gouttes visibles, réglables à volonté. Le graissage sous pression pour les organes qui l'exigent s'opère au moyen de pompes appropriées.

Un arbre, placé du côté intérieur du moteur, parallèlement à l'axe des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cylindres, est commandé par l'arbre moteur, par l'intermédiaire d'un engrenage ; il porte les excentriques agissant sur les organes de distribution.

Les organes de distribution, dont l'aspect extérieur rappelle à première vue les soupapes ordinaires, s'écarte notablement de ce qui a été fait jusqu'ici. Les distributeurs de vapeur ne sont pas, en effet, à proprement parler, des soupapes, bien que leur fonctionnement soit en

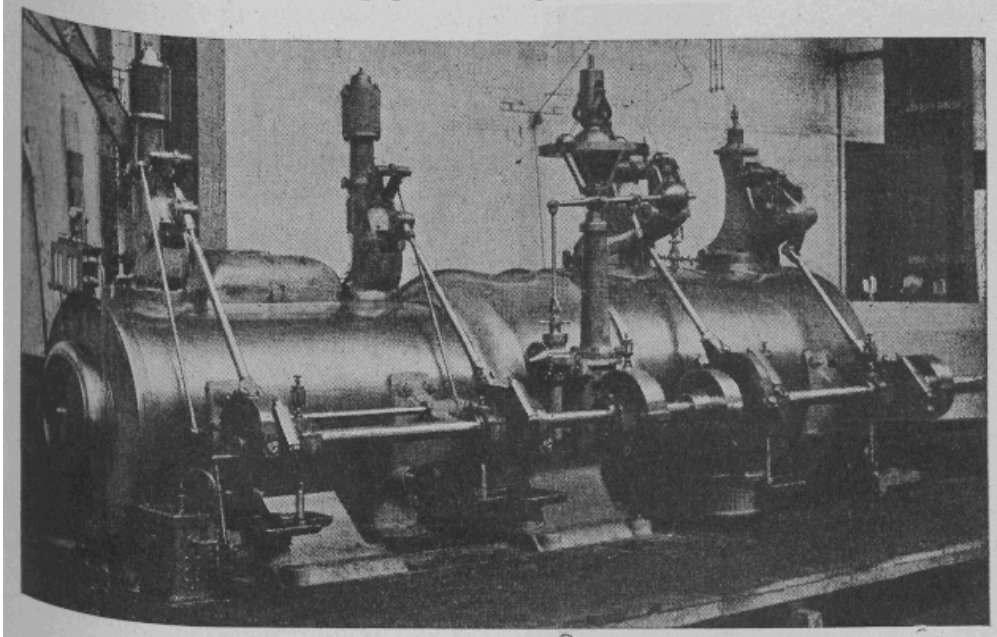


FIG. 60. — Moteur à vapeur Weyher et Richemond.

apparence le même ; ils agissent cependant d'une manière totalement différente, comme on peut s'en rendre compte en examinant la figure 61.

Ce sont des obturateurs élastiques annulaires fonctionnant sans aucun frottement ; ces obturateurs sont appliqués sur leurs glaces, pendant la fermeture, par la pression de la vapeur et sont absolument équilibrés, pendant l'ouverture, sans provoquer sur leurs organes de commande d'autre effort que celui de leurs poids d'ailleurs très réduit.

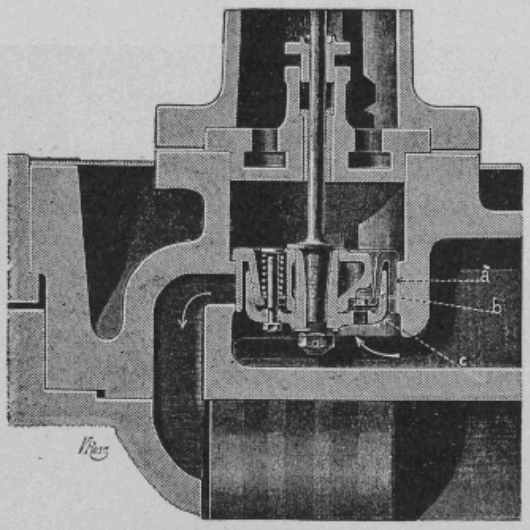
Pour bien comprendre l'avantage de la disposition adoptée, il suffit de rappeler que deux cônes de faible inclinaison, tournés au même diamètre pour s'emboîter l'un dans l'autre, se bloquent ou se débloquent avec la plus grande facilité dans le cas où le diamètre de l'un des deux diffère d'une quantité extrêmement faible du diamètre du second.

Le distributeur Weyher et Richemond se compose de deux parties, l'obturateur et l'alvéole creuse dépendant du cylindre et dans laquelle se meut l'obturateur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'alvéole a la forme d'un tronc de cône dans la partie médiane duquel est venu de fonte un orifice annulaire qui s'ouvre sur un conduit allant au cylindre. Cet orifice annulaire est interrompu sur une largeur de 20 mm environ, de telle sorte qu'à cet endroit la paroi du tronc de cône est pleine de haut en bas.

L'obturateur est formé d'un anneau métallique circulaire dont la section est un U renversé, analogue au cuir embouti d'une presse hydraulique (*fig.* 62).



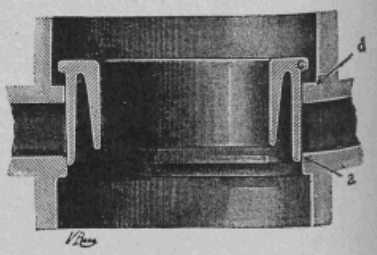


Fig. 62.

La paroi externe *a* de l'une des branches de cet U présente une conicité identique à celle de la paroi interne de l'alvéole et s'applique exactement sur cette paroi; la paroi interne *b* de l'autre branche de l'U est également tournée suivant une certaine conicité.

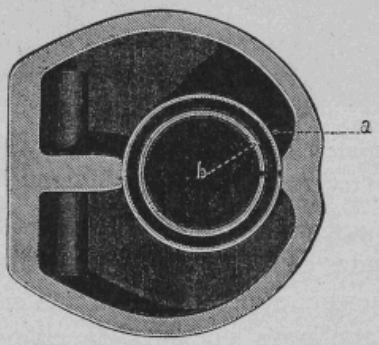


Fig. 61.

L'anneau est fendu sur toute sa hauteur, à l'extrémité d'un diamètre, par un simple trait de scie; cette fente est placée de manière à correspondre à la partie pleine de l'alvéole et l'anneau est ainsi rendu élastique comme l'est un segment de piston. Si on le place dans l'alvéole, il ferme hermétiquement l'orifice annulaire sur lequel il est appliqué par la pression de la vapeur. En lui donnant un mouvement vertical de translation, alternatif de bas en haut et de haut en bas, il opérerait la distribution, mais en frottant énergiquement sur les parois internes de l'alvéole. Ce frottement est complètement supprimé, grâce à une nouvelle disposition très simple : un cône renversé *c*, suspendu à une tige verticale, vient saisir la branche

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

interne de l'U qui présente elle-même une contre-conicité convenable.

Sous l'action de cette étreinte, le diamètre de l'anneau est réduit d'une quantité extrêmement faible, mais suffisante néanmoins pour permettre à cet anneau de sortir librement de son alvéole. Au moment de la fermeture, le même rétrécissement étant maintenu par le cône renversé, l'anneau rentre toujours librement dans son alvéole. En descendant, il rencontre un repos et le cône renversé, continuant son mouvement, l'abandonne et lui permet de s'ouvrir et de s'appliquer exactement sur les parois internes de l'alvéole.

Si l'on compare ces nouveaux obturateurs aux tiroirs plans ou cylindriques, on constate que ces derniers, soumis à la pression de la vapeur et frottant énergiquement sur leurs glaces, n'échappent aux graves inconvénients du grippement que si on les inonde d'huile de qualité convenable et que si l'entretien des appareils de graissage ne laisse rien à désirer. Tout en évitant les grippements, on ne saurait éviter l'usure qui, après un certain temps de service, exige le remplacement des tiroirs.

Les nouveaux obturateurs Weyher et Richemond ne frottant pas dans leur alvéole, n'exigent qu'un graissage insignifiant et peuvent même fonctionner à sec. Ils présentent l'avantage de fermer les orifices avec la vitesse que l'on veut ; l'amortissement de la chute ne commence que lorsque la lèvre *a* de l'obturateur a déjà dépassé l'arête *b* de la lumière (*fig.* 62). A ce moment l'orifice est pratiquement bouché à cause de la très faible conicité de l'anneau et de son alvéole. L'amortissement se produit ensuite dans le temps qui reste à courir pour que la saillie *c* vienne tranquillement s'appuyer sur le repos *d*.

Un autre avantage que présentent encore ces obturateurs sur les organes de distribution analogues, mais à frottement, est qu'ils n'exigent qu'un effort insignifiant pour être enlevés de leurs sièges ; ils se trouvent ensuite absolument équilibrés dans la vapeur, et les organes qui les commandent n'ont à soulever que leur faible poids. De plus, ce genre d'obturateur présente une étanchéité parfaite et l'usure des surfaces est nulle puisqu'il n'y a pas de frottement.

On peut signaler, parmi les détails d'exécution de ce moteur, le régulateur à compensateur automatique et la disposition des paliers de l'arbre moteur qui joignent à une résistance élevée des moyens de réglage absolument précis.

La condenseur est à mélange et du type horizontal ; la pompe à air est verticale et actionnée directement par un balancier prenant son mouvement sur la crosse de la tige de piston.

Groupe électrogène de la Société anonyme Force et Éclairage

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de Bruxelles, concessionnaire pour la Belgique des anciens établissements Lahmeyer, et de la Société anonyme Saint-Léonard de Liège (Belgique). — Ce groupe électrogène (*fig.* 63) se compose d'un alternateur triphasé, système Lahmeyer, actionné directement par un moteur à gaz pauvre, système Kœrting.

Alternateur. — L'alternateur a une puissance de 450 kilovolts-ampères et débite des courants triphasés sous une tension de 2000 volts, à la vitesse angulaire de 125 t : m ; la fréquence est de 50 périodes par seconde.

Le système inducteur est constitué par un volant en fonte en deux pièces, calé sur l'axe du moteur qui commande l'alternateur. Sur la jante de ce volant sont fixés, à l'aide de boulons, 48 noyaux polaires disposés radialement ; ils sont munis d'épanouissements polaires, venus de fonte, qui maintiennent les bobines inductrices. L'enroulement de ces bobines est en fil de cuivre profilé et soigneusement isolé.

Les extrémités de l'enroulement inducteur sont amenées au moyeu, le long de l'un des bras du volant ; elles sont reliées respectivement à deux bagues en bronze, placées sur l'arbre moteur, dont elles sont isolées. Le courant d'excitation est amené à ces bagues par des balais en charbon. Les axes des porte-balais sont fixés à un support en fonte fixé sur le côté du palier extérieur ; les câbles arrivant aux porte-balais traversent l'intérieur de ce support pour se rendre dans la fosse de la machine où ils sont reliés aux câbles venant de l'excitatrice.

Le courant d'excitation était fourni pour un groupe moteur-générateur d'une puissance de 15 chevaux, alimenté par la distribution de l'Exposition sous 440 volts. La génératrice à courant continu, commandée par le moteur, fournissait le courant d'excitation sous 110 volts.

L'induit fixe est constitué par un noyau feuilleté, fixé à l'intérieur d'une carcasse en fonte en deux pièces assemblées, suivant le diamètre horizontal, au moyen de boulons. La partie inférieure porte, venus de fonte, deux pieds, servant à fixer la carcasse sur le sol.

Le réglage et le centrage de l'induit se font à l'aide de quatre vis de rappel, dont deux verticales et deux horizontales.

Le noyau est muni de rainures dans lesquelles sont placés les conducteurs de l'enroulement induit préalablement logés dans de solides tubes isolants en micanite. Les extrémités de l'enroulement induit arrivent à des bornes fixées au bâti par l'intermédiaire d'isolateurs à ailettes ; ces bornes sont fixées à la partie inférieure de la carcasse afin d'être plus facilement raccordées à des câbles souterrains.

Les instruments de mesure sont placés sur une colonne qui porte, en outre, une boîte avec deux boutons de manœuvre et un commutateur commandant deux lampes de contrôle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un interrupteur automatique, à rupture dans l'huile, placé dans la fosse

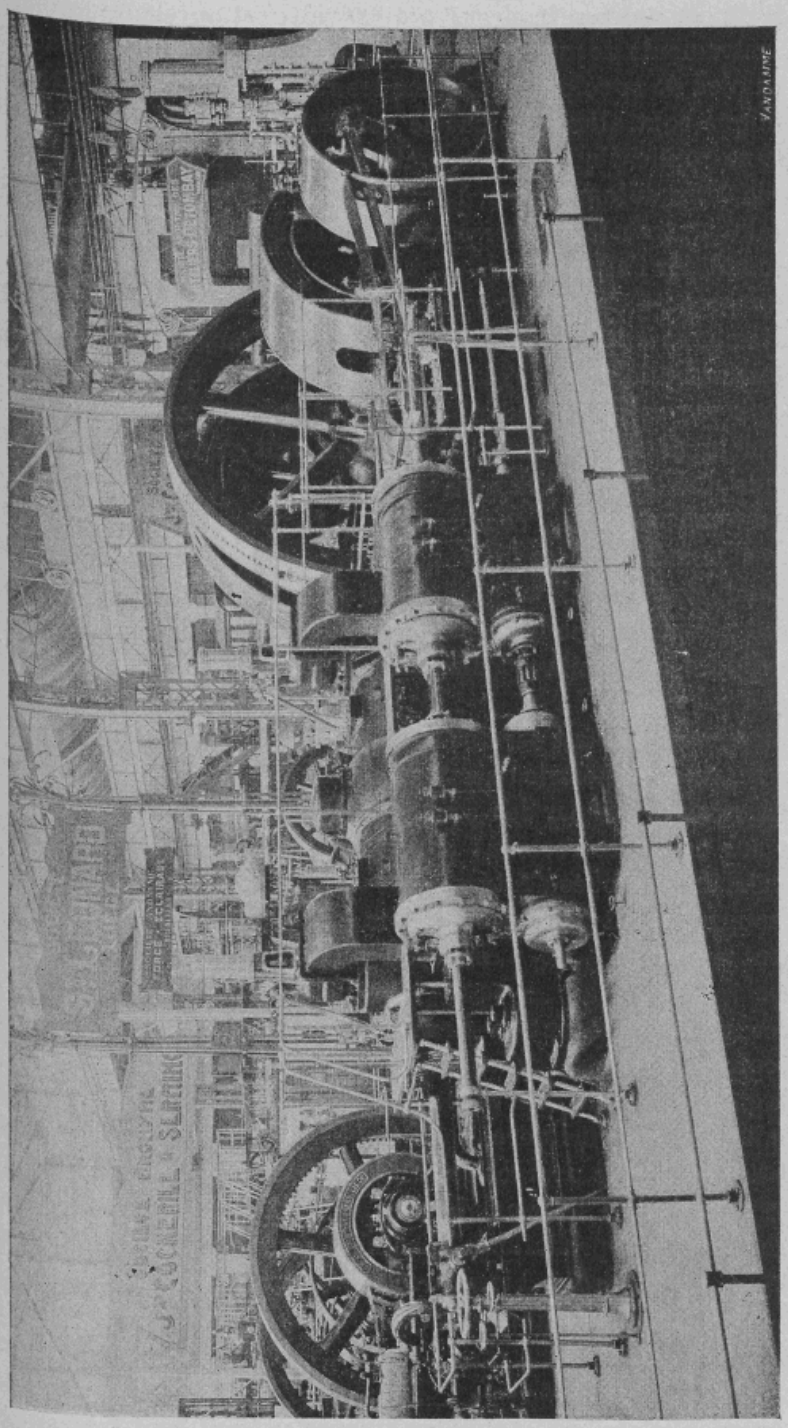


Fig. 63. — Groupe électrogène de la Société « Force et Éclairage » et de la Société de Saint-Léonard.

peut s'ouvrir ou se fermer par l'intermédiaire de relais, en agissant sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un bouton également placé sur la colonne ; les lampes de contrôle permettent de constater si le circuit à 2 000 volts est ouvert ou fermé.

Les instruments de mesure sont munis de transformateurs placés dans le sol au pied de la colonne. Comme les relais actionnant l'interrupteur automatique sont alimentés par le courant d'excitation à 110 volts, la colonne ne contient que des conducteurs à basse tension.

Dans la fosse de la machine, à proximité de l'interrupteur automatique, est installé un transformateur permettant de réduire la tension du courant produit par l'alternateur.

Moteur à gaz. — Ce moteur horizontal (*fig.* 64), du système Kœrting, est à deux temps et à double effet ; il développe une puissance de 600 chevaux à la vitesse angulaire de 107 t : m.

Le cylindre est indépendant du bâti et repose sur ce dernier dans toute sa longueur. Le cylindre et le piston sont coulés en fonte spéciale de grande résistance, à grain fin et serré.

Afin de permettre une compression suffisante du mélange gazeux et d'assurer en même temps la bonne conservation du cylindre, ce dernier est refroidi par une circulation d'eau dans la chemise, les fonds et le couvercle ; le piston est également refroidi par un courant d'eau.

Le cylindre a 650 mm de diamètre et la course du piston est de 1,20 m.

L'échappement se fait par des lumières que découvre le piston à fond de course, ce qui a permis de supprimer les soupapes d'échappement.

L'admission se fait par des soupapes commandées par des cames disposées sur un arbre recevant son mouvement de l'arbre moteur par l'intermédiaire de roues dentées.

Les soupapes sont placées au-dessus du cylindre, ce qui les rend parfaitement accessibles et permet un démontage ou une vérification rapides.

Le dosage et l'introduction du mélange gazeux se font au moyen de deux pompes complètement séparées l'une de l'autre ; les canaux d'amenée du gaz et de l'air sont disposés de façon à ne produire le mélange qu'à l'entrée dans le cylindre.

La distribution des pompes est réglée de telle sorte qu'avant l'introduction du mélange inflammable, une couche d'air pénètre dans le cylindre, chasse les produits de la combustion précédente et s'interpose entre le gaz chaud brûlé et le nouveau mélange.

La disposition des organes du moteur permet de réaliser ce fonctionnement sans créer dans les pompes une pression supérieure à 0,3 kg : cm².

Le réglage de la vitesse angulaire s'opère en modifiant la quantité du mélange introduite dans le cylindre, c'est-à-dire que le moteur ne con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

somme que la quantité de gaz nécessaire pour le travail à développer. Il y a lieu de noter que le mélange introduit dans le cylindre, conser-

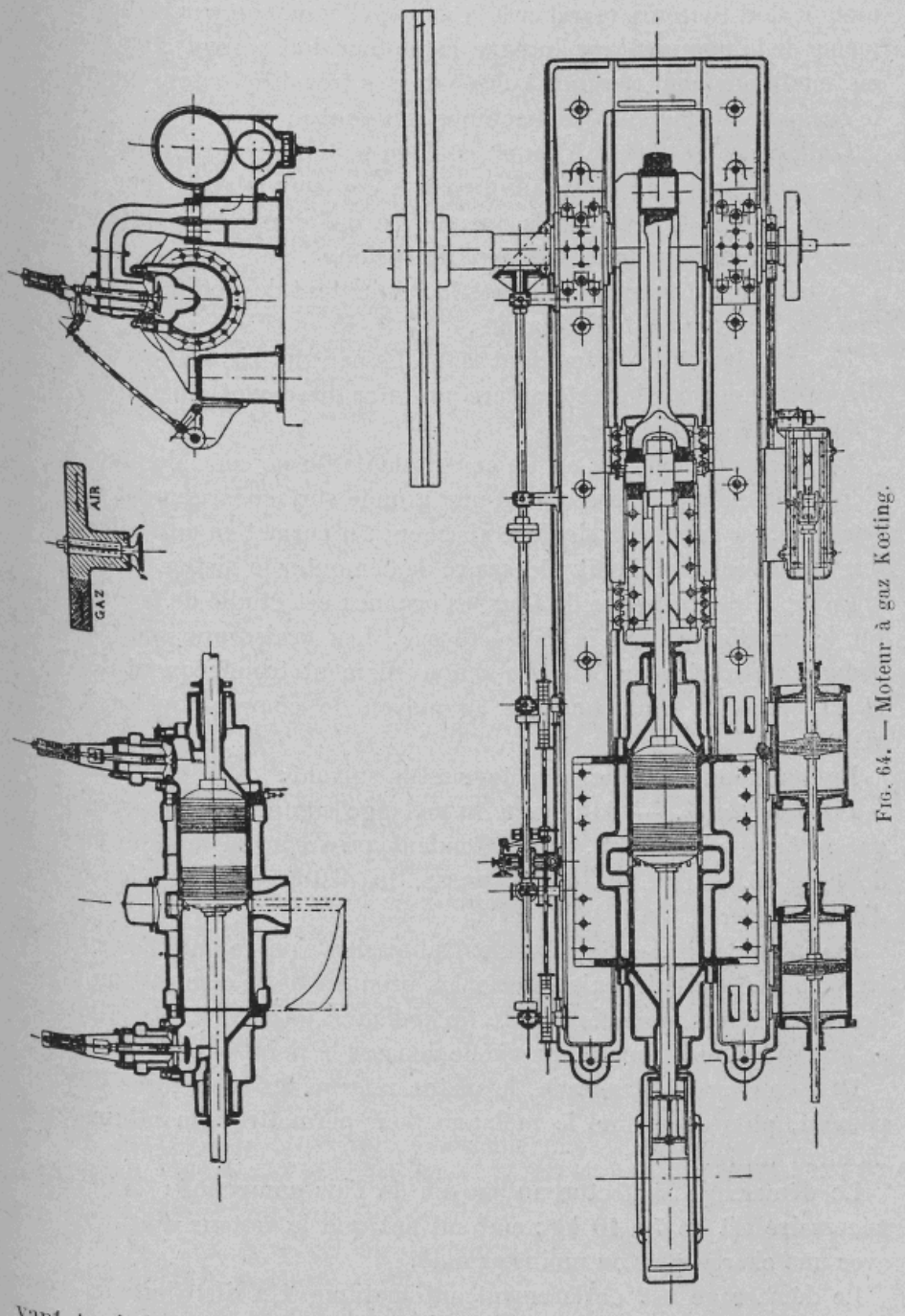


Fig. 64. — Moteur à gaz Kœting.

vant toujours les mêmes proportions et le degré de compression étant maintenu constant, il n'y a jamais à craindre de ratés d'allumage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour régler la quantité de gaz à débiter par la pompe, le régulateur agit, soit sur un simple papillon placé dans l'aspiration lorsque le moteur doit toujours marcher à la même vitesse, soit sur la distribution même de la pompe à gaz lorsque le moteur doit pouvoir être maintenu en fonctionnement régulier à des vitesses très différentes, comme c'est le cas pour les moteurs de machines soufflantes.

L'allumage se fait de chaque côté du piston au moyen de deux magnétos agissant sur deux allumeurs à contacts placés, l'un près du piston, l'autre au fond de la culasse, ce qui donne une inflammation plus régulière dans toute la masse du mélange.

Ce moteur est muni d'un dispositif permettant de modifier, pendant la marche, le moment de l'allumage.

Le cylindre et le piston sont refroidis par une circulation d'eau ; un dispositif nouveau breveté assure un refroidissement plus rapide de la chambre de combustion.

Ce dispositif consiste en un couvercle de forme spéciale placé à l'arrière de la culasse et présentant une grande surface largement refroidie par l'eau. Ce couvercle s'enlève aisément ; il permet en outre de vérifier le cylindre sans qu'il soit nécessaire de démonter le piston.

Le mode de graissage de tous les organes est étudié de façon à assurer le fonctionnement le plus efficace. Les graisseurs sont tous de grande capacité pour éviter le renouvellement trop fréquent de l'huile et les appareils sont contrôlés au moyen de compte-gouttes à débit visible.

Le fonctionnement de ce moteur est le suivant :

Premier temps. — Allumage du mélange comprimé ; la pression du gaz agit sur le piston et, en se détendant, provoque la marche en avant de celui-ci. Arrivé à fin de course, le piston découvre les orifices d'échappement.

Deuxième temps. — La soupape d'admission s'ouvre pour laisser pénétrer d'abord de l'air qui expulse les produits de la combustion précédente ; puis une nouvelle charge de mélange gazeux. Cette admission se produit pendant que la manivelle dépasse le point mort.

Dans sa course rétrograde, le piston referme les ouvertures d'échappement, puis comprime le mélange pour permettre son allumage au moment voulu.

Le démarrage s'effectue au moyen de l'air comprimé ; la pression nécessaire est de 7 à 10 kg : cm² suivant que le moteur doit démarrer avec une charge plus ou moins grande.

Le démarrage est entièrement automatique. Un distributeur, commandé par l'arbre des cames, ouvre alternativement l'admission d'air sur l'une ou l'autre face du piston. Cette distribution est réglée de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

façon à ne pas empêcher l'allumage du mélange quand celui-ci a pénétré dans le cylindre.

Deux cylindrées d'air comprimé suffisent généralement pour la mise en marche du moteur.

La marche à deux temps et à double effet, donnant une impulsion nouvelle à chaque course du piston, assure une régularité de marche qui fait que ces moteurs conviennent parfaitement à la commande d'alternateurs destinés à être groupés en parallèle.

Le moteur exposé était alimenté par un gazogène à gaz pauvre Fischet-Heurtey à double combustion.

Alternateur compound, système Heyland, de la Société alsacienne de constructions mécaniques de Belfort. — Le système d'alternateur imaginé par M. Heyland est fondé sur un principe qui a été longuement développé dans la plupart des revues techniques. Il suffira de rappeler ici que ce système est caractérisé par ce fait que les courants polyphasés produits par l'alternateur sont utilisés pour fournir le courant d'excitation, grâce à l'emploi d'un collecteur spécial.

D'autre part, l'alternateur est compoundé, car le courant amené au collecteur par l'intermédiaire des balais est la résultante des courants développés dans les circuits secondaires de deux transformateurs : l'un, désignée sous le nom de *transformateur d'excitation* est relié en dérivation aux bornes de l'alternateur ; l'autre, appelé *transformateur de compoundage* est monté en série avec le circuit principal et parcouru par le courant que débite la génératrice.

Le schéma que reproduit la figure 65 montre les connexions utilisées pour ce montage.

Dans l'alternateur exposé à Liège, on a pu supprimer les transformateurs séparés d'excitation et de compoundage grâce au dispositif suivant : les courants triphasés d'excitation sont développés dans trois bobines auxiliaires placées sur le stator ; afin de réaliser en même temps le compoundage, on a placé dans les rainures qui reçoivent l'enroulement auxiliaire une partie de l'enroulement principal que l'on relie en opposition avec le reste de ce dernier enroulement. On peut considérer cet enroulement auxiliaire, combiné avec la partie de l'enroulement principal logé dans les mêmes rainures, comme constituant un transformateur compound. Le schéma que représente la figure 66 permet de se rendre compte facilement de cette disposition.

Sur ce schéma, C représente le collecteur, B, B, B, les balais, s, s, s, les trois bobines auxiliaires placées sur le stator et fournissant le courant d'excitation ; les bobines de l'enroulement principal du stator sont figurées en S, S, S ; S′, S′, S′, sont les parties de l'enroulement princi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pal placées dans les mêmes rainures qne l'enroulement auxiliaire et reliées en opposition avec le reste de l'enroulement principal. Ainsi qu'on l'a déjà dit, on peut considérer l'enroulement auxiliaire comme

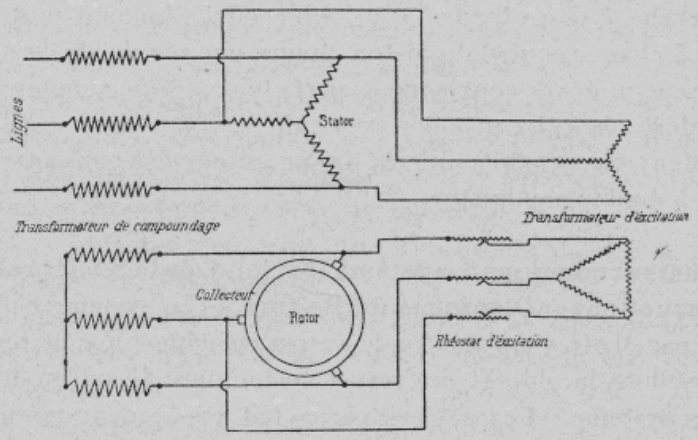


FIG. 65.

formant avec l'enroulement principal, logé dans les mêmes rainures, un transformateur compound.

Le compoundage est produit par le champ de dispersion de l'alternateur. Un courant inénergétique, ayant pour effet de réduire le champ dans l'enroulement principal S, agit en sens inverse dans l'enroulement S′ et augmente la tension du courant d'excitation dans l'enroulement auxiliaire *s*. En calculant convenablement le nombre de tours à donner à l'enroulement des bobines S′, on peut obtenir un compoundage précis.

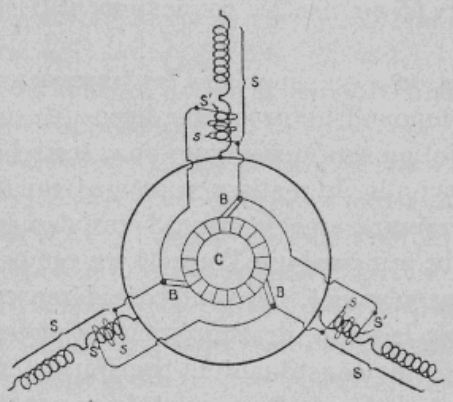


FIG. 66.

Ce dispositif est particulièrement intéressant, en ce qui concerne les génératrices de faible puissance, car il permet de supprimer l'emploi des transformateurs qui représentent une part importante des dépenses de premier établissement; de plus, les connexions sont très simplifiées.

La figure 67 donne une coupe de l'alterneur exposé sur laquelle on voit tous les détails de construction.

Cette génératrice a une puissance de 90 kilovolts-ampères; elle débite des courants triphasés sous une tension de 2300 volts à la vitesse angu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

laire de 750 tours par minute, avec une fréquence de 50 périodes par seconde. Avec un facteur de puissance égal à 0,8, l'intensité par phase est de 22 ampères, ce qui correspond à une puissance de 70 kw.

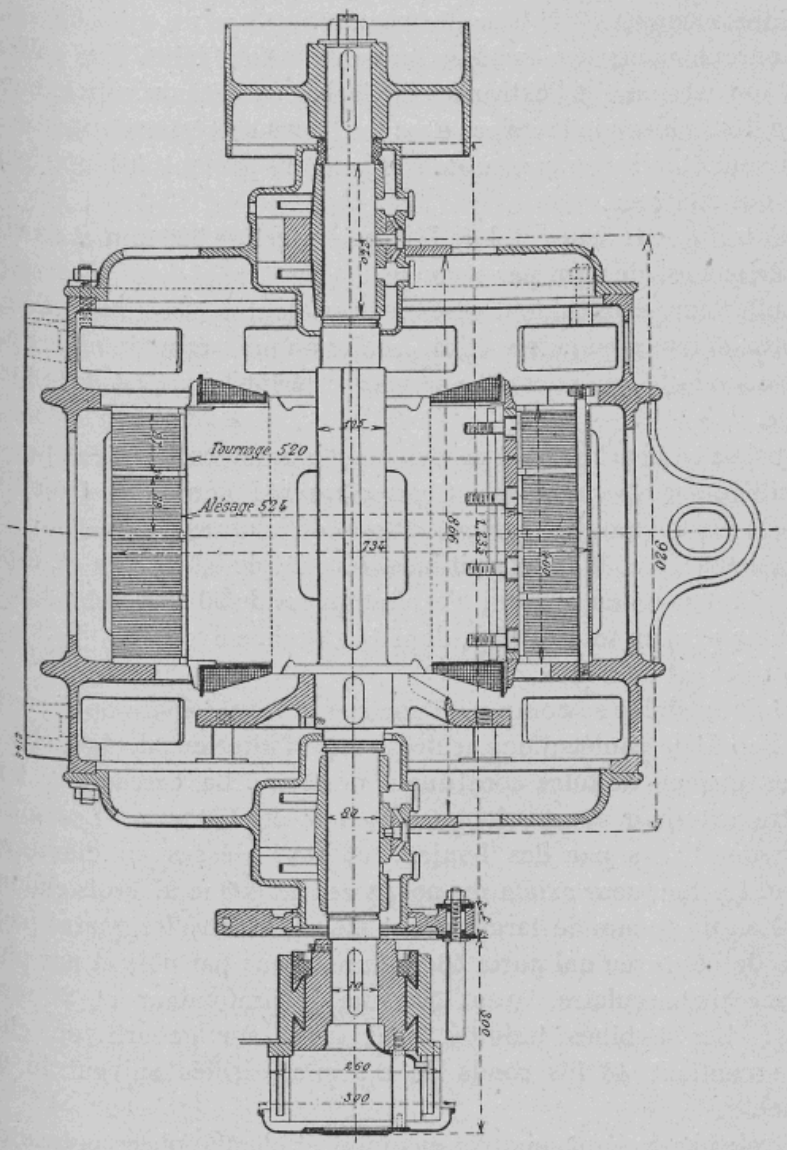


FIG. 67. — Coupe de l'alternateur Heyland.

L'inducteur tournant est constitué par une étoile à huit branches, en acier coulé d'une seule pièce ; chaque branche de l'étoile forme un noyau polaire de forme rectangulaire ayant 220 cm² de section. Sur chacun de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ces noyaux est fixé par des vis une masse polaire feuilletée. L'étoile a 420 mm de diamètre.

Les bobines inductrices, en fil de cuivre de 2,5 mm de diamètre et revêtu d'un guipage, sont enroulées sur une carcasse en tôle. Elles sont maintenues, d'une part, par les épanouissements polaires et, d'autre part, par des saillies ménagées à la base des noyaux.

Les enroulements des bobines inductrices sont reliés à un collecteur spécial qui est monté à l'extrémité de l'arbre au-delà du palier. Les connexions des bobines inductrices avec les lames correspondantes du collecteur sont établies au moyen de conducteurs passant à l'intérieur de l'arbre qui est creux.

Le diamètre extérieur total de l'inducteur est de 520 mm et sa vitesse périphérique est de 20 m par seconde.

Le collecteur, de 130 mm de longueur axiale et de 230 mm de diamètre, comporte 96 lames en cuivre étiré, isolées au mica et maintenues par un double cône isolé à la micanite ; sa vitesse périphérique est de 9,20 m par seconde.

Les balais en charbon sont répartis en six rangées, montées par deux en parallèle sur chaque phase. Chaque rangée comporte trois balais ayant chacun 30 mm de largeur et 28 mm de longueur.

La résistance totale du circuit inducteur est de 0,166 ohm et, à pleine charge, l'intensité du courant d'excitation est de 90 ampères.

Le rotor pèse au total 650 kg, dont 150 kg de cuivre.

L'entrefer est de 2 mm.

L'induit ou stator se compose d'une carcasse extérieure de forme circulaire, en fonte coulée d'une seule pièce, à l'intérieur de laquelle sont fixés les paquets de tôles constituant le noyau. La carcasse a 1 m de diamètre extérieur et une longueur axiale de 400 mm. Les tôles du noyau sont fixées par des boulons et sont alésées au diamètre de 524 mm. La longueur axiale du noyau est de 400 mm. Trois canaux de ventilation de 10 mm de largeur sont ménagés entre les quatre paquets de tôle de ce noyau qui porte 48 rainures (deux par pôle et par phase), de forme rectangulaire, ayant 500 mm de profondeur et 21 mm de largeur. Les bobines induites sont faites sur gabarit, et chaque rainure contient 40 fils ronds de 2,9 mm², isolés suivant le mode habituel.

Les trois phases sont montées en étoile, et chaque phase présente une résistance totale de 1,85 ohm.

Le poids total du stator est de 1 250 kg, dont 110 kg de cuivre.

Les paliers sont en bronze et ont 240 mm de longueur.

Le graissage se fait par bagues.

Les rendements obtenus avec cet alternateur sont les suivants :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A pleine charge	91,5 %
A 3/4 de charge	89,0 %
A 1/2 charge	86,0 %
Avec surchage de 1/5	92,0 %

Alternateurs de la Société Gramme. — La Société Gramme exposait dans son stand un alternateur à courant alternatif simple, à réluctance variable, autrement dit à fer tournant, d'une puissance de 165 kw à la vitesse angulaire de 750 t : m, fournissant du courant à 50 périodes par seconde sous une tension de 250 volts.

De construction très robuste, ces alternateurs peuvent supporter, sans inconvénient, des surcharges momentanées de 40 %. Tous les organes sont facilement accessibles et démontables. L'excitatrice peut être placée en bout d'arbre ou séparée. La série courante de ces alternateurs comporte 13 modèles pour courant alternatif simple, dont la puissance est comprise entre 10 et 250 kw et 13 modèles pour courants triphasés, de 15 à 300 kw.

Un autre type d'alternateur à courant alternatif simple à la fréquence de 550 périodes par seconde a été spécialement établi pour les expériences de laboratoire. Cet alternateur est à fer tournant, a une puissance de 3 kw à la vitesse angulaire de 8 000 t : m et fournit le courant sous une tension de 220 volts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE IV

PILES

Piles à dépolarisant liquide. — Les types usuels de piles Callaud, Bunsen, Daniell, Meidinger, au bichromate de sodium et de potassium figuraient dans la plupart des expositions de fabricants de piles et d'administrations télégraphiques et téléphoniques. Ces modèles de piles sont trop connus pour qu'il soit nécessaire de les décrire ici.

M. Gaiffe de Paris avait exposé diverses batteries de piles pour usages électro-médicaux. Ces piles utilisent comme dépolarisant du sulfate mercurique. Ces batteries ont des collecteurs qui prennent contact sur les pièces mêmes constituant les éléments, évitant ainsi l'emploi de fils conducteurs pour relier les éléments entre eux.

Piles à dépolarisant solide. — Deux types principaux peuvent être rangés dans cette catégorie :

1° La pile type Leclanché;
2° La pile de Lalande.

Piles type Leclanché. — On sait que l'élément Leclanché est constitué par une électrode négative en zinc et une électrode positive en charbon entourée d'un mélange dépolarisant formé de bioxyde de manganèse et de charbon de cornue ou de graphite. L'électrolyte est une dissolution de chlorure d'ammonium.

Les divers modèles exposés ne diffèrent que par leurs formes et leurs modes de fabrication et constituent une série de perfectionnements apportés au type primitif. On peut les classer de la manière suivante :

1° Éléments à vase poreux ;
2° Éléments à plaques agglomérées ;
3° Éléments à sac ;
4° Éléments à zinc central ;
5° Éléments à liquide immobilisé.

Des éléments à vase poreux figuraient dans les vitrines de trois mai-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sons françaises : MM. Leclanché et Cie, la Société anonyme « le Carbone » et M. Ph. Delafon et dans l'Exposition de l'Administration des télégraphes de Belgique. La grande résistance intérieure de ce type d'élément les fait peu à peu abandonner pour les autres modèles d'un emploi plus pratique et plus économique.

Des éléments à plaques agglomérées étaient présentés par MM. Leclanché et Cie.

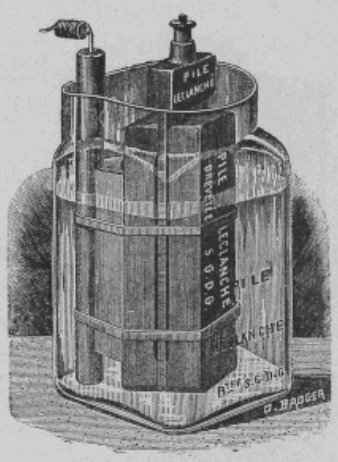


Fig. 68. — Pile Leclanché à agglomérés.

L'élément Leclanché (*fig.* 68) se compose d'une lame de charbon, semblable à celle qui est utilisée avec les vases poreux, et sur les deux faces de laquelle on applique, à l'aide de bracelets de caoutchouc, une plaque d'aggloméré composé de bioxyde de manganèse et de charbon de cornue. Ces matières sont préalablement pulvérisées et mélangées, puis fortement comprimées à la presse hydraulique. Ce dispositif présente sur l'emploi du vase poreux le grand avantage de diminuer considérablement la résistance électrique intérieure de l'élément.

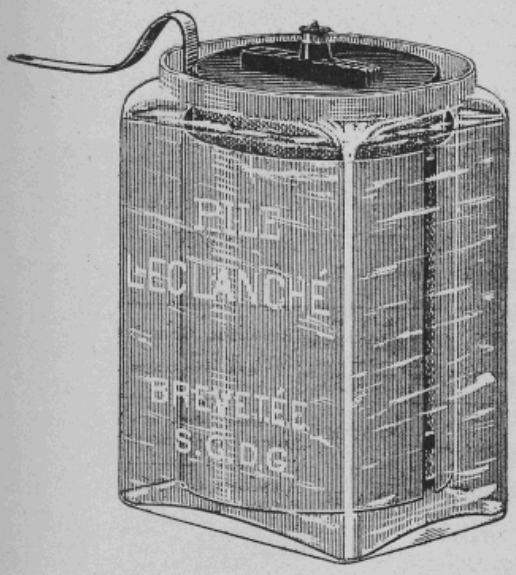


Fig. 69. — Pile Leclanché à sac.

Les éléments à sac de la maison Leclanché ont une électrode positive formée d'une lame de charbon placée au centre d'un cylindre de mélange dépolarisant, le tout renfermé dans un sac en toile spéciale. L'électrode négative est un zinc cylindrique (*fig.* 69). Cet élément a une résistance intérieure très faible et un rendement plus élevé que les modèles décrits précédemment. L'électrolyte est une dissolution d'un sel excitateur spécial, à base de chlorure d'ammonium, qui possède la propriété d'éviter les dépôts de cristaux sur le zinc. Ce type de pile se construit en plusieurs dimensions. Pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

éviter l'évaporation du liquide, ces éléments peuvent être munis d'un couvercle en matière isolante assurant un bouchage hermétique.

Les piles à sac présentées par M. Ph. Delafon (*fig.* 70) ont leur électrode positive fabriqué par un procédé spécial qui consiste à préparer, à l'aide de moules spéciaux et d'une presse hydraulique, des agglomérés (bioxyde de manganèse et graphite) de dimensions telles qu'ils puissent être introduits à la main et sans effort dans un tube en toile coupé de longueur convenable. Le sac ainsi préparé est alors placé dans un second moule et, à l'aide d'une presse spéciale, on perfore l'aggloméré et on y introduit à force le charbon servant de prise de courant, quelle que soit sa forme. On obtient ainsi un excellent contact. Le zinc est replié de manière à entourer presque complètement le sac.

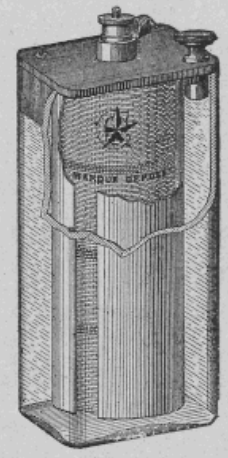


Fig. 70. — Pile à sac P. Delafon.

La Société *le Carbone* exposait également plusieurs types de piles dans lesquelles le vase poreux est remplacé par un sac en toile. Certains modèles de ces piles à sac sont munis d'un couvercle assurant une fermeture hermétique (*fig.* 71).

Parmi les types de pile, dits à zinc central, il y a lieu de mentionner d'abord l'élément Leclanché-Barbier à aggloméré cylindrique. Cet aggloméré spécial est plus poreux, plus conducteur et d'une durée plus grande que les anciennes plaques et, dans ces conditions, on a pu supprimer la lame de charbon servant de prise de courant et donner à cet aggloméré la forme d'un cylindre creux de manière à placer le crayon de zinc au centre de l'élément (*fig.* 72). Le dépolarisant entourant complètement le zinc, son action est plus efficace. De plus, ce dispositif permet d'obtenir un bouchage à peu près hermétique au moyen d'un joint de caoutchouc qui, entourant la partie supérieure du cylindre aggloméré, appuie, d'autre part, contre le col du vase.

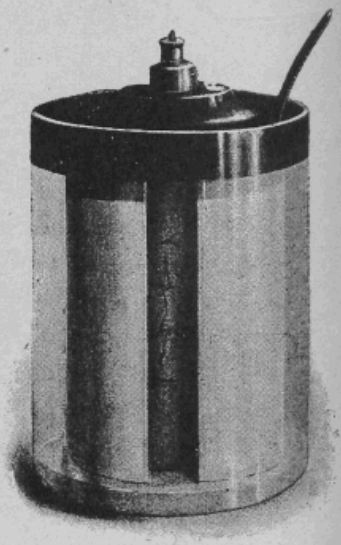


Fig. 71. — Pile à sac de la Société « le Carbone ».

L'élément Lacombe, exposé par la Société *le Carbone*, appartient également à la catégorie des éléments à zinc central. Comme on le voit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

figure 73, cette pile est constituée par un cylindre en charbon A muni d'une borne O, d'un cylindre poreux en terre dégourdie percé de trous, d'une entretoise en verre C reliant les deux cylindres A et B, et d'un crayon de zinc Z placé au centre du vase poreux B. L'espace annulaire M compris entre les deux cylindres est rempli de mélange dépolarisant. Il se construit un autre modèle de cette pile dans lequel le vase poreux a une forme rectangulaire et l'électrode en zinc est une simple plaque.



Fig. 72. — Pile Leclanché à zinc central.

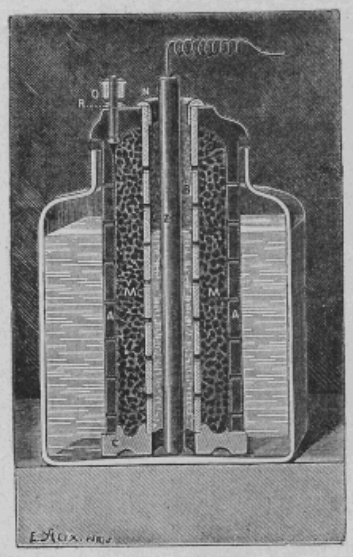


Fig. 73. — Pile Lacombe.

M. Ph. Delafon exposait également un élément à zinc central dans lequel le mélange dépolarisant, en forme de cylindre creux, est uniquement composé de bioxyde de manganèse et de graphite.

Les piles à liquide immobilisé, dont l'emploi se généralise de plus en plus à cause de leur facilité de transport et d'installation, figuraient en assez grand nombre à l'Exposition de Liège, dans la Section Française.

Le modèle présenté par MM. Leclanché et Cie a une électrode positive formée soit de deux demi-cylindres, soit de deux demi-prismes de mélange dépolarisant composé de bioxyde de manganèse et de graphite naturel, moulé sous pression et sans agglomérant; ces deux demi-cylindres ou demi-prismes sont appliqués, à l'aide de bracelets en caoutchouc, sur chaque face d'une lame de charbon.

L'électrode négative est une lame de zinc ayant la forme du vase employé et entourant complètement l'électrode positive.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le tout est placé dans un vase en carton laqué ou en ébonite, bouché avec de la cire à sa partie supérieure. L'espace assez restreint compris entre les deux électrodes est rempli d'une dissolution de chlorure d'ammonium immobilisée avec de l'agar-agar ou gélose.

M. Ph. Delafon exposait une grande variété de modèles d'éléments parmi lesquels il convient de signaler les deux principaux. Le premier, désigné par la lettre L, a été spécialement étudié pour le service des microphones. Il comporte, comme électrode positive, deux sacs en toile, reliés en quantité, contenant le mélange dépolarisant avec prise de courant constituée par un cylindre de charbon. L'électrode négative

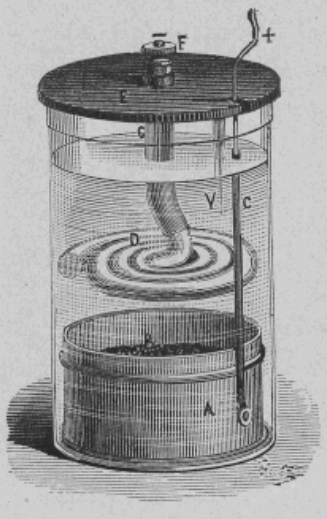


Fig. 74. — Pile de Lalande.

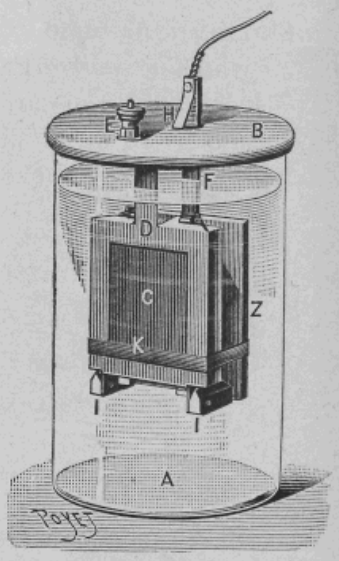


Fig. 75. — Pile de Lalande à aggloméré.

est formée de deux lames de zinc repliées en forme d'U sur les bords de chacune desquelles est placée une autre lame de manière à former une sorte de boîte rectangulaire entourant chaque sac. L'électrolyte est immobilisé avec de l'agar-agar. Le tout est enfermé dans une boîte en bois rendue étanche et recouverte de toile enduite d'une composition isolante.

Le second modèle, désigné par la lettre R, est également renfermé dans une boîte en bois, rendue étanche et isolante. L'électrode positive comporte deux lames de charbon portant sur chaque face un aggloméré plat. L'ensemble est maintenu par une fine toile et de la ficelle ; des perles en verre passées dans la ficelle maintiennent l'électrode négative à des distances égales du dépolarisant et permettent d'éviter tout court-circuit accidentel.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'électrode négative est une lame de zinc repliée en forme de S. Les parties supérieures de chaque prise de courant en charbon sont reliées par une masselotte de métal coulé. L'électrolyte est immobilisé avec de l'agar-agar.

La Société *le Carbone* exposait également des éléments à liquide immobilisé de toutes formes et dimensions, avec vases en verre, vases en zinc, vases en chêne, etc.

Piles type de Lalande. — Les piles du type de Lalande utilisent l'oxyde cuivrique comme dépolarisant, une électrode positive en fer, une électrode négative en zinc et un électrolyte qui est une dissolution de potasse caustique à 30 ou 40 °/₀.

La maison Mambret et Cie avait exposé les différents modèles de piles de ce système qu'elle construit.

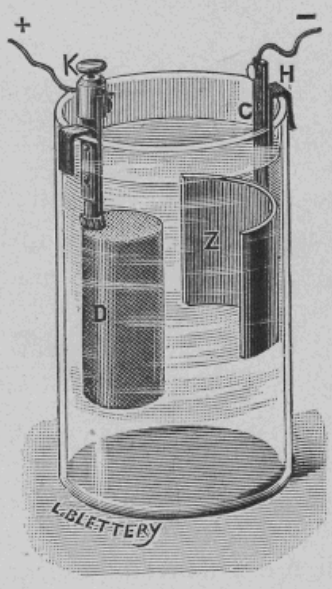


FIG. 76. — Pile de Lalande, nouveau modèle.

Le premier modèle (*fig.* 74) est composé d'une électrode positive constituée par la boîte en tôle A qui contenait la charge de potasse et dans laquelle on a placé une certaine quantité d'oxyde cuivrique. Un fil de cuivre *c*, protégé et isolé par un tube en caoutchouc, est relié à l'électrode A et sert de borne positive à sa partie supérieure. L'électrode négative D est un gros fil de zinc replié, comme le montre la figure.

Dans un autre modèle (*fig.* 75), l'oxyde cuivrique est employé à l'état d'aggloméré à surface métallisée, au lieu de l'être sous forme de grains. Cet aggloméré C est rectangulaire et l'électrode négative est une plaque de zinc Z. La plaque d'aggloméré C est maintenue, verticalement en regard de la plaque de zinc Z sur un support métallique D fixé au couvercle en faïence B, au moyen d'une vis et d'un écrou E servant en même temps de borne positive. Ce support métallique est constitué par une plaque de tôle cuivrée, de forme rectangulaire, évidée en son milieu et ayant ses bords repliés de manière à former le logement de l'aggloméré.

Un modèle plus récent (*fig.* 76) est de construction plus simple et d'un prix moins élevé. L'oxyde cuivrique est renfermé dans une boîte cylindrique D en tôle perforée, entourée d'un tissu poreux ne présentant pas de résistance électrique appréciable. L'électrode négative est constituée par une portion de cylindre en zinc Z, suspendue par un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

crochet H, comme l'est également l'électrode positive D, aux parois du vase en verre.

Indépendamment des modèles qui viennent d'être décrits, la maison Mambret et Cie avait exposé plusieurs éléments de piles de Lalande de grande capacité, allant jusqu'à 300 ampères-heure ; ces éléments ont un vase extérieur en fonte et sont bouchés hermétiquement.

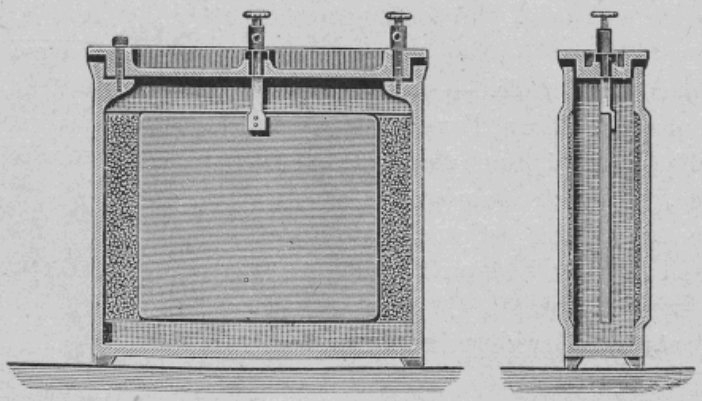


FIG. 77. — Pile A. Wedekind.

M. Adolph Wedekind de Hambourg avait exposé un élément de pile de forme nouvelle, utilisant la réaction de la pile de Lalande.

Comme on le voit sur la figure 77, cet élément se compose d'un vase en fonte constituant l'électrode positive, dont l'intérieur est muni de rainures dans lesquelles est placé le mélange dépolarisant à base d'oxydes cuivrique et cuivreux. Le pôle négatif est une lame de zinc portée par le couvercle en porcelaine. L'électrolyte est une solution de potasse dont on évite la carbonatation en empêchant l'accès de l'air, grâce au couvercle qui ferme hermétiquement l'élément.

Cet élément présente cette particularité que le dépolarisant est régénérable par la chaleur ; à cet effet, une fois l'élément vidé et le zinc enlevé, il suffit de placer le vase dans un foyer pour oxyder de nouveau le cuivre métallique formé par réduction de l'oxyde.

La force électromotrice est de 0,65 volt en moyenne et présente une grande constance.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DEUXIÈME PARTIE

TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

CHAPITRE PREMIER

TRANSFORMATEURS IMMÉDIATS

Classification. — Les transformateurs immédiats peuvent être classés en *homomorphiques*, c'est-à-dire ne modifiant que les facteurs de la puissance, et en *hétéromorphiques*, modifiant à la fois les facteurs de la puissance et la forme du courant.

A la première de ces catégories appartiennent les transformateurs proprement dits représentés à l'Exposition de Liège par des transformateurs de courant alternatif simple, des transformateurs de courants alternatifs triphasés, ainsi que des survolteurs pour courant continu.

Dans la seconde catégorie sont comprises les bobines d'induction transformant les courants continus en courants alternatifs, ainsi que les moteurs-générateurs et les permutatrices transformant les courants alternatifs en courant continu.

TRANSFORMATEURS HOMOMORPHIQUES

Transformateurs de la Société « l'Éclairage électrique » de Paris. — Cette Société avait installé deux postes de transformation dans lesquels se trouvaient des transformateurs de 50, 75 et 100 kilovolts-ampères, abaissant la tension de 3000 volts à 110 volts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le circuit magnétique de ces transformateurs, du système Labour, est constitué par des tôles minces, isolées au papier, agglutinées à l'aide de gomme-laque, puis serrées à la presse et enfin séchées à l'étuve.

Les noyaux ayant une forme cylindrique, les bobines des enroulements peuvent entrer sur ces noyaux à frottement dur, de manière à assurer un excellent joint magnétique, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à l'emploi de vis de pression ou de boulons qui ne donnent pas toujours un serrage parfait.

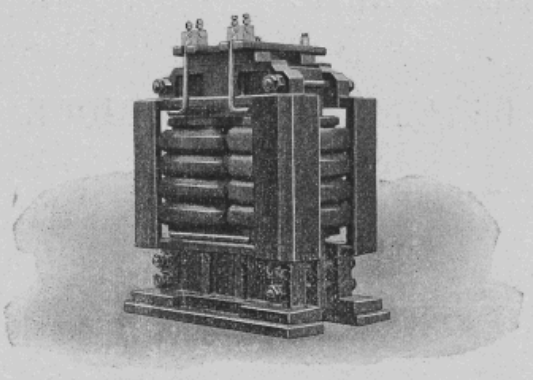


Fig. 78. — Transformateur Labour.

Grâce à la constitution du circuit magnétique, on obtient le maximum de rendement, une faible chute de tension et une faible dépense d'énergie lors du fonctionnement à vide. Le rendement pour certains types atteint 98,5 %.

Les circuits à haute tension sont complètement séparés des circuits à basse tension.

L'enroulement à basse tension, en cuivre profilé, est centré à l'intérieur du manchon et maintenu à une certaine distance du noyau afin d'assurer le refroidissement par une bonne circulation d'air. Le circuit à haute tension est divisé en sections enroulées sur gabarit et, par conséquent, interchangeables en nombre variable suivant la tension.

Transformateurs Westinghouse. — Les transformateurs cuirassés construits par la Société Westinghouse sont de deux types différents :

1° Les transformateurs, type OD (*fig.* 79), construits pour des puissances variant depuis 0,25 jusqu'à 50 kw, pour la périodicité demandée et pour des tensions allant jusqu'à 6 000 volts ;

2° Les transformateurs, type SC (*fig.* 80), construits pour des puissances comprises entre 10 et 500 kw, sont à refroidissement automatique. La tension primaire peut atteindre 50 000, volts et la tension secondaire peut descendre jusqu'à 35 volts pour les puissances jusqu'à 100 kw et jusqu'à 100 volts pour les puissances supérieures à 100 kw.

Trois transformateurs, type OD, de 15 kw, montés en étoile-triangle, constituant ainsi un groupe triphasé, étaient en service à l'Exposition. Ils étaient alimentés par du courant à 3 000 volts et 50 périodes et débitaient des courants triphasés sous 200 et 400 volts et du courant alternatif simple sous 120 et 240 volts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans tous ces transformateurs, les noyaux sont constitués par des tôles d'acier doux, soigneusement recuites dans des fours spéciaux. Ces tôles sont ensuite empilées, en ayant soin d'intercaler de distance en

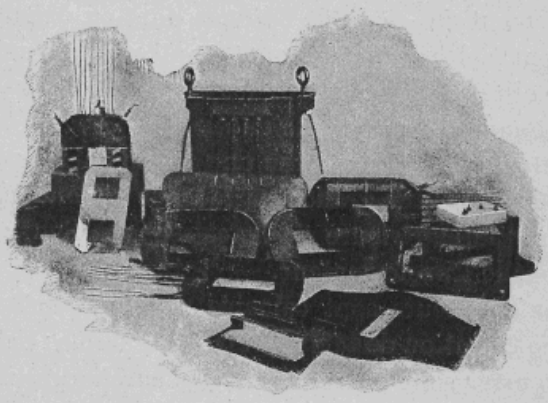


Fig. 79. — Organes d'un transformateur monophasé type OD.

distance dans la masse du noyau une tôle ondulée qui, par suite de sa forme, produit une série de petits canaux facilitant la circulation de

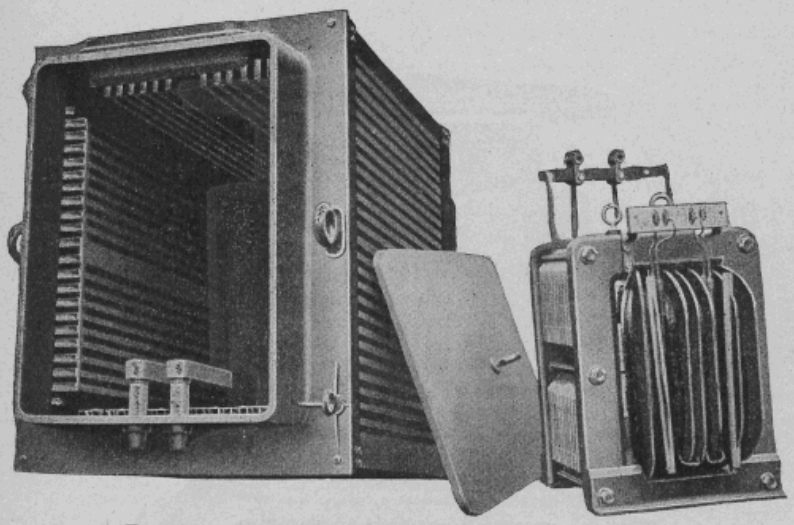


Fig. 80. — Transformateur type SC et sa caisse.

l'huile dans laquelle baigne le transformateur, ce qui assure ainsi un refroidissement énergique. L'ensemble du paquet de tôles est ensuite soigneusement serré pour éviter la production de tout bruit désagréable lors du fonctionnement et, en même temps, pour assurer au flux magnétique un milieu très homogène et très perméable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les enroulements primaire et secondaire sont constitués par un grand nombre de bobines de faible épaisseur, enroulées à la machine. Les conducteurs de ces enroulements sont des fils soigneusement isolés de sections variées et de forme ronde, carrée ou rectangulaire, afin d'utiliser aussi parfaitement que possible l'espace dont on dispose.

Ces bobines sont isolées séparément et montées une à une sur le noyau en laissant entre elles un espace libre ; des cales en bois, les maintiennent et assurent une bonne circulation de l'huile.

Le transformateur est enfermé dans une caisse en tôle de fer ondulée et, par suite, présentant une grande surface de rayonnement. Un couvercle ferme la partie supérieure de la caisse que l'on remplit d'huile après y avoir placé le transformateur.

Tous ces transformateurs sont calculés pour supporter leur charge normale avec une élévation de température très faible ; ils peuvent, par conséquent, supporter sans inconvénient des surcharges importantes et sans qu'il y ait danger de détériorer l'isolement.

Lorsque le bain d'huile ne peut être utilisé, par exemple pour les transformateurs montés sur une ligne en plein air, l'appareil est protégé par une caisse en tôle perforée.

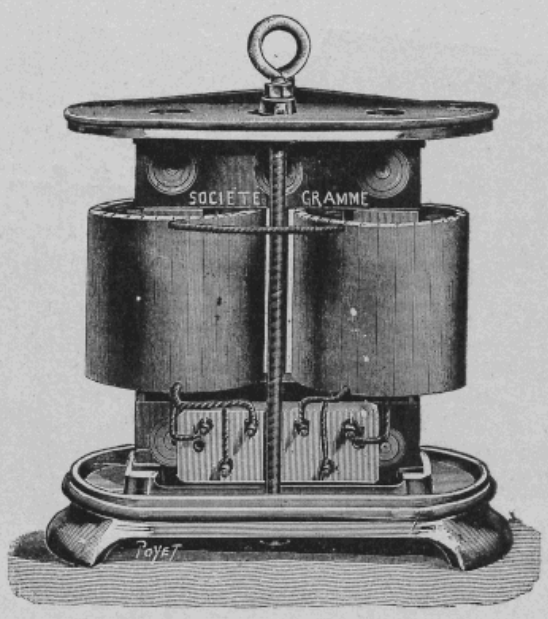


Fig. 81. — Transformateur Gramme.

Transformateurs Gramme. — Les transformateurs Gramme (*fig.* 81) ont un rendement élevé. Les précautions spéciales prises pour isoler le circuit primaire du circuit secondaire et les deux circuits de la masse

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leur assurent un bon fonctionnement. Grâce à leur mode de construction la ventilation est énergique et l'échauffement relativement faible, même à pleine charge en marche continue.

Ces transformateurs sont enfermés dans une enveloppe en tôle perforée ou pleine, suivant les locaux dans lesquels ils doivent être installés.

Ils sont établis pour courant alternatif simple ou pour courants triphasés, et la série courante comporte 18 modèles dont la puissance varie depuis 1 kw jusqu'à 200 kw.

Transformateur triphasé Alioth. — Ce transformateur, exposé par la *Société d'applications industrielles*, a fonctionné pendant toute la durée de l'Exposition pour abaisser la tension du courant fourni par le groupe électrogène Alioth-Weyher et Richemond.

Il a une puissance apparente de 150 kilovolts-ampères, et son rapport de transformation est de 3000/110 volts. La fréquence est de 50 périodes par seconde.

Les noyaux verticaux, de 780 mm de hauteur et de 625 cm^2 de section, ainsi que les traverses ayant 1,300 m de longueur, sont feuilletés et les tôles qui les constituent sont réparties en paquets séparés les uns des autres par des canaux de ventilation. Cet ensemble repose sur un socle en fonte relié, au moyen de tirants, à un autre socle, également en fonte.

L'enroulement, sur chacun des trois noyaux, est divisé en deux sections concentriques; ces enroulements reposent sur des isolateurs en porcelaine spéciaux qui permettent d'assurer une bonne ventilation par la partie inférieure.

Le circuit primaire, à haute tension, est constitué sur chaque noyau par une bobine comportant 308 spires d'un conducteur ayant 24 mm^2 de section. Les trois phases de ce circuit sont montées en étoile. La résistance de chaque phase est de 0,38 ohm.

Le circuit secondaire, à basse tension, est formé également, sur chaque noyau, d'une bobine ayant 20 spires d'un conducteur de 448 mm^2 de section. Les trois bobines sont reliées en triangle. La résistance de chaque phase est de 0,012 ohm.

L'intensité du courant dans le circuit primaire est de 29,5 ampères et, dans le circuit secondaire, de 770 ampères.

Les pertes, mesurées à vide, sont de 2 300 watts, et en court-circuit de 1 800 watts, ce qui donne 4100 watts de pertes totales.

Le rendement à pleine charge atteint 97,3 % et, à moitié charge, 96,5 %.

Transformateurs de la Société belge A. E. G. (Union électrique). — Le transformateur triphasé exposé a une puissance de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

16 kilovolts-ampères et est à bain d'huile. Il peut être construit avec rapport de transformation variable et servir de démarreur pour les moteurs avec rotor en court-circuit, système de démarrage à recommander dans le cas de l'application des moteurs à la commande des pompes centrifuges d'épuisement.

Survolteur-dévolteur pour courants triphasés de la Société alsacienne de constructions mécaniques de Belfort. — Cet appareil, construit de la même manière qu'un moteur d'induction, permet d'augmenter ou de diminuer la différence de potentiel aux bornes d'une canalisation triphasée.

Le survolteur-dévolteur exposé est du type à axe vertical, à un seul induit fixe ayant un noyau feuilleté de 900mm de diamètre, muni de 71 rainures. Il est construit comme un moteur asynchrone. La partie intérieure mobile est le système inducteur comportant 6 pôles avec enroulement logé dans des rainures.

L'enroulement de l'inducteur (rotor) est monté en dérivation sur la canalisation, tandis que l'enroulement induit (stator) est monté en série avec les trois conducteurs de la ligne.

Le réglage de la tension s'effectue en faisant tourner plus ou moins le rotor. Ce mouvement de rotation est produit par un petit moteur, commandé depuis le tableau de distribution et fixé sur le plateau supérieur du survolteur-dévolteur. Le mouvement du moteur est transmis à l'axe du rotor par l'intermédiaire d'une vis sans fin.

L'induit de ce moteur est enroulé en cage d'écureuil et, au repos, un ressort déplace l'induit par rapport à l'axe vertical du stator. Pour produire le démarrage, il suffit simplement de fermer un interrupteur placé sur le tableau de distribution : aussitôt, l'induit du moteur est attiré et s'embraye, au moyen d'un embrayage à friction, avec la vis sans fin, produisant ainsi un déplacement lent et progressif de l'induit du survolteur.

Ce survolteur-dévolteur sert à faire varier la tension du courant qui alimente des commutatrices et permet ainsi de modifier la tension du courant continu suivant les besoins du circuit d'utilisation.

L'intensité normale du courant que peut supporter le survolteur est de 400 ampères, et la variation maximum de tension que l'on peut obtenir est de ± 40 volts.

La tension constante du réseau d'alimentation est de 360 volts, ce qui correspond à 500 volts du côté continu de la commutatrice. Les tensions maximum et minimum obtenues sont 555 et 445 volts.

Groupe survolteur-dévolteur système Schuler. — M. Paul Schuler, ingénieur, a exposé à Liège, dans la classe 24, une suite de photogra-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

phies et de dessins rendant compte d'un dispositif fort intéressant qu'il a réalisé au secteur Edison à Paris.

Ce secteur qu'exploite, comme on le sait, la Compagnie continentale Edison, est alimenté en partie par une usine située à Saint-Denis et produisant du courant continu sous $2 \times 2\,250$ volts. Ce courant est amené à Paris par une canalisation souterraine et transformé dans différentes sous-stations, au moyen de groupes moteurs-générateurs, en courant à basse tension directement utilisé pour l'éclairage ou la force motrice. L'une de ces sous-stations, celle du faubourg Montmartre, comprend actuellement :

Six réceptrices à courant continu à 2 100 volts, de 500 kw, actionnant un même nombre de génératrices à 250 volts qui alimentent les barres omnibus d'où partent les feeders. La tension dans ces barres varie suivant l'heure et la saison, de 240 à 275 volts.

Cette sous-station comprend, en outre, trois batteries d'accumulateurs réparties dans des locaux avoisinants ; ohacune de ces batteries se compose de 120 éléments Tudor, type R 36, donnant 2 200 ampères pendant 1 heure ou 3 500 ampères pendant 20 minutes : ces batteries sont reliées à des groupes survolteurs-dévolteurs.

M. Schuler a étudié et monté cet ensemble, afin, à tout moment, soit que la batterie soit en charge ou complètement chargée, qu'elle puisse passer immédiatement à la pleine décharge pour suppléer ou aider les groupes générateurs en service. Le survolteur est à deux collecteurs en raison des intensités élevées qu'il est appelé à supporter. Il est muni de pôles auxiliaires qui assurent une commutation parfaite, quel que soit le régime. Son excitation est prise aux bornes de la batterie et un rhéostat inverseur, manœuvré soit à la main soit automatiquement par un régulateur Thury, permet de mettre, de la table de manœuvre du tableau principal, la batterie en charge, en tampon ou en décharge.

Le moteur qui entraîne le survolteur par accouplement élastique Raffard est, comme lui, à inducteurs en acier coulé ; ses noyaux polaires sont venus de fonte avec la carcasse ; les pièces polaires sont rapportées.

Le rendement du groupe, dont la vitesse angulaire est de 350 tours par minute et dont la puissance maximum est de 170 kw, s'élève à 83 0/0. Ces groupes ont été construits par MM. Schneider et Cie.

Afin de protéger le survolteur contre les débits dépassant 3 800 ampères, un conjoncteur automatique met ce survolteur en dérivation et coupe l'excitation.

Les trois batteries installées actuellement avec ces survolteurs-dévolteurs fonctionnent avec une régularité parfaite et donnent toute satisfaction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TRANSFORMATEURS HÉTÉROMORPHIQUES

Bobines d'induction. — Les applications de la bobine d'induction à la production des rayons X, à la télégraphie sans fil et aux dispositifs d'allumage pour moteurs à explosions ont amené les constructeurs à réaliser de nombreux perfectionnements.

Parmi les nombreux types exposés à Liège, il convient de citer la bobine de Ruhmkorff exposée par M. J. Carpentier. Cette bobine, donnant 35 cm d'étincelle, est munie d'un rupteur système Carpentier et d'un condensateur réglable.

M. Ducretet exposait des bobines étudiées spécialement pour pouvoir supporter des fonctionnements de longue durée, tels que ceux exigés pour le service de la télégraphie sans fil, pour la production des rayons X et celle des courants à haute fréquence. L'inducteur est mobile et se compose de deux circuits distincts que l'on peut grouper à volonté en série ou en dérivation. L'induit est noyé dans un isolant qui, quoique n'étant pas liquide, peut se ressouder si une fissure vient à se produire. Le condensateur est indépendant, ainsi que l'interrupteur. La bobine exposée donne 40 cm d'étincelles.

M. G. Gaiffe présentait, indépendamment des bobines de Ruhmkorff, une série d'appareils d'induction pour usages médicaux.

La Société anonyme d'Electricité et d'automobiles Mors avait exposé des bobines du système O. Rochefort du modèle utilisé dans les installations de télégraphie sans fil.

La Compagnie française Thomson-Houston avait également exposé des transformateurs du modèle utilisé dans les installations de télégraphie sans fil du système Slaby-Arco (Telefunken).

Les bobines de M. L. Ancel de Paris, spécialement disposées pour produire des rayons X aussi bien que des ondes hertziennes, sont munies d'un rupteur extra-rapide, à démarrage instantané et à double réglage, permettant de régler, même pendant la marche, le fonctionnement de la bobine et, par conséquent, la qualité de l'étincelle. L'induit de ces bobines est complètement noyé dans un isolant spécial. Les bobines produisant des étincelles de plus de 20 cm sont munies d'un interrupteur spécial à mercure, complètement indépendant de la bobine.

La maison Ch. Mildé et Cie exposait divers types de bobines d'allumage pour automobiles.

La plupart des bobines d'induction sont établies en vue d'une appli-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cation spéciale, ce qui oblige les laboratoires à avoir plusieurs bobines différentes.

Pour éviter cet inconvénient, MM. Radiguet et Massiot ont établi un nouveau type de bobine d'induction, dit à combinaisons multiples, permettant d'obtenir différentes natures et diverses longueurs d'étincelle, tout en conservant le même rendement. De plus, ce type de bobine fonctionne avec tous les modèles d'interrupteurs usuels.

Cet appareil comporte naturellement deux bobines concentriques, l'une inductrice et l'autre induite.

La bobine inductrice est composée de diverses couches de fil roulées sur un faisceau de fer doux; chaque couche est formée d'un fil différent comme diamètre, longueur, résistance et nombre de tours. Les extrémités de chacun de ces fils aboutissent à un commutateur permettant de les utiliser en totalité ou séparément et aussi de les grouper diversement suivant les effets à obtenir. Cet inducteur, à self variable, permet d'obtenir la même longueur d'étincelle quelle que soit la nature de l'interrupteur employé (interrupteur mécanique, automatique ou électrolytique).

La bobine induite est divisée en plusieurs sections dont les connexions extérieures peuvent être modifiées à volonté.

Grâce à cette disposition, suivant les effets à obtenir, on peut modifier à volonté :

1° Le nombre et la position des sections de l'induit qui peuvent être utilisées par groupes ou isolément ;

2° Le nombre et la position des couches de fil formant l'inducteur, couches qui peuvent être groupées en totalité ou par groupes quelconques.

Généralement l'induit comporte quatre sections égales entre elles.

En utilisant les quatre sections, on a une bobine d'induction ordinaire donnant la longueur maximum d'étincelle.

Un deuxième groupement consiste à prendre deux sections d'une part et deux sections de l'autre : on a ainsi deux bobines d'induction pouvant fonctionner en même temps ou séparément, chacune d'elles donnant la moitié de la longueur d'étincelle maximum.

Un troisième groupement est obtenu en prenant séparément chacune des deux sections extrêmes et en reliant ensemble les deux sections intermédiaires : on constitue ainsi trois bobines d'induction; celle du milieu donne la moitié de la longueur d'étincelle maximum, et les deux extrêmes, dissymétriques, chacune un quart de cette longueur maximum.

Avec le quatrième groupement, on prend une des sections extrêmes seule, les trois autres étant reliées ensemble et l'on dispose ainsi de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux bobines d'induction dissymétriques, l'une permettant d'obtenir des étincelles ayant le quart de la longueur maximum, et l'autre des étincelles ayant les trois quarts de cette longueur.

Enfin le cinquième groupement consiste à prendre séparément chacune des quatre sections et l'on a ainsi quatre bobines, dont deux dissymétriques, donnant des étincelles ayant le quart de la longueur maximum.

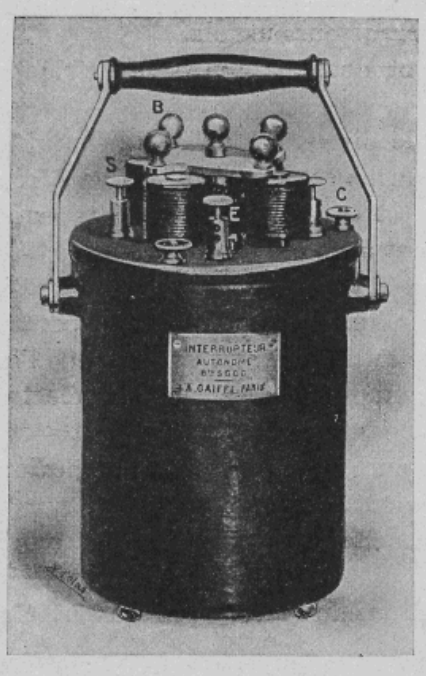


Fig. 82. — Interrupteur-turbine système Gaiffe.

Avec ces divers groupements, les bobines obtenues peuvent fonctionner ensemble ou séparément à volonté. Lorsqu'on utilise une section ou un groupe de sections de l'induit, il est utile de fermer sur elles-mêmes les sections non utilisées.

Interrupteurs pour bobines d'induction. — Les interrupteurs pour bobines d'induction ont été, depuis quelques années, l'objet de perfectionnements importants.

Parmi les types d'interrupteurs exposés, il faut d'abord citer le nouveau modèle d'interrupteur auto-moteur, système Gaiffe (*fig.* 82 et 83), qui peut être utilisé avec toutes les bobines d'induction.

C'est un interrupteur à mercure, genre turbine, présentant cette particularité qu'il ne nécessite l'emploi d'aucun moteur indépendant. Dans ces conditions, l'appareil est plus simple, plus robuste et d'un prix bien inférieur aux interrupteurs à moteur, tout en ayant une grande régularité de marche, une précieuse souplesse de réglage et enfin un fonctionnement très sûr.

L'interrupteur est du genre turbine à jet de mercure tournant.

Une pièce de fer *d* (*fig.* 83 et 84) de forme conique plonge dans le mercure; elle est percée d'un canal oblique par rapport à l'axe et disposé de telle façon que, dans son mouvement de rotation, elle décrit un hyperboloïde de révolution, disposition qui présente l'avantage de faciliter l'ascension du mercure.

Lorsque la pièce *d* tourne, la force centrifuge entraîne le mercure qui jaillit par l'orifice O (*fig.* 84).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une couronne métallique C (*fig.* 84), isolée du reste de l'appareil, supporte des dents de cuivre rouge *a* de largeur convenable (*fig.* 83 et 84) sur lesquelles, pendant sa rotation, le jet de mercure vient frapper, fermant ainsi le circuit qui s'ouvre ensuite de nouveau.

Le récipient en fonte de l'interrupteur présente des ailettes destinées à empêcher le mouvement de rotation du mercure, la partie horizontale du profil de ces ailettes servant de repère pour indiquer le niveau supérieur que doit atteindre le mercure (*fig.* 84). La rupture du circuit se produit dans l'alcool, l'emploi du pétrole devant être évité à cause de la formation très rapide d'une émulsion qui gêne le fonctionnement régulier de l'interrupteur.

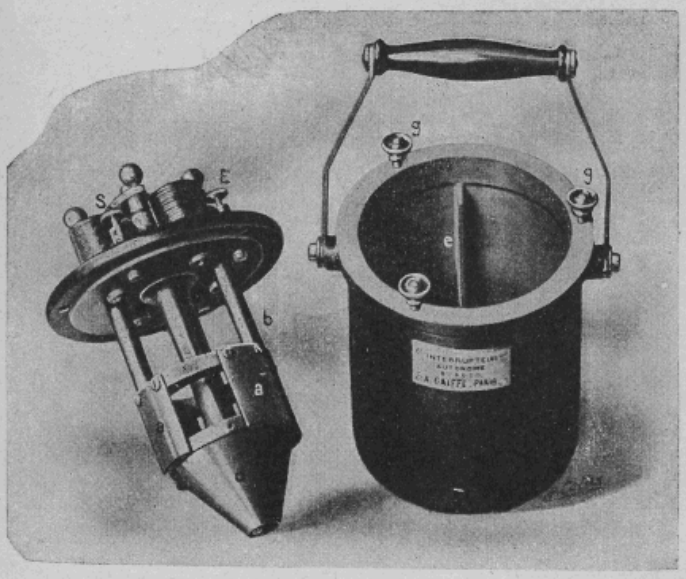


FIG. 83.

La quantité de mercure nécessaire est de 400 cm³ environ, soit 5,5 kg.

L'accouplement direct, tant électrique que mécanique du moteur avec l'interrupteur, constitue l'originalité de cet appareil.

Le moteur est du type à attraction magnétique dans lequel l'enroulement est fixe et l'armature mobile : l', l^2, sont les électrodes du moteur, et P est l'armature munie de dents p', p^2 (*fig.* 84).

Le nombre de pôles du moteur est égal au nombre des dents dont est munie la couronne métallique mobile C; on cale l'armature P de telle façon que, lorsque le jet de mercure rencontre l'une des dents *a*, elle se trouve précisément dans la position où l'attraction se produit, la rupture

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

s'effectuant un peu avant que les dents de l'armature ne soient complètement au-dessus des noyaux des électros.

Comme l'enroulement de ces derniers est monté en série avec l'inducteur de la bobine d'induction, il suffit de donner avec le doigt une vive

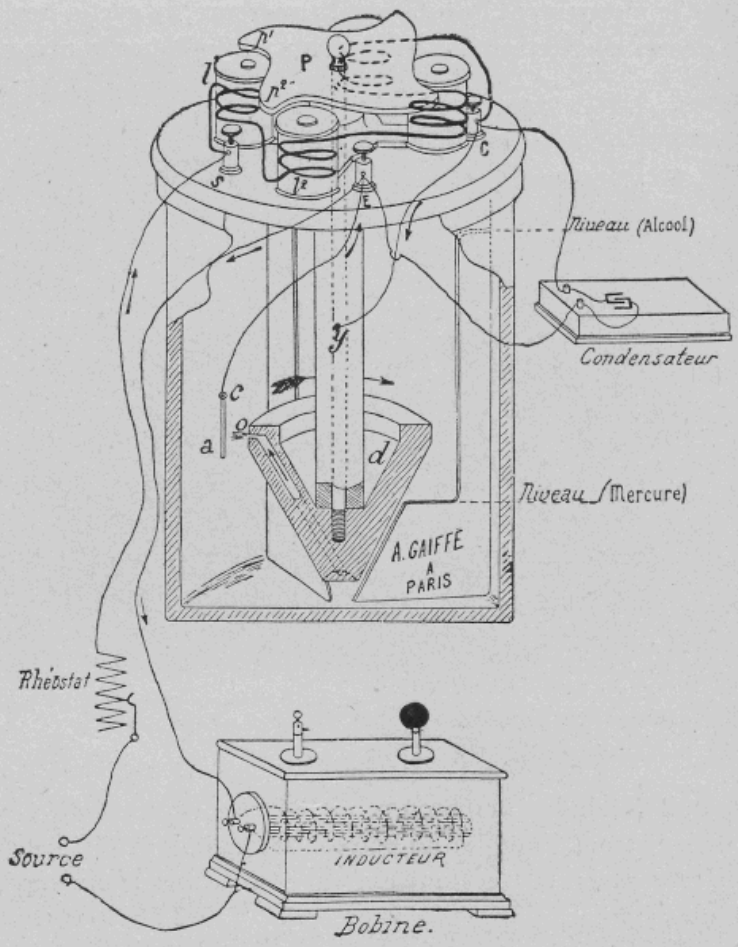


Fig. 84.

impulsion à l'armature mobile pour amorcer le jet de mercure. Le courant traverse alors la bobine et l'enroulement du moteur; l'interrupteur continue alors à tourner de lui-même.

Pour régler le nombre d'interruptions, on peut agir soit sur le rhéostat monté en série sur le circuit de la bobine, soit sur un rhéostat placé en dérivation sur l'enroulement du moteur. Ce dernier rhéostat sert de shunt, de telle sorte que le circuit moteur n'est traversé que par une partie seulement du courant alimentant la bobine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En résumé, le schéma de montage d'une bobine avec cet interrupteur est celui que représente la figure 84. Le courant provenant de la source traverse un rhéostat monté en série, arrive à la borne S de l'interrupteur, traverse l'enroulement du moteur, vient à la borne C reliée à la masse de l'appareil et, par suite, au mercure. Le courant passe alors par la dent *a*, la couronne C et la troisième borne E de l'interrupteur ; de là, il traverse la bobine d'induction et revient à la source.

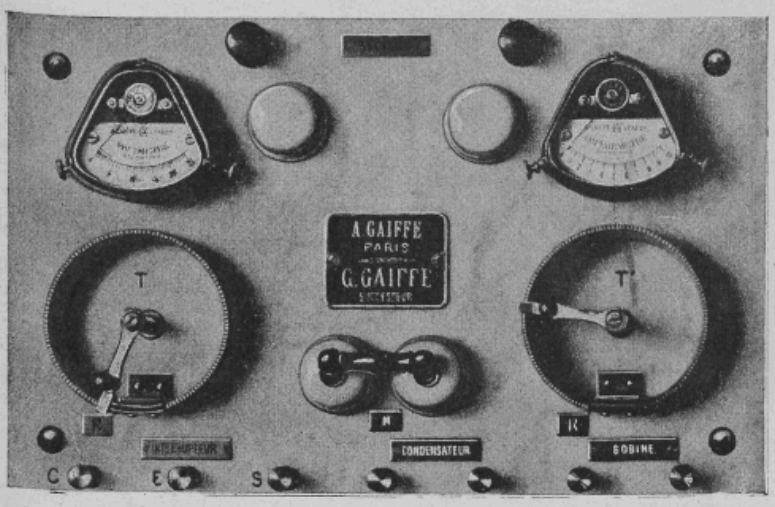


FIG. 85.

Les condensateurs de l'interrupteur se branchent entre les bornes C et E. Si on utilise le réglage avec rhéostat mis en dérivation, il faut le relier aux bornes C et S.

L'interrupteur auto-moteur est susceptible de marcher sous toutes tensions ; il suffit simplement pour cela de modifier la largeur des dents *a*, largeur qui règle le temps de passage du courant.

La figure 85 représente le tableau de manœuvre de l'interrupteur lorsque la source est constituée par un nombre restreint d'éléments d'accumulateurs, de 6 à 15, par exemple. T est le rhéostat qui sert de shunt à l'enroulement du moteur. T' est un rhéostat placé dans le circuit général. C, E, S sont les trois bornes auxquelles on vient relier les trois bornes correspondantes de l'interrupteur, les autres bornes se reliant respectivement, suivant les indications des plaques gravées fixées sur le panneau de marbre, à la source, à la bobine d'induction et aux condensateurs.

La figure 86 représente le tableau de manœuvre de l'interrupteur lorsqu'on utilise le courant fourni par une station centrale : M est l'in-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

terrupteur bi-polaire de l'installation ; les bornes C, E, S doivent être reliées aux bornes correspondantes de l'interrupteur. Dans ce tableau, le réglage par rhéostat monté en dérivation n'a pas été prévu ; le réglage de la bobine d'induction et du moteur s'effectue uniquement par la manœuvre de la manette du rhéostat.

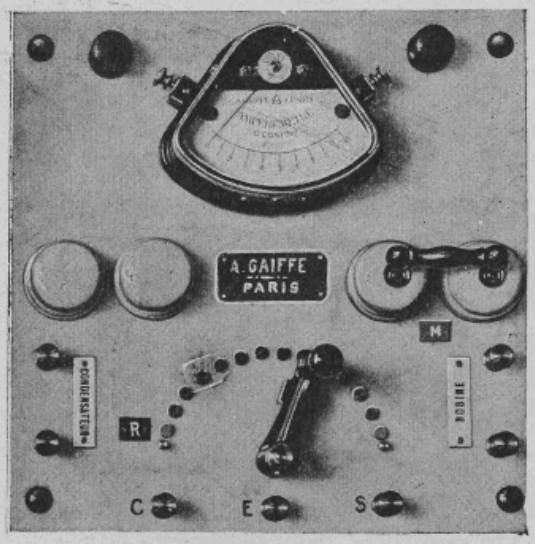


FIG. 86.

En effet, le réglage à l'aide d'un rhéostat en dérivation, nécessaire lorsqu'on utilise des différences de potentiel assez faibles à cause de la lenteur d'établissement du courant, devient à peu près inutile lorsqu'elles atteignent 110 et 220 volts.

Comme l'interrupteur auto-moteur peut fonctionner à l'aide d'un petit nombre d'éléments d'accumulateurs, 6 à 15, il n'y a aucune difficulté à l'utiliser comme interrupteur transportable, au même titre que le rupteur atonique. A cet effet, on l'a même muni d'une poignée rendant son transport facile.

Afin d'éviter les inconvénients que présente l'emploi des interrupteurs à contacts en platine ou à mercure, lorsque l'intensité du courant dépasse 5 ampères, M. Radiguet a réalisé un interrupteur du type trembleur, fonctionnant sans moteur et dans lequel les contacts sont en cuivre (*fig.* 87).

Comme le montre la figure 87, cet interrupteur se compose essentiellement d'une tige A portant l'armature S en fer doux d'un électro-aimant à deux bobines. Cette tige A est guidée par une pièce en bois B supportée par deux colonnes. L'extrémité supérieure de la tige A est filetée et munie d'une pièce en ébonite L à la base de laquelle est fixée une pièce de cuivre portant deux boutons M et O. Le bouton M sert à fixer la pièce sur la tige, et le bouton O serre un contact amenant le courant à la tige. A la partie supérieure, on fixe, à l'aide de la vis V, une ou plusieurs rondelles servant de poids.

A la partie inférieure de la tige A se fixe la pièce représentée séparément sur la droite de la figure 87. Cette pièce peut être démontée en enlevant les écrous et contre-écrous R et P et porte la tige de contact

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en cuivre rouge A′ qui peut être, au besoin, remplacée facilement en desserrant l'écrou U.

Exactement au-dessous de cette tige se trouve une banquette D en cuivre rouge, supportée par une sorte de potence *dd′*, au centre d'un vase en verre contenant du pétrole.

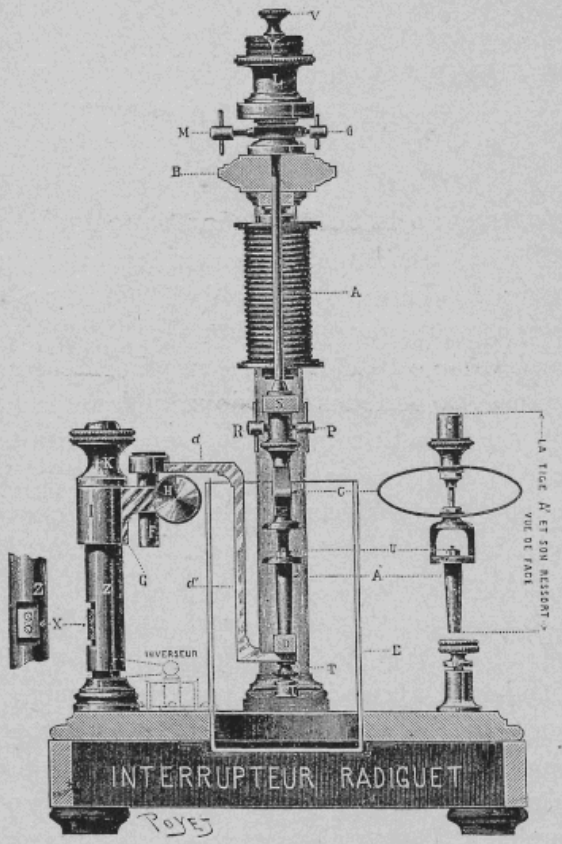


FIG. 87.

Afin de pouvoir à volonté relever ou abaisser cette banquette D, la potence *dd′* se termine par une pièce cylindrique F s'engageant dans un collier de serrage. Ce collier muni de sa vis H, est commandé par une vis micrométrique que l'on manœuvre à l'aide d'un bouton K en matière isolante. Pour éviter tout mouvement de rotation de la pièce Z lorsqu'on agit sur le bouton K, un prisonnier X a été fixé dans une fenêtre.

Le socle porte, en outre, un inverseur de courant et des bornes recevant les fils de connexion.

Dans l'interrupteur à mercure exposé par M. Ducretet, le godet dans lequel se trouve le mercure, recouvert d'un liquide isolant, est réglable

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comme hauteur et permet d'obtenir rapidement la plongée convenable de la tige interruptrice. Le mouvement de cette dernière est rectiligne, et il est commandé par un petit moteur électrique muni d'un rhéostat servant à régler la vitesse des interruptions.

M. Ducretet exposait également un interrupteur électrolytique du type Wehnelt auquel il a apporté certaines modifications et notamment un dispositif de réglage permettant de faire varier la fréquence des interruptions.

M. J. Carpentier présentait un interrupteur à mercure commandé par un moteur électrique et divers modèles de son rupteur atonique bien connu.

Moteur-générateur de la Société « la Française électrique ». — Ce groupe (*fig.* 88) est constitué par un moteur asynchrone triphasé, d'une puissance de 135 chevaux, accouplé, à l'aide d'un manchon élastique, avec une dynamo à courant continu.

Le moteur asynchrone est établi pour être alimenté avec des courants triphasés à 3000 volts, 50 périodes : il a douze pôles et tourne à la vitesse angulaire de 485 t:m. A cette vitesse, la dynamo fournit à ses bornes un courant de 180 ampères sous 500 volts.

Le moteur a un stator à noyau feuilleté, muni d'encoches dans lesquelles sont logés les fils de l'enroulement inducteur. Des canaux de ventilation sont ménagés dans ce noyau.

Le rotor a un enroulement constitué par des barres de cuivre reliées entre elles, sur les faces latérales, à l'aide de développantes de cercle. Cet enroulement aboutit à trois bagues, calées sur l'arbre, sur lesquelles viennent appuyer les balais reliés aux résistances de démarrage.

Le démarrage s'effectue en diminuant progressivement la résistance du circuit du stator jusqu'à ce que la vitesse angulaire normale soit atteinte; à ce moment, l'appareil de mise en court circuit des bagues relève automatiquement les balais dont l'emploi est, par suite, réduit aux seules périodes de démarrage. La tension induite dans le rotor, au moment du démarrage, est d'environ 110 volts; dans ces conditions, la mise en marche du moteur ne présente aucun danger pour le personnel.

La dynamo à courant continu est hexapolaire. Sa carcasse inductrice est en acier doux coulé et les pôles sont munis d'épanouissements feuilletés, dans le but de réduire au minimum les pertes par hystérésis et par courants de Foucault.

Les bobines inductrices, retenues sur les noyaux par les épanouissements polaires, sont enroulées en fil de cuivre soigneusement isolé. Les extrémités de chaque bobine aboutissent à des bornes et ces connexions,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont protégées pour éviter toute rupture du circuit inducteur. Toutes les bobines et pièces polaires sont interchangeables.

L'induit à noyau feuilleté a un enroulement en tambour maintenu par des frettes en ruban d'acier.

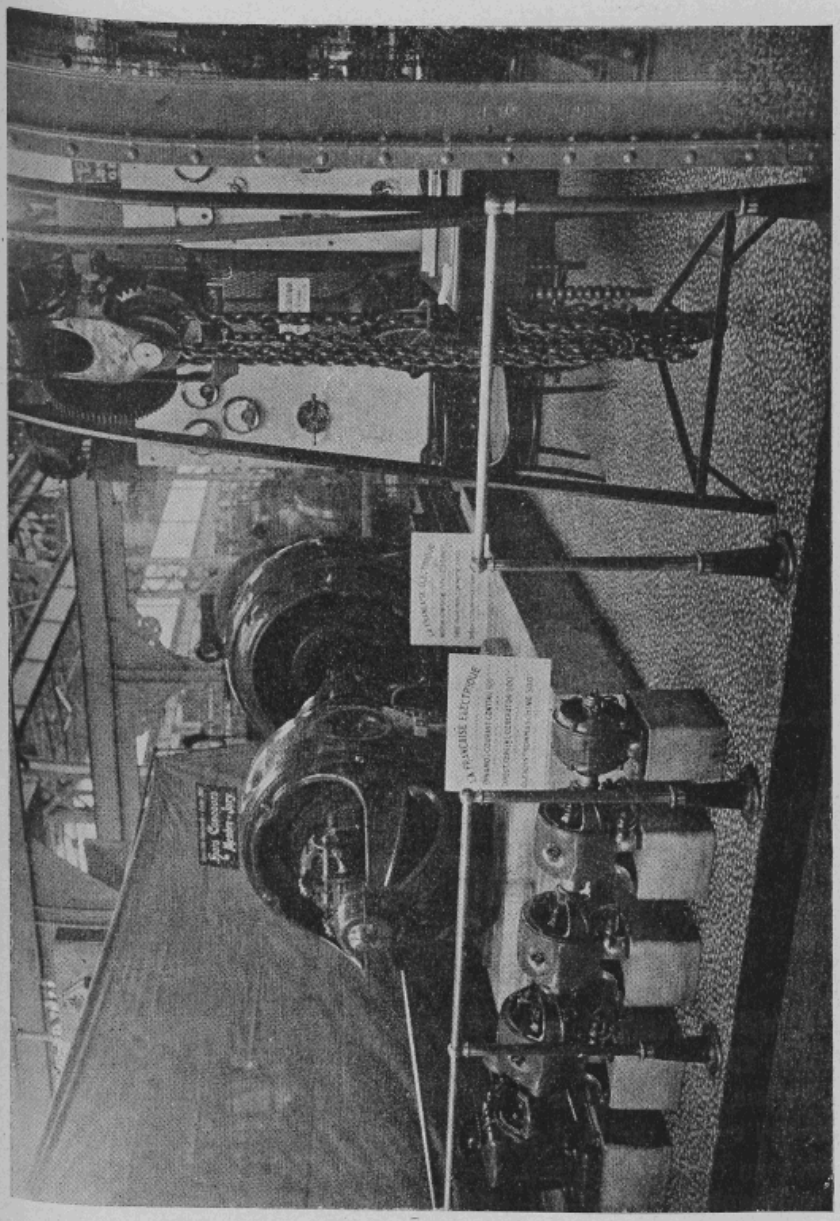


Fig. 88. — Moteur-générateur de la Société « la Française électrique ».

Transformateur-convertisseur de la Société Gramme. — Cet ensemble, d'une puissance de 26 kw, était utilisé, dans la Section française, pour fournir aux exposants du courant continu à 115 volts par transformation du courant triphasé à 3000 volts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il était composé :

1° D'un transformateur triphasé, d'une puissance de 62,5 kw réduisant la tension de 3000 volts à 115 volts ;

2° D'un moteur asynchrone triphasé, d'une puissance de 40 chevaux, recevant le courant du secondaire du transformateur sous une tension de 115 volts ;

3° D'une dynamo à courant continu, tétrapolaire, excitée en dérivation, d'une puissance de 35 kw, commandée directement par le moteur triphasé, par l'intermédiaire d'un joint élastique.

Commutatrice en cascade, système Arnold, de la Société des ateliers de constructions électriques de Charleroi. — Cette commutatrice se compose d'un moteur asynchrone dont le rotor est claveté

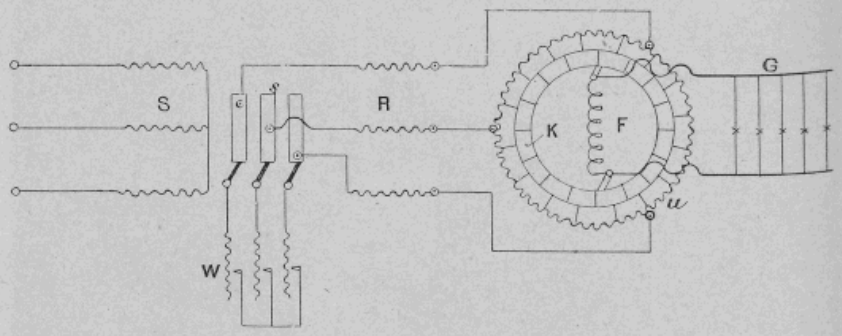


FIG. 89. — Schéma de connexions de la commutatrice en cascade, système Arnold.

LÉGENDE :

S, enroulement du stator du moteur triphasé ;
R, enroulement du rotor du moteur triphasé ;
u, enroulement induit de la dynamo (les enroulements R et *u* sont reliés en série) ;
K, collecteur de la dynamo ;
F, enroulement inducteur shunt de la dynamo ;
G, circuit d'utilisation à courant triphasé ;
W, démarreur triphasé ;
s, bagues du rotor pour le démarrage.

sur l'arbre de la génératrice à courant continu et d'une dynamo à courant continu de 7,6 kw.

Le schéma (*fig.* 89) montre les connexions établies entre le rotor du moteur et l'induit de la dynamo pour la transformation des courants triphasés en courant continu.

On peut supposer, pour simplifier les explications, que le moteur et la dynamo ont le même nombre de pôles et que leurs organes mobiles tournent à une vitesse angulaire correspondant à la moitié de la fréquence du circuit primaire d'alimentation.

Le champ produit dans le stator S par le courant primaire induit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans les enroulements du rotor R une force électromotrice dont la fréquence est la moitié de celle du courant d'alimentation. La connexion des bobines du stator est faite en étoile, mais elle pourrait être faite en triangle.

La force électromotrice ainsi développée produit dans l'enroulement de l'induit un courant qui donne naissance à un champ tournant à la même vitesse angulaire que celle de l'arbre. L'induit *u* étant relié au rotor de telle façon que le sens de rotation du champ tournant soit opposé au sens de rotation de l'arbre, on obtient un champ magnétique fixe dans l'espace, et la machine fonctionne comme un moteur synchrone.

Ce moteur synchrone a une vitesse angulaire correspondant à la moitié de la fréquence primaire. Une moitié de lénergie électrique fournie au moteur est transformée en énergie mécanique transmise à l'arbre de la machine ; l'autre moitié de l'énergie fournie est transformée par les enroulements du moteur asynchrone et va directement du rotor R à l'induit *u* de la dynamo, sous forme d'énergie électrique.

Dans ces conditions, le moteur fonctionne simultanément comme moteur et comme transformateur, tandis que la dynamo fonctionne simultanément comme génératrice et comme commutatrice.

Pour une vitesse angulaire donnée, le moteur asynchrone, ne transformant en énergie mécanique qu'une partie de l'énergie reçue, on peut lui donner des dimensions plus réduites que celles qu'il devrait avoir pour transformer la totalité de cette énergie en énergie mécanique.

Quant à la dynamo, sa vitesse angulaire correspond à la moitié de la fréquence primaire, ce qui présente des avantages au point de vue de la commutation, surtout dans le cas de fréquences élevées. Ses dimensions sont également plus réduites que celles d'une commutatrice ayant à transformer la totalité de la puissance.

Lorsque le moteur et la dynamo n'ont pas le même nombre de pôles, le rotor a une vitesse angulaire correspondant à un nombre de pôles égal à la somme des nombres de pôles des deux machines. Les quantités d'énergie converties dans le moteur en énergie mécanique et en énergie électrique sont respectivement proportionnelles au nombre de pôles du moteur et de la dynamo.

Le démarrage et la mise en vitesse de la commutatrice en cascade s'effectuent en amenant directement au stator le courant alternatif à haute tension et en insérant dans le circuit du rotor une résistance non inductrice W que l'on supprime graduellement à mesure que la vitesse angulaire augmente. Pendant ce temps, le circuit de la dynamo reste ouvert et, lorsque le synchronisme est atteint, on règle l'excitation à l'aide d'un rhéostat et l'on peut fermer le circuit d'utilisation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La mise en parallèle s'effectue très simplement par le côté continu et, par suite de la valeur élevée du couple synchronisant, les chances de décrochage sont beaucoup moindres.

Alors que dans les commutatrices ordinaires, il faut, pour faire varier la tension du côté continu, modifier la tension du côté alternatif, avec la commutatrice Arnold la tension se règle simplement au moyen d'un rhéostat d'excitation comme dans une dynamo à courant continu. On peut ainsi obtenir des variations de 15 à 20 0/0, ce qui est très appréciable lorsqu'on alimente le circuit parallèlement avec une batterie tampon.

La commutatrice exposée à Liège (*fig.* 90) comporte un moteur asynchrone triphasé, ayant une puissance de 10,4 kw, établi pour 110 volts, 55,5 ampères et 50 périodes. Il est bipolaire, et sa vitesse angulaire est de 1 500 t : m.

Le noyau du stator est constitué par deux paquets de disques de tôles isolées au papier, serrés entre les joues d'une carcasse ronde en fonte. Un canal de ventilation de 10 mm est ménagé entre les deux paquets. Ce noyau a 525 mm de diamètre extérieur et 275 mm de longueur axiale; il porte 36 encoches mi-fermées de 13 mm de largeur et de 26 mm de profondeur; chacune d'elles reçoit 6 fils ronds en cuivre de 3 mm, revêtus d'un guipage de coton et placés dans un caniveau en micanite. Ces fils sont reliés par trois en parallèle; les enroulements des trois phases sont montés en étoile et constituent un bobinage bipolaire. Le poids du cuivre du stator est de 25,5 kg et la résistance à chaud de chaque phase est de 0,0446 ohm.

L'entrefer simple est de 1,5 mm.

Le rotor a un noyau feuilleté claveté sur l'arbre de 227 mm de diamètre extérieur et de 114 mm de longueur axiale, y compris les tôles maîtresses. Ce noyau porte 42 encoches mi-fermées de 8,5 mm de largeur sur 30 mm de profondeur; chacune d'elles contient 13 fils ronds en cuivre de 3 mm de diamètre, revêtus d'un guipage. Le poids du cuivre est de 18,5 kg, et la résistance de chaque phase à chaud est de 0,221 ohm. Les trois phases sont montées en étoile et sont reliées, d'une part, à des bagues en bronze fixées à l'extrémité de l'arbre et, d'autre part, aux enroulements de l'induit de la dynamo.

La dynamo génératrice a son induit calé sur le même arbre que le rotor du moteur. Sa puissance est de 7,6 kw; elle débite 32,7 ampères sous 230 volts, à la vitesse angulaire de 1 500 tours par minute.

L'inducteur bipolaire est constitué par une carcasse ronde en acier coulé d'une seule pièce; son diamètre extérieur est de 525 mm et sa longueur axiale de 270 mm; le diamètre intérieur est de 402 mm. Les noyaux polaires sont feuilletés et de forme rectangulaire; leur section

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est de 160 cm², leur longueur axiale de 125 mm, leur largeur de 115 mm, et leur hauteur radiale de 103 mm. Ils sont munis d'épanouissements polaires de 155 mm de longueur axiale et de 175 mm de largeur. Les

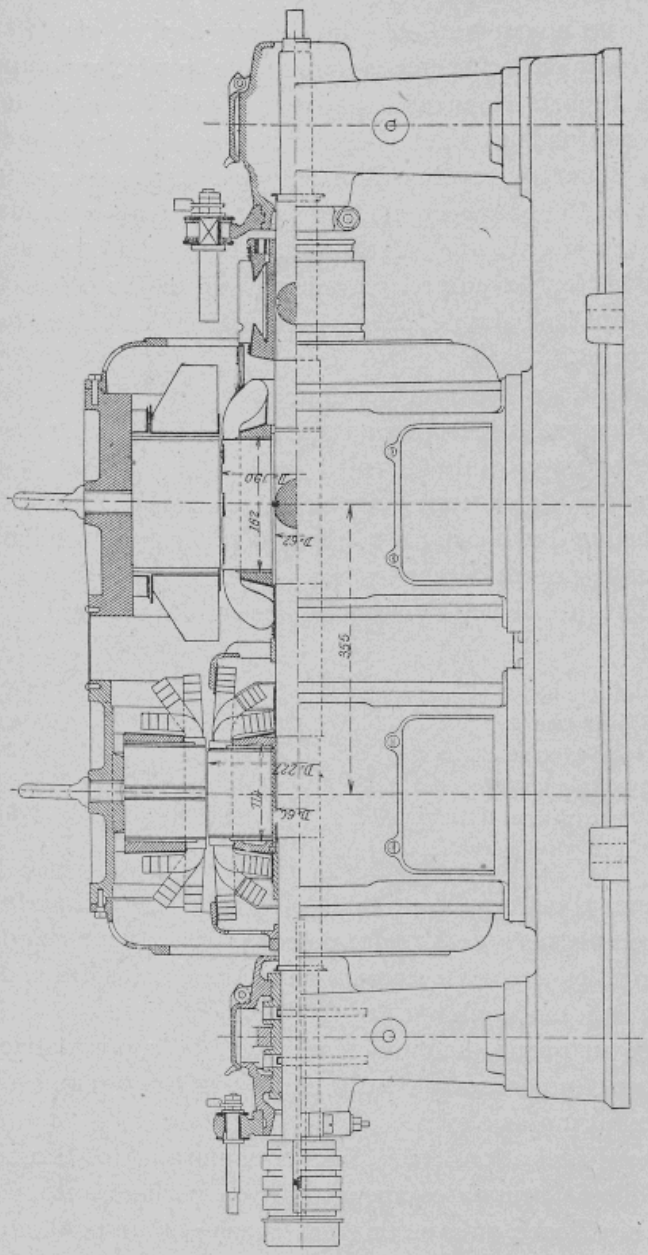


Fig. 90. — Commutatrice en cascade, système Arnold.

bobines inductrices comportent chacune 4 000 spires de fil de cuivre de 0,9 mm, enroulées sur une carcasse en matière isolante ; elles sont maintenues par les épanouissements polaires. Le poids de cuivre sur l'in-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ducteur est de 34 kg, et la résistance à chaud de ce circuit est de 198,5 ohm. L'intensité du courant d'excitation à pleine charge est de 0,83 ampère.

L'entrefer simple est de 3 mm.

L'induit a un noyau feuilleté, claveté sur l'arbre, de 190 mm de diamètre extérieur et de 162 mm de longueur axiale, y compris les tôles maîtresses. Il porte 45 encoches ouvertes de 7,5 mm de largeur et de 19 mm de profondeur, dans chacune desquelles sont logés 12 fils de 2,1 mm de diamètre, revêtus d'un guipage. La vitesse périphérique de l'induit est de 15 m par seconde, et les enroulements sont maintenus par des frettes en fils d'acier. L'enroulement est du type en tambour et comporte 7,7 kg de cuivre. La résistance de l'induit à chaud est de 0,328 ohm sans les balais et de 0,373 ohm avec les balais, le rotor étant mis hors circuit.

Le collecteur, de 150 mm de diamètre et de 75 mm de largeur, a 90 lames en cuivre dur, isolées au mica. La différence de potentiel entre deux lames voisines est de 5,1 volt.

Deux rangées, de chacune deux balais en charbon, frottent sur le collecteur; chaque balai couvre 2 lames 3/4. Les porte-balais pivotants sont supportés par un collier fixé au palier.

Les rendements de cette commutatrice sont les suivants :

A pleine charge	77 0/0
A 3/4 de charge	76 0/0
A demi-charge	74,5 0/0
A quart de charge	58 0/0
Avec surcharge d'un quart	75,5 0/0

Le rendement est supérieur de 1 0/0 à celui des commutatrices ordinaires accompagnées de transformateurs, et, comme ces derniers deviennent inutiles avec la commutatrice Arnold, les frais de première installation sont moins élevés.

Comparée au groupe moteur-générateur, la commutatrice Arnold a un rendement supérieur de 2 0/0 et les frais de première installation sont également moins élevés.

Pour une distribution à trois fils, la commutatrice Arnold présente l'avantage d'agir comme compensateur; le réglage automatique ainsi obtenu est si efficace qu'avec un pont chargé et un pont ouvert la différence entre les tensions des deux ponts ne dépasse pas 3 0/0.

Permutatrice système Rougé-Faget de la Société anonyme égyptienne d'électricité. — Cette société exposait un poste complet de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

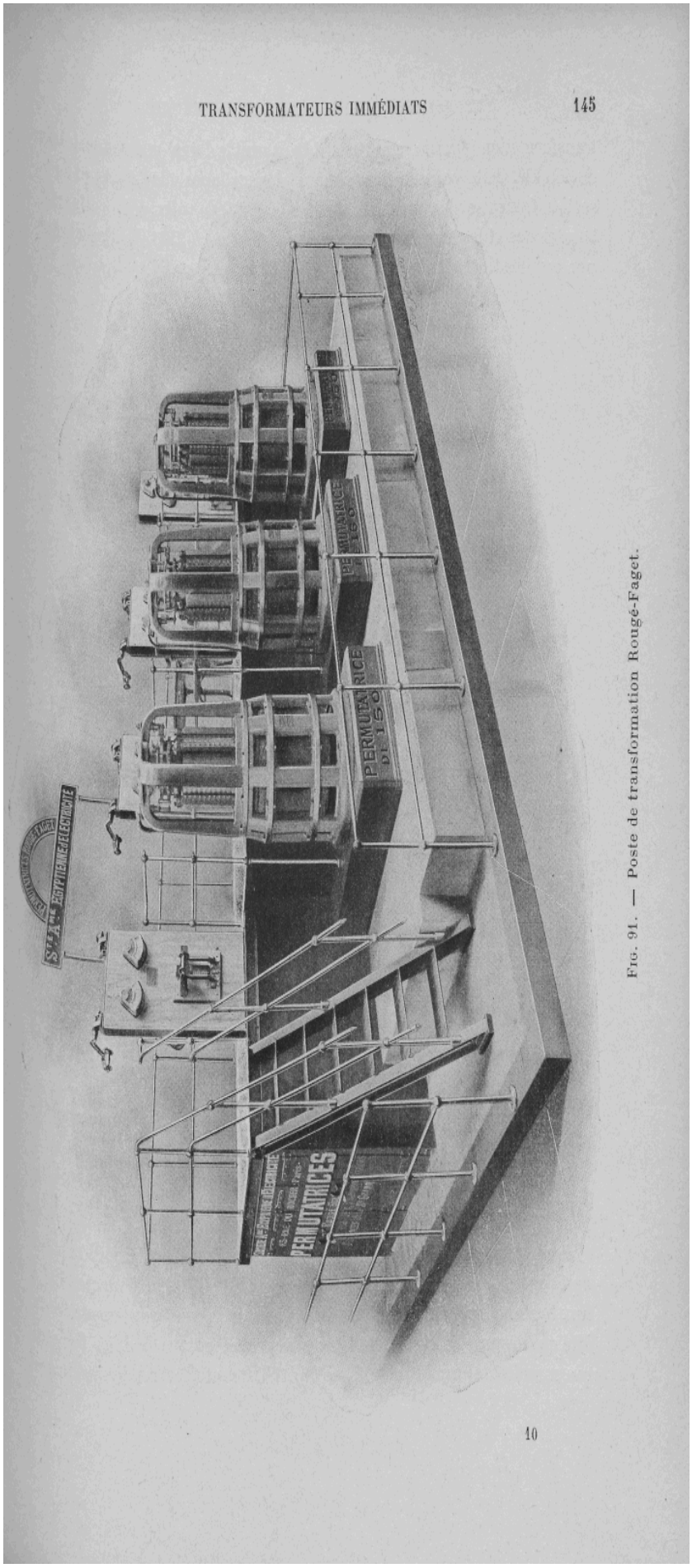


Fig. 91. — Poste de transformation Rongé-Faget.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

transformation (*fig.* 91), comportant trois unités d'une puissance totale de 450 kw. Cette sous-station recevait des groupes électrogènes de la section française des courants triphasés à 3 000 volts entre fils et à 50 périodes et les transformait en courant continu à 250 volts desservant une canalisation à trois fils.

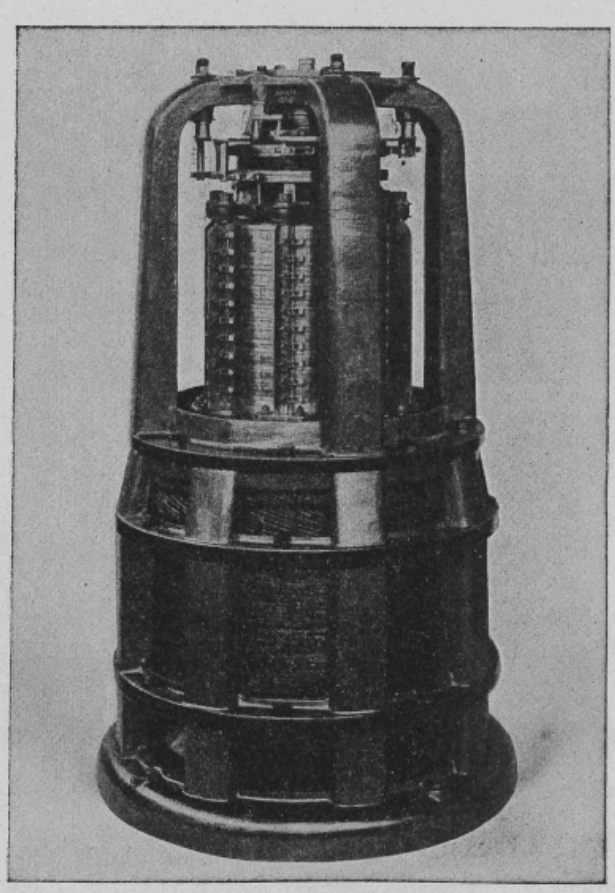


Fig. 92. — Vue extérieure d'une permutatrice Rougé-Faget.

Deux de ces unités assuraient le service normal, la troisième constituant une réserve.

Avant de donner les détails de l'installation réalisée à Liège, il est indispensable de donner la description de ce type de permutatrice (*fig.* 92).

Permutatrice. — Un stator de moteur asynchrone est enroulé en induit continu de dynamo, et cet enroulement est relié à un collecteur. Le flux tournant se ferme vers l'intérieur, en partie dans son noyau feuilleté qui dépasse sensiblement les caniveaux et en partie dans le rotor qui complète le circuit magnétique (*fig.* 93). Ce rotor est rendu synchrone

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par une *injection* de courant continu dérivé du courant même produit par la permutatrice. Dans son mouvement de rotation, le rotor entraîne les balais destinés à recueillir ou à permuter, sur les lames du collecteur, les forces électromotrices de l'induit. Deux bagues et deux groupes de frotteurs transmettent les courants au réseau.

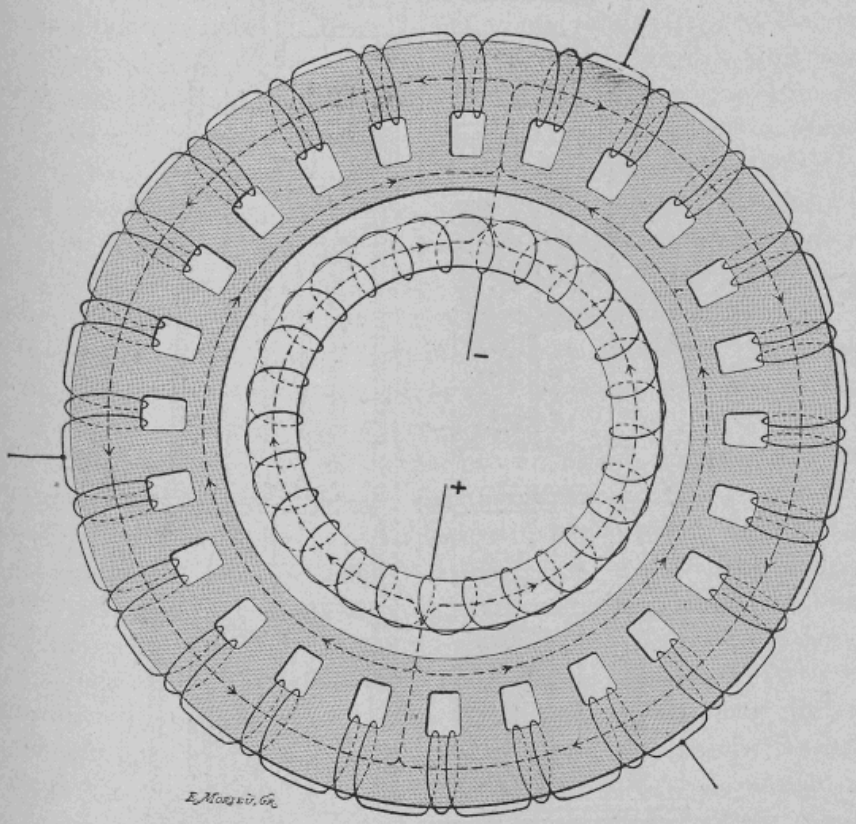


FIG. 93. — Circuits magnétiques d'une permutatrice.

Cet ensemble est monté verticalement, et la figure 94 montre les divers organes.

En résumé, la permutatrice est constituée par un induit de dynamo à courant continu soumis à l'action d'un champ tournant polyphasé. Des balais, tournant synchroniquement, recueillent le courant continu sur le collecteur de l'induit. Les noyaux de fer du champ tournant et de l'induit, tous deux fixes, peuvent être d'une seule pièce, et les circuits, sous les conditions voulues de rapport de tension, peuvent être confondus.

Le type de permutatrice exposé à Liège a une puissance normale de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

150 kw, comporte 8 pôles et tourne à une vitesse angulaire de 750 t : m.

Cette machine pèse 2 240 kg, a 1,7 m de hauteur et 0,95 m de diamètre maximum.

L'enroulement de l'induit est réparti dans 144 caniveaux pour 8 pôles,

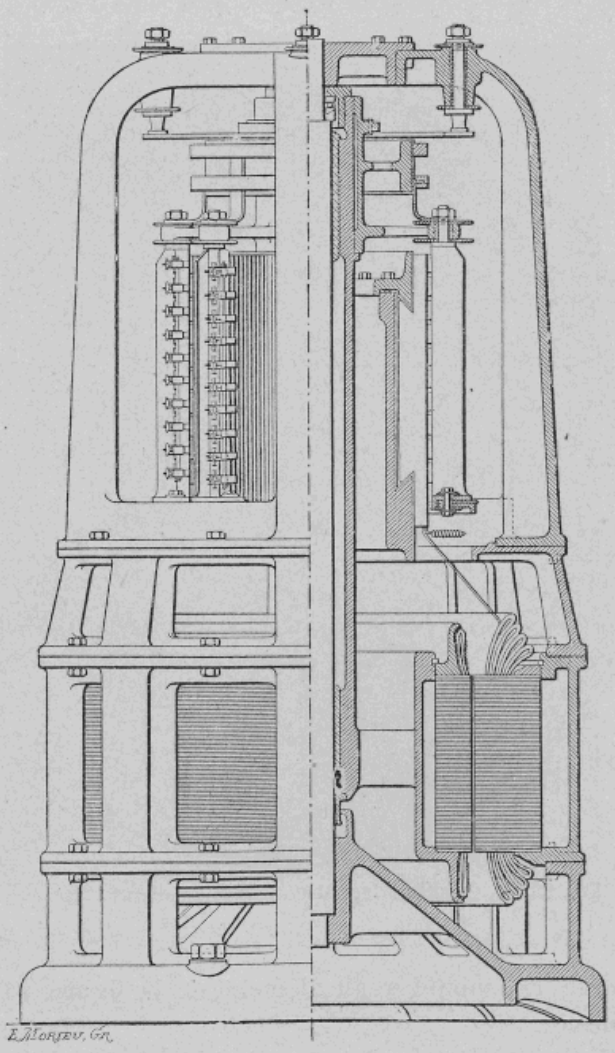


Fig. 94. — Vue extérieure d'une permutatrice Rougé-Faget.

soit 36 pour chaque paire de pôles. Cet enroulement est monté en parallèle. Les bobines élémentaires comportent chacune 8 conducteurs répartis dans 8 caniveaux différents, chacun de ces derniers logeant ainsi 8 conducteurs appartenant à 8 bobines différentes. Chaque bobine est formée de deux bobines identiques à 4 conducteurs, reliées en série,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais placées sous des pôles de signes contraires. On obtient ainsi un enroulement *vectoriel symétrique*.

Cet enroulement est fait avec du fil souple guipé, puis recouvert d'une tresse de coton ; il peut facilement être réalisé avec des barres soudées.

Les connexions des bobines avec le collecteur sont établies avec du fil de 3 mm de diamètre qui, légèrement aplati à son extrémité, peut être facilement soudé à la lame du collecteur dans une rainure fraisée. Une lame seulement sur deux est reliée à l'induit ; les lames mortes sont reliées aux lames actives qui les précèdent par une résistance enroulée sur un fil de cuivre recouvert d'amiante. Grâce à ce dispositif, les étincelles qui se produisent d'une manière inévitable au moment des synchronisations, quand les balais restent un instant appréciable décalés, perdent toute action destructive. L'expérience a montré que le fonctionnement d'un collecteur ainsi disposé était aussi bon que si toutes les lames étaient reliées aux sections de l'induit ; bien qu'en apparence la section utile pour la captation du courant soit diminuée de moitié, l'échauffement est plus faible, car il est dû surtout aux courants de circulation sans balai, que ce procédé annule complètement.

L'organe mobile servant de moteur aux balais est, au collecteur près, identique à un induit de dynamo avec bobines amovibles enroulées sur gabarit. Chacune de ces bobines comporte 60 spires de fil de 0,6 mm et est maintenue par des languettes de cuivre glissées dans deux rainures pratiquées après coup sur l'angle supérieur des dents. Les bobines sont reliées d'une manière analogue à celle d'un induit de dynamo en série. Deux connexions, distantes d'un intervalle polaire, sont reliées au courant continu fourni par les balais : deux autres connexions, distantes également d'un intervalle polaire et disposées à un demi-intervalle des deux premières sont mises en communication d'une façon permanente. Au commencement du démarrage, les différences de potentiel aux balais sont négligeables par rapport aux forces électromotrices induites dans les circuits de l'organe mobile qui, alors, fonctionne comme un rotor diphasé en court circuit, en développant un couple très puissant. Lorsque le synchronisme est atteint, la différence de potentiel aux balais agit seule et l'organe mobile se comporte comme un inducteur de moteur synchrone. Les balais mobiles sont constitués par un bloc de charbon que la force centrifuge éloignerait du collecteur si une contre-masse ne les y ramenait, et, afin d'obtenir un contact parfait et élastique, cette contre-masse agit par l'intermédiaire d'un ressort.

Installation. — Dans l'installation réalisée à l'Exposition de Liège, chaque permutatrice était alimentée par trois transformateurs monophasés abaissant la tension de 3000 à 200 volts et ayant chacun une puissance

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 60 kw. Les secondaires de ces trois transformateurs étaient montés de manière à réaliser un système hexaphasé; en outre, on avait intercalé sur le circuit secondaire un transformateur auxiliaire destiné à faire varier la tension du courant continu, suivant les besoins, de 230 à 270 volts. Ces transformateurs sortaient des ateliers de la Société Gramme.

Les trois permutatrices constituant l'installation pouvaient être groupées sur un tableau de manière à alimenter individuellement un réseau à trois fils 125 volts ou encore, lorsqu'elles étaient groupées par deux, un réseau à trois fils 250 volts; dans ce dernier cas on pouvait disposer également d'un réseau à cinq fils à 125 volts (*fig.* 95).

Pour faire démarrer une permutatrice, il suffit de fermer l'interrupteur du courant à haute tension; dans ces conditions, on a pu supprimer tout appareillage sur le circuit secondaire. La mise en route ne demande que trois secondes.

Dans cette installation on s'est réservé la possibilité, en cas de besoin, de faire fonctionner la permutatrice de réserve en même temps que les deux autres; la puissance nécessaire à cet effet atteint alors 500 kw, bien supérieure à la puissance individuelle des alternateurs en service dans la section française.

Pour avoir la faculté d'utiliser simultanément deux alternateurs sans être dans l'obligation de les coupler en parallèle, les lignes d'alimentation des permutatrices et l'appareillage ont été installés en double. Chaque permutatrice est munie de deux interrupteurs permettant de la relier à l'une ou l'autre des deux lignes; ces interrupteurs sont enclenchés afin d'éviter d'amener deux lignes sur une même machine. On n'avait installé de coupe-circuit fusible que sur les lignes d'alimentation.

Du côté continu, l'appareillage comprenait un interrupteur bipolaire à rupture brusque; un disjoncteur à maximum de 1 000 ampères sur le conducteur négatif et un disjoncteur à maximum de 200 ampères sur le fil neutre de la canalisation à trois fils du courant continu. Le fil neutre part des trois points milieu des circuits secondaires des transformateurs. L'appareillage a été fourni par la maison Genteur de Paris.

Comme instruments de mesure, chaque permutatrice était munie d'un ampèremètre de 800 ampères sur le conducteur négatif, d'un ampèremètre de 1 000 ampères sur le conducteur positif et d'un voltmètre de 300 volts.

Un panneau auxiliaire portait un ampèremètre, un voltmètre et un wattmètre pour courants alternatifs, pouvant être mis à volonté dans le circuit de l'un quelconque des groupes électrogènes à courant alternatif alimentant les permutatrices. Ces instruments de mesure avaient été fournis par la Compagnie de fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz de Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Afin de ménager l'emplacement concédé pour cette installation, tout en gardant une sécurité suffisante à cause de l'emploi de courants à

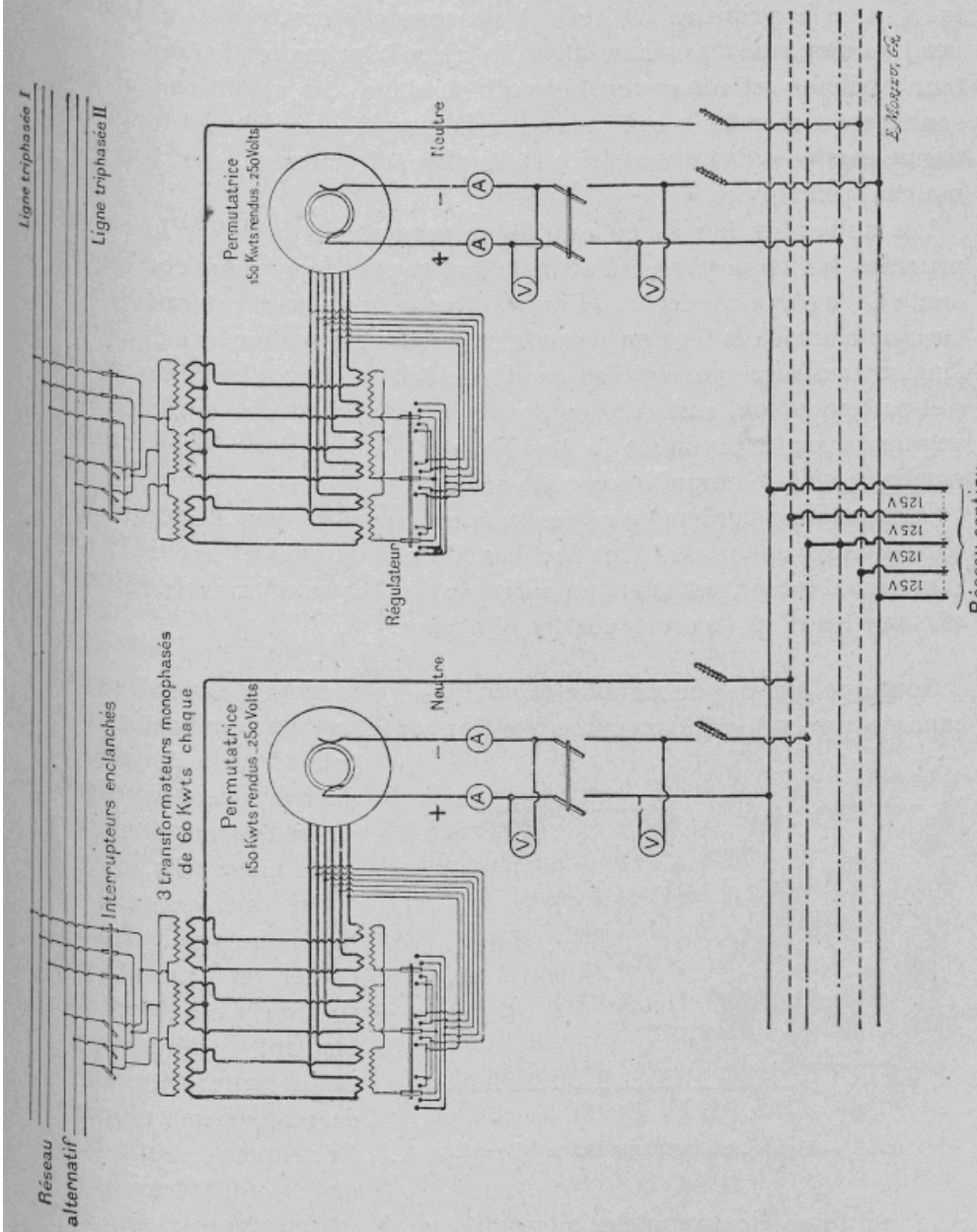


FIG. 95. — Régulation de tension des permutatrices.

haute tension, les interrupteurs et l'arrivée des conducteurs d'alimentation avaient été rassemblés dans une cabine métallique dont la partie supérieure servait de passerelle pour la manœuvre des permutatrices.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour régler la tension de la distribution à courant continu, on a utilisé, comme on l'a déjà indiqué, un transformateur auxiliaire dont les circuits secondaires sont intercalés dans le circuit de la permutatrice, tandis que le primaire est relié à un commutateur tripolaire. Dans la position moyenne du commutateur, le circuit primaire du transformateur auxiliaire est mis en court-circuit et, dans ces conditions, il sert seulement à annuler la self-induction du circuit secondaire et tout fonctionne comme si la permutatrice était reliée directement aux transformateurs principaux.

Les autres touches du commutateur permettent de relier le circuit primaire de chaque phase à l'un ou à l'autre pôle de la phase correspondante de la permutatrice et à l'une ou l'autre des phases intermédiaires. On ajoute ainsi à la tension secondaire du transformateur principal une tension auxiliaire constante qui peut être soit en concordance de phase, soit en opposition, soit décalée de 60° ou de 120°. On arrive ainsi à augmenter ou à diminuer la tension, soit de la valeur de la tension auxiliaire, soit de la moitié de cette valeur.

On peut ainsi facilement régler la tension par fractions de 10 volts, le commutateur comportait cinq touches. Ce commutateur, construit par la maison Genteur, est muni, en outre, de touches auxiliaires destinées à atténuer les effets destructeurs des étincelles.

Soupape électrique Cooper-Hewitt. — La soupape Cooper-Hewitt, exposée par la Société anonyme Westinghouse, est une application des tubes à vide à cathode de mercure permettant de redresser des courants alternatifs.

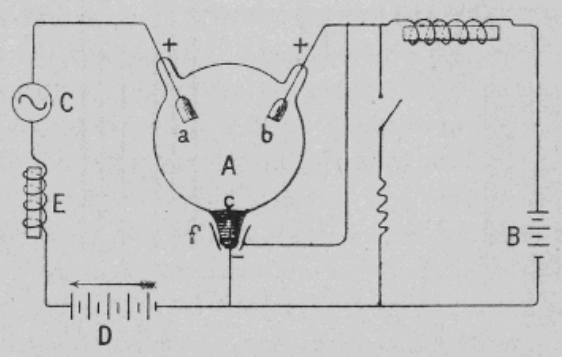


Fig. 96. — Soupape électrique Cooper-Herwitt.

On sait qu'une cathode ne peut laisser passer un courant que si sa surface a été préalablement désagrégée. Cette propriété permet de réaliser une soupape électrique, c'est-à-dire un circuit à travers lequel une force électromotrice alternative ne peut faire passer que des courants d'un sens déterminé.

Le principe sur lequel est fondé ce redresseur de courant est le suivant : Si dans une ampoule A (*fig.* 96), munie d'une cathode en mercure et de deux anodes *a* et *b* en fer, on fait passer un courant continu d'in-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tensité suffisante, 3,5 ampères, par exemple, entre l'anode b et la cathode c, il maintient la surface de cathode c à l'état de désagrégation. Si, dans ces conditions, on fait agir en même temps un générateur de force électromotrice alternative C entre les électrodes a et c, lorsque le courant tendra à aller de l'électrode a à la cathode c, il pourra passer si sa tension est supérieure à celle que développe la batterie B fournissant le courant continu. Lorsque, au contraire, le courant alternatif tend à se diriger de c en a, l'électrode a remplit le rôle de cathode et s'oppose au passage du courant. Dans ces conditions, le circuit comprenant l'alternateur C sera parcouru par un courant toujours de même sens qui peut être utilisé pour charger une batterie d'accumulateurs D développant une force contre-électromotrice bien supérieure à la force électromotrice de la batterie B. En intercalant une bobine de self-induction E dans ce circuit, on peut rendre très sensiblement continue l'intensité du courant.

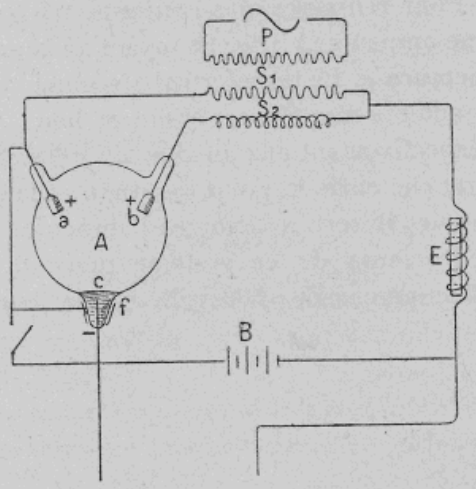


FIG. 97. —

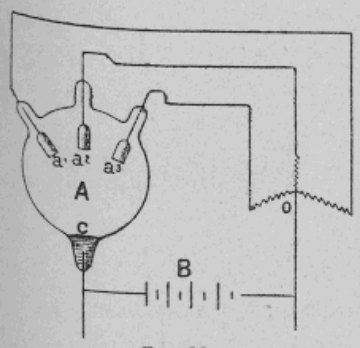


FIG. 98.

Cet appareil permet donc de faire produire un courant continu par un alternateur, mais ce dernier ne fonctionne alors que pendant la moitié du temps. Pour éviter cet inconvénient, on utilise le dispositif suivant : l'alternateur alimente le circuit primaire P d'un transformateur (*fig.* 97) muni de deux circuits secondaires S_1 et S_2 ayant même nombre de spires du même fil, mais enroulés en sens inverse l'un de l'autre. Les points d'entrée de ces circuits sont respectivement reliés aux deux anodes a et b de l'ampoule A. Leurs points de sortie sont réunis et constituent le point de départ du circuit extérieur à courant continu, qui aboutit à la cathode c et contient une bobine de self-induction E. Entre les deux conducteurs de ce circuit, on monte en dérivation une petite batterie d'accumulateurs B servant à amorcer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'ampoule. Grâce à ce dispositif, l'alternateur débite un courant alternatif et rien n'est changé à son fonctionnement.

Une fois l'appareil mis en route, on peut supprimer la batterie B, la bobine de self-induction E suffisant pour empêcher le courant de s'annuler avec la force électromotrice développée dans les circuits secondaires.

Pour redresser des courants triphasés, M. Cooper-Hewitt emploie une ampoule A (*fig.* 98) ayant trois anodes a^1, a^2, a^3, et une cathode de mercure c. Le transformateur alimentant la soupape a ses circuits secondaires montés en étoile et leurs trois points d'entrée sont reliés respectivement aux anodes a^1, a^2, a^3. Le circuit à courant continu est branché entre le point neutre o et la cathode c. La batterie d'accumulateurs B sert à amorcer l'ampoule. M. Cooper-Hewitt a réalisé des redresseurs de ce système pouvant débiter un courant continu de 30 ampères sous 500 volts et dont le rendement atteint 98 0/0.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II

ACCUMULATEURS

Accumulateurs de la Société anonyme Tudor de Bruxelles. — Cette société avait exposé un grand nombre de types d'accumulateurs stationnaires et amovibles.

Les plaques positives de ces accumulateurs sont du type Planté et obtenues par fusion de plomb doux dans un moule de forme spéciale ;

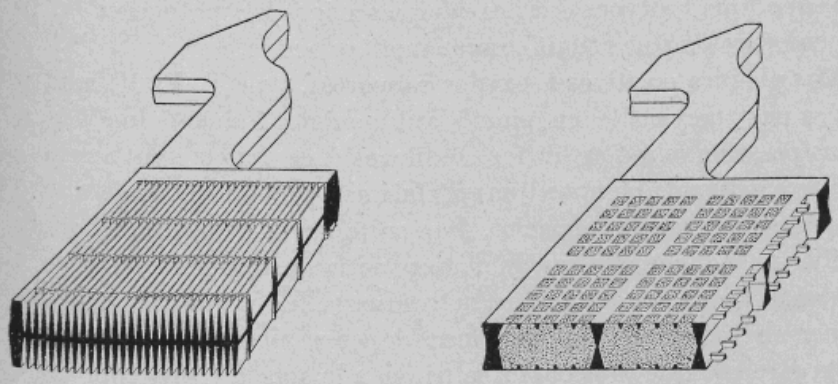


FIG. 99 et 100.

elles présentent un grand nombre d'ailettes transversales qui ont pour objet d'augmenter leur surface active (*fig.* 99). Ces ailettes, existant sur les deux faces de la plaque, sont réunies entre elles par une âme centrale; des nervures longitudinales donnent à la plaque la rigidité nécessaire, tout en assurant une meilleure répartition du courant. Un cadre, venu de fonte avec la plaque, empêche la déformation de cette dernière, tout en fournissant au courant un chemin de faible résistance pour arriver aux dérivations principales constituées par les nervures.

Les plaques négatives (*fig.* 100) sont à matière active rapportée ; elles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont constituées par une grille à ouvertures rectangulaires et de faible poids.

Toutes les plaques sont munies d'une solide queue de connexion; on les relie ensemble par une barre commune, à l'aide d'une soudure autogène.

Parmi les types exposés figurait un élément de 4800 ampères-heure de capacité au régime de décharge en 10 heures ; puis toute la série des éléments stationnaires ayant des capacités utiles depuis 30 jusqu'à 600 ampères-heures. Tous ces éléments sont placés soit dans des bacs en verre, soit dans des bacs en bois doublé de plomb.

Toutes les plaques sont suspendues dans les bacs par leur partie supérieure et leur écartement est maintenu au moyen de tubes en verre.

Comme éléments transportables, la société Tudor exposait le modèle adopté par l'État Belge pour l'éclairage électrique des trains.

Accumulateurs de la Société anonyme pour le travail électrique des métaux à Paris. — Les accumulateurs construits par cette société sont montés, suivant leurs applications, soit avec des plaques positives à oxydes rapportés, soit avec des plaques positives du genre Planté; presque tous les types ont des plaques négatives préparées en partant du chlorure de zinc réduit comme matière active.

Les plaques positives à oxydes rapportés, type T. E. M. sont constituées par une grille en plomb antimonieux à augets inclinés, coulée sous pression afin d'éviter les soufflures. Les augets sont garnis d'une matière active de composition spéciale assurant à l'électrode une grande durée et une grande capacité. Par suite de la disposition donnée à la grille, il est facile, lorsque la matière active est épuisée, de regarnir facilement la plaque de matière active nouvelle, ce qui permet de reconstituer une plaque neuve avec une dépense modique. Ce regarnissage peut être effectué plusieurs fois, si on a le soin d'y procéder en temps utile, c'est-à-dire avant que les augets dégarnis aient été attaqués par l'électrolyte sous l'action du courant.

Pour certaines applications, la grille est établie en plomb doux et alors la plaque peut être utilisée jusqu'à usure complète par suite de la formation progressive du support. Ces plaques ont une capacité plus faible que les précédentes, mais la conservent sans regarnissage jusqu'à usure complète.

Les plaques positives en plomb doux du type *Sirius* sont obtenues par des procédés de fabrication spéciaux. On part d'une plaque coulée et munie de tous les appendices nécessaires. A l'aide d'une machine spéciale, on forme de fines nervures qui sont ensuite laminées. Cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

opération leur donne toutes les qualités d'homogénéité et de résistance à l'attaque que possède le plomb laminé.

Les plaques négatives sont constituées par une grille en plomb antimonieux, dans les ouvertures de laquelle on enchâsse des pastilles de chlorure de plomb préalablement fondues. La plaque ainsi préparée est alors formée en réduisant le chlorure de plomb en présence du zinc. On obtient ainsi des pastilles de plomb très spongieux assurant à la plaque une grande durée et une grande capacité.

Pour les éléments de batteries amovibles et pour certains éléments de batteries fixes de grande capacité et de poids réduit, les plaques positives et négatives sont du modèle à augets, mais modifié.

Les éléments de batteries fixes exposés par cette Société ont des électrodes positives du type T. E. M. ou du type *Sirius* et des électrodes négatives avec pastilles de chlorure de plomb réduit. Ces éléments sont montés dans des bacs en bois doublé de plomb pour ceux de grandes dimensions et dans des bacs en verre pour les autres. Les plaques reposent soit sur des dalles en verre, soit sur les bords du bac à l'aide de crochets venus de fonte avec la plaque. Les queues des plaques de même polarité sont réunies par des boulons à écrous servant en même temps à fixer les conducteurs reliant les éléments entre eux. Des tubes en verre maintiennent l'écartement entre plaques voisines.

Les accumulateurs transportables présentés peuvent être rangés en trois catégories :

1° Éléments pour l'éclairage des trains ;

2° Éléments pour la traction électrique et la propulsion des navires ;

3° Éléments pour l'inflammation des moteurs ;

Les éléments destinés à l'éclairage des trains doivent avoir une grande capacité, tout en étant très robustes. Ils sont constitués par des plaques positives à augets ou du type *Sirius* à très grande surface et par des négatives à pastilles. Afin de faciliter la manutention de ces batteries, on les divise en plusieurs caisses ou paniers, pouvant être facilement portées par un ou par deux hommes. La Société avait exposé un panier de deux éléments du modèle adopté par la Compagnie du Nord pour l'éclairage des trains; un panier de deux éléments du modèle utilisé par la Compagnie du Nord Belge ; une caisse de chacun des modèles adoptés respectivement par les Compagnies de l'Est, de l'Orléans et du Paris-Lyon-Méditerranée. Dans cette même catégorie, on peut ranger également le type de batteries utilisées sur le Métropolitain de Paris pour la manœuvre des équipements des automotrices du système Westinghouse.

Les éléments de traction et de propulsion des navires doivent fournir une grande quantité d'énergie, tout en ayant un poids aussi réduit que possible. Dans ces éléments, les plaques négatives ainsi que les posi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tives sont du type à augets modifié pour cette application spéciale. La Société avait exposé cinq éléments de cette catégorie, différant entre eux simplement par le nombre et les dimensions des électrodes, ainsi qu'une caisse de 15 éléments pour voiture électrique. Dans ces derniers, les plaques reposent sur deux tasseaux en ébonite, fixés au fond du bac, également en ébonite ; les queues des électrodes de même polarité sont soudées, à la soudure autogène, sur une barrette en plomb, le tout constituant un bloc solide. Une prise de courant venue de coulée avec la barrette, est percée d'un trou destiné à recevoir un boulon pour le serrage des connexions. Des feuilles d'ébonite, perforées et munies de nervures, séparent les plaques consécutives. Enfin, un double couvercle en ébonite, posé sur les deux barrettes de connexion, empêche les projections de liquide. Les deux prises de courant, positive et négative, traversent ce couvercle qui porte en son centre une ouverture fermée par un bouchon obturateur.

Dans les accumulateurs d'inflammation pour moteurs, appelés à être soumis à des trépidations continuelles, il est indispensable d'éviter toute projection de liquide à l'extérieur et de donner à l'élément une grande solidité. A cet effet, les plaques sont logées dans un bac en celluloïd et maintenues dans des rainures qui empêchent tout contact entre plaques voisines. Le couvercle en celluloïd donne passage aux prises de courant et porte un bouchon à vis qui permet aux gaz de se dégager, mais empêche toute fuite du liquide. La fermeture hermétique de ces éléments est assurée par un joint en caoutchouc serré entre le couvercle et les prises de courant.

A signaler encore dans l'Exposition de cette Société une batterie à haute tension destinée à l'étalonnage des instruments de mesure. Ces batteries se composent, suivant la tension à obtenir, d'une ou de plusieurs boîtes de composition identique, comportant chacune 44 éléments. Ces éléments spéciaux sont constitués par une éprouvette en verre dans laquelle sont montées des bandes de plomb formées par un procédé spécial et servant d'électrodes. Ces éléments sont logés par une boîte à compartiments et plongent dans un bain d'huile qui assure un excellent isolement.

Accumulateurs A. Bainville. — Ce type d'accumulateur exposé par la Société anonyme pour le travail électrique des métaux, comporte des électrodes du type Planté, obtenues par filage sous grande pression du plomb préalablement chauffé, mais sans l'amener toutefois à l'état de fusion. La température à laquelle doit être portée le plomb peut d'ailleurs varier dans d'assez grandes limites, à la condition de faire varier en sens inverse la pression à laquelle il est soumis pour permettre d'ob-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tenir le filage régulier dans une filière en acier de forme spéciale. Grâce à ce mode de fabrication, il est possible de réaliser des électrodes de tout profil; en effet, l'écartement, l'épaisseur et la saillie des nervures ne constitue plus pratiquement une difficulté sérieuse de fabrication, puisqu'il suffit seulement de faire varier la pression par unité de surface suivant que l'on augmente les surfaces de frottement ou que l'on réduit l'épaisseur des nervures.

On peut ainsi réaliser des plaques d'accumulateurs de modèles très différents, depuis l'électrode extra-légère jusqu'à l'électrode robuste de l'élément des batteries stationnaires.

Le poids d'une électrode positive correspondant à une surface active d'un décimètre carré a pu ainsi être réduit à 8,32 grammes, ce qui représente environ une capacité de 75 ampères-heure par kilogramme, les ailettes n'ayant dans ce cas que 0,15mm. Cette plaque extra-légère n'aurait certainement pas une grande durée; mais, avec des ailettes de 0,3mm et à un régime de décharge de 1 ampère par décimètre carré, on obtient une capacité de 40 ampères-heure par kilogramme d'électrode positive. Bien entendu, si le régime de décharge auquel est soumis l'élément est plus faible, la durée des plaques est augmentée en conséquence.

Les éléments Bainville sont caractérisés par une capacité constante, une grande résistance mécanique et une grande élasticité de débit. Cette dernière qualité présente de grands avantages en ce qui concerne les batteries de traction, dans lesquelles les variations si fréquentes du régime de décharge exercent une action désastreuse sur la durée des électrodes positives. Ces qualités sont principalement dues à la qualité du plomb actif dont l'homogénéité est parfaite par suite du procédé de fabrication employé.

Accumulateurs système Henri Fredet. — La fabrication des premières plaques d'accumulateurs au sulfhydrate d'ammoniaque, d'après le procédé Henri Fredet, date de 1901; elles furent présentées au public en 1902, à l'exposition annuelle de la Société française de Physique et ont été modifiées depuis cette époque. Le but visé par M. Henri Fredet a été l'abaissement du prix de revient des grandes batteries industrielles avec une garantie de durée et de solidité égales; il s'est efforcé, pour y arriver, de rendre pratique et sûr l'emploi des accumulateurs à oxydes rapportés en empêchant la chute de la matière active positive par des procédés chimiques d'une efficacité pour ainsi dire automatique. Il s'agissait : 1° d'obtenir sans compression une cohésion parfaite de la pâte; 2° de préserver les couches superficielles d'une attaque électrolytique trop énergique; 3° de pouvoir augmenter sans danger l'acidité de l'électrolyte et, par suite, la capacité et le rendement;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4° d'éliminer enfin, de l'électrolyte, le cas échéant, les impuretés dangereuses, telles que le platine, provenant de la concentration de l'acide sulfurique dans des appareils de ce métal, l'arsenic résultant du grillage des pyrites et les produits nitreux.

M. Fredet obtient simultanément ces résultats par l'adjonction d'un unique composé au mélange d'oxydes de plomb qui constitue l'élément actif des électrodes ; cet agent est le sulfhydrate d'ammoniaque liquide. Le sulfhydrate provoque l'augmentation du poids spécifique de la matière active et donne à la pâte, sans le secours d'aucune compression, une

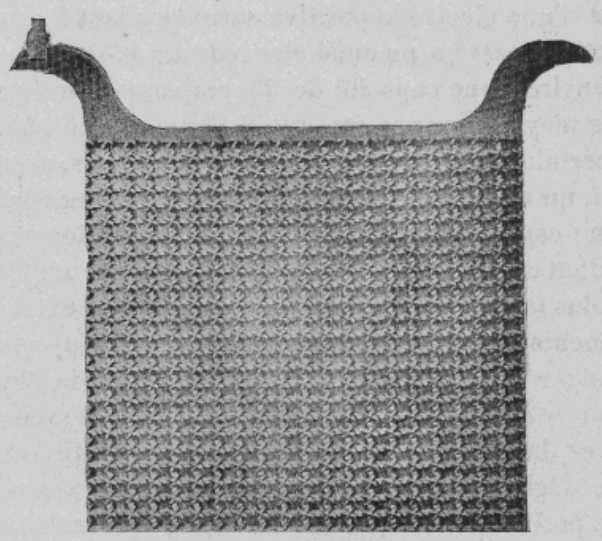


Fig. 101. — Type de plaque-support façonnée.

ténacité remarquable ; il donne lieu à la formation sur les plaques positives d'une couche protectrice superficielle de sulfate de plomb en même temps qu'il préserve indirectement les plaques négatives du sulfatage, permettant ainsi d'augmenter impunément l'acidité de l'électrolyte. Enfin, il précipite à l'état de sels insolubles le platine et l'arsenic, tandis qu'il décompose les produits nitreux.

Lorsqu'un mélange d'oxydes de plomb, destiné à garnir les plaques-supports a été malaxé dans du sulfhydrate d'ammoniaque liquide, les corps en présence dans la pâte, avant l'immersion des électrodes dans l'eau acidulée, sont les suivants :

Sulfures de plomb, provenant directement de l'action du sulfhydrate sur l'oxyde, oxyde de plomb, polysulfures, hyposulfite d'ammonium, sels insolubles de plomb, sulfate de plomb résultant de l'action oxydante superficielle de l'air pendant le séchage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quand les plaques sont plongées dans l'électrolyte, il se produit une précipitation de soufre à l'état impalpable qui enserre la matière active et en cimente pour ainsi dire les particules. L'état d'extrême division de ce soufre précipité, qui joue un rôle inerte dans la pâte active, empêche qu'il soit un obstacle aux phénomènes d'électrolyse.

D'autre part, il y a formation de sulfate d'ammoniaque qui décompose les produits nitreux et préserve en même temps les plaques négatives d'une attaque à circuit ouvert.

Pendant la charge, il y a réduction à la plaque négative et oxydation à la plaque positive; le sulfure de plomb de l'électrode positive est donc oxydé et transformé en sulfate. Or, le sulfate de plomb, nuisible dans certaines conditions à la plaque négative, préserve, au contraire, par son insolubilité relative, le peroxyde de la plaque positive d'une rapide décomposition.

Pendant la décharge, il se produit une sulfuration superficielle de polarisation à la plaque négative par transport électropositif des anions sulfurés. Cette dernière réaction maintient à la surface des électrodes négatives une couche de sulfure de plomb qui les préserve du sulfatage, c'est-à-dire de la production à leur surface, en cas de décharge exagérée, d'un sulfate irréductible.

L'oxydation trop énergique des plaques positives pendant la charge et le sulfatage des plaques négatives lors de la décharge n'étant plus à redouter, on peut donc, sans danger, augmenter l'acidité de l'électrolyte dans une mesure très importante avec augmentation correspondante de la capacité et du rendement.

Dans la fabrication industrielle, les plaques-supports en plomb, destinées à recevoir la matière active, sont coulées sous pression, pour donner au métal une homogénéité suffisante. Elles sont rigoureusement symétriques afin d'éviter toute déformation pouvant provenir ultérieurement des efforts mécaniques dus à l'électrolyse. Des nervures croisées, venues de fonte, forment les alvéoles destinées à recevoir la pâte active et assurent, en même temps, la rigidité des électrodes. Les plaques positives, plus robustes dans leur ensemble, sont établies en vue des désagrégations qu'elles ont à subir. Au sortir de la fonte, les plaques sont soumises à l'action d'une machine-outil spéciale qui façonne les nervures, dans leur partie supérieure, en forme de griffes destinées à maintenir solidement la matière active. Un broyeur-malaxeur travaille mécaniquement la matière active composée d'oxydes de plomb et de sulfhydrate d'ammoniaque liquide et lui donne une parfaite homogénéité. La pâte encore humide est alors introduite dans les alvéoles des plaques-supports, Elle se prend en séchant lentement en masse et, enserrée entre les parois et les griffes, présente avec la plaque un tout indéformable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les connexions des divers types d'éléments sont en plomb avec soudure électrique autogène; des tubes de verre maintiennent les électrodes à distance convenable et égale les unes des autres. Les bacs employés sont en verre pour les éléments à poste fixe jusqu'à une capacité de 1 000 ampères-heures; ils sont en bois doublé de plomb pour les capacités supérieures.

Après l'installation des bacs sur leurs supports, il est procédé à une première formation. A cet effet, les bacs sont remplis d'eau acidulée à 5° et l'intensité du courant, différente pour chaque cas, ne doit pas varier pendant dix jours consécutifs. On remplace ensuite, aussi rapidement que possible, l'électrolyte à 5° par un électrolyte nouveau à 28° ou 30°, et on fait passer le courant dans la batterie pendant quelques heures. Le fonctionnement peut alors commencer régulièrement et est garanti absolument parfait pendant un minimum d'un an.

La décharge se maintient pendant la plus grande partie de sa durée à 2 volts, mais elle ne devra, en aucun cas, être poussée au-delà de 1,9 volt, étant donné que la tension moyenne des éléments au sulfhydrate d'ammoniaque se maintient pour ainsi dire presque constamment à 1,98 volt. Le poids et l'encombrement de ces éléments ne diffèrent pas essentiellement de ceux des types industriels employés; M. Fredet a pensé d'ailleurs qu'une diminution considérable de poids serait sans grand intérêt pour des batteries stationnaires et en compromettrait, d'autre part, la solidité et la durée.

En plus de l'économie réalisée, qui est d'environ 25 0/0 sur les prix des batteries ordinaires, la tension élevée sensiblement constante des accumulateurs Fredet ramène au minimum le nombre d'éléments d'une batterie. C'est ainsi qu'un groupe de 62 éléments (110 volts à fin de décharge) pourra être remplacé avantageusement par une batterie de 58 éléments Fredet de même capacité, d'où une nouvelle économie de 6,5 0/0.

M. Fredet fait remarquer enfin qu'une autre conséquence heureuse de la tension constante de ses éléments est la suppression presque complète, pendant la décharge, de la surveillance et de l'appareillage généralement nécessaire pour maintenir la tension constante aux bornes d'utilisation. Les réducteurs automatiques, qui accomplissent souvent, par mesure de sécurité, avec les batteries ordinaires, les manœuvres voulues, deviennent ainsi inutiles.

Accumulateurs de la Société Chelin de Bruxelles. — Ces accumulateurs, imaginés par MM. Cheval et Lindeman, ont été spécialement étudiés en vue de résister facilement aux transports et aux cahots.

Comme on le voit sur la figure 102, l'électrode positive se compose

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une boîte à section carrée, en ébonite, perforée d'un grand nombre de petits trous et au centre de laquelle est fixée une tige de plomb doux ; l'espace libre compris entre les bords de la boîte et la tige est rempli de matière active. L'électrode négative est constituée par une boîte en plomb doux, perforée de nombreux trous et formant une série de compartiments dans lesquels viennent se loger les électrodes positives. Le fond de cette boîte n'est pas perforé et retient la matière active qui est naturellement du plomb spongieux.

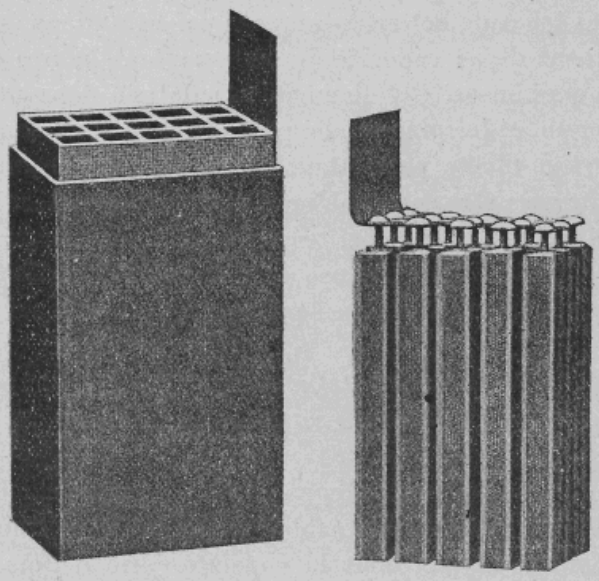


Fig. 102. — Accumulateur Chelin.

Cette matière active, peroxyde de plomb et plomb spongieux, est préparée en partant du chlorure de plomb réduit en présence du zinc.

Les accumulateurs de la Société Chelin sont principalement destinés à l'éclairage des trains, aux automobiles, aux motocyclettes, aux usages médicaux, etc., et surtout à l'alimentation des lampes des mineurs dans lesquelles quelques éléments alimentent une lampe à osmium.

Accumulateurs de la Compagnie française de l'accumulateur « Aigle ». — Les accumulateurs « Aigle » sont du type Faure, c'est-à-dire avec plaques à matière active rapportée; toutefois, le procédé de fabrication diffère notablement des procédés ordinaires. En effet, au lieu de garnir les grilles-supports avec une pâte de matière active, cette dernière est appliquée presque à l'état sec et l'adhérence est obtenue par une forte compression à l'aide d'une presse hydraulique. La composition de cette matière active est telle que, lorsque la plaque est formée,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cette matière devient excessivement poreuse ; il s'ensuit que les dilatations et rétrécissements qui se produisent lors de la charge et de la décharge ne modifient pas le volume des pastilles qui, par conséquent, ne tendent pas à se détacher de leur support. Des trous sont pratiqués de part en part dans les pastilles afin d'augmenter la surface de contact avec l'électrolyte.

Ces accumulateurs auraient, paraît-il, une grande capacité pour un poids relativement faible et une grande solidité.

Les différents types d'accumulateurs de cette Compagnie étaient exposés. Parmi les types de batteries-tampons ou de stations centrales, figurait un élément d'une capacité de 800 ampères-heure au régime de décharge en dix heures. Cet élément est contenu dans un bac en bois doublé de plomb, et les plaques, de petites dimensions, sont reliées entre elles par une tige filetée permettant de changer au besoin une plaque dans l'élément sans être dans l'obligation de le démonter. Les constructeurs préconisent l'emploi de petites plaques, à l'exclusion des grandes, dont l'entretien est difficile à cause de leur poids et coûteux à cause du remplacement de grandes plaques qui souvent ne sont que partiellement détériorées.

Parmi les types de batteries stationnaires avec bac en verre figuraient un élément de 320 ampères-heure de capacité et un de 120 ampères-heure.

La Compagnie de l'accumulateur « Aigle » a porté principalement son attention sur les batteries amovibles destinées à la traction et avait exposé de nombreux types dont la capacité varie depuis 75 ampères-heure au régime de décharge de 15 ampères jusqu'à 200 ampères-heure au régime de 40 ampères. Ces batteries amovibles sont également utilisées dans les installations de télégraphie sans fil.

Des accumulateurs pour l'allumage des moteurs à explosion figuraient également à l'Exposition ; les différents types ont des capacités variant depuis 20 ampères-heure jusqu'à 70. Ces accumulateurs sont également utilisés avec avantage pour l'éclairage des voitures et à cet effet, quatre éléments sont réunis dans une boîte facilement transportable.

Accumulateurs Alfred Dinin. — L'exposition de M. Dinin comprenait une collection de ses principaux types d'accumulateurs ainsi que des électrodes séparées.

Suivant l'usage auquel ils sont destinés, ces accumulateurs sont constitués avec des plaques, *dites de masse*, pour les décharges lentes, avec des plaques à grilles de divers modèles pour les décharges moyennes et pour la traction et enfin avec des plaques du type Planté pour les batteries à poste fixe et pour les batteries spéciales devant subir un régime

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rapide de charge et de décharge. M. Dinin construit également des électrodes spéciales pour les accumulateurs destinés à la traction qui sous un faible poids présentent une très grande capacité.

Le montage des accumulateurs est fait, suivant les cas, dans des bacs en celluloïd, en verre, en ébonite ou en bois doublé de plomb.

Les bacs en celluloïd sont fabriqués dans les usines de M. Dinin. Ils sont munis d'un couvercle étanche, de bornes en cuivre rouge et de bouchons spéciaux évitant les projections de liquide.

Il convient de signaler aussi les accumulateurs utilisés pour l'inflammation des moteurs à explosion, ainsi que les batteries spéciales pour l'éclairage des voitures.

Les accumulateurs Dinin sont trop connus pour qu'il soit nécessaire d'insister sur leur description.

Accumulateurs de la Société Gramme. — Les accumulateurs de la Société Gramme pour batteries stationnaires ont des plaques positives du type mixte, c'est-à-dire à matière active rapportée, subissant ultérieurement la formation Planté, et des plaques négatives à matière active rapportée (*fig.* 103). Le support est constitué par une grille coulée en plomb pur, munie de nervures horizontales. Ces électrodes ont une grande épaisseur afin de leur assurer une grande durée et d'éviter le gondolement. Un des éléments exposés, d'une capacité de 1 450 ampères-heure, a un bac en bois imprégné et doublé de plomb. Les accumulateurs de capacité inférieure à 500 ampères-heure sont logés dans des bacs en verre et sont montés avec des plaques jumelées pour les éléments intermédiaires, afin d'éviter l'emploi de bornes de connexion et la soudure sur place des plaques sur les barres de liaison.

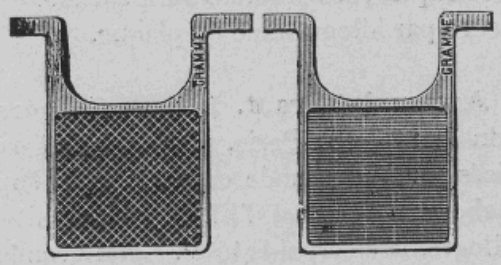


Fig. 103. — Plaques Gramme.

Les accumulateurs de traction sont logés dans des bacs en ébonite et comportent des plaques préparées spécialement pour cette application. Un élément de 150 ampères-heure de capacité figurait à l'Exposition.

Les accumulateurs d'allumage ont des plaques composées d'un cadre en plomb entourant une grille empâtée de matière active. Ils sont logés dans des bacs en celluloïd. Les six modèles courants de ces accumulateurs ont une capacité variant de 10 à 60 ampères-heure.

A signaler également une batterie portative d'accumulateurs légers

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour usages télégraphiques, composée de 5 éléments, du type allumage, ayant une capacité de 60 ampères-heure.

Accumulateurs de la Société anonyme des manufactures de câbles, accumulateurs et appareils électriques de Seneffe (Belgique). — Cette Société construit les accumulateurs du système Hart.

Les plaques de ces accumulateurs sont constituées par un quadrillage en plomb doux avec une âme centrale ; sur chaque face de cette âme sont des nervures verticales de section triangulaire, espacée de 30 mm environ et des nervures horizontales plus fines, également de section triangulaire, espacées de 28 mm environ.

Après la coulée, la plaque est passée sous un laminoir qui donne une certaine courbure aux nervures horizontales.

Ces plaques sont à formation mixte.

Les éléments exposés sont du type destiné à l'éclairage des trains par le système Stone ainsi que du type spécial pour voitures automobiles électriques ; ces derniers auraient une capacité utile de 12 à 13 ampères-heure par kilogramme de plaque.

Accumulateurs E. I. t. — Ces accumulateurs, exposés par la maison Jeantaud de Paris, sont du type à oxydes rapportés et sont caractérisés par leur grande capacité qui, d'après le certificat délivré par le Laboratoire central d'Électricité, serait d'environ 20 ampères-heure par kilogramme de poids total. Cette grande capacité serait due à l'emploi d'un oxyde de plomb préparé spécialement à cet effet par M. Rosset dans le laboratoire de la maison Jeantaud.

Bacs en verre pour accumulateurs de la Société de Saint-Gobain. — La Société anonyme des manufactures de glaces et produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Cirey avait exposé des bacs d'accumulateurs en verre moulé, fabriqués par le procédé Appert.

Ces bacs de forme rectangulaire se font en toutes dimensions jusqu'à 110 litres de capacité et présentent de grands avantages sur les bacs en verre soufflé, à cause de leur plus grande épaisseur et d'une plus égale répartition de la matière, ce qui leur assure une grande solidité. En outre, la composition du verre présente la plus grande résistance aux actions mécaniques et chimiques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TROISIÈME PARTIE

CANALISATION ET DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE APPAREILLAGE

CHAPITRE I

MATÉRIEL DES LIGNES AÉRIENNES

Poteaux en bois injecté. — M. A. Gaillard, de Béziers, avait exposé une série d'échantillons de bois injectés et de bois non injectés (ces derniers à titre de comparaison) consistant en diverses variétés de pins sylvestres et de sapins communs.

Négligeant, comme insuffisants, les procédés d'injection, par simple immersion, pratiqués autrefois en France et encore aujourd'hui en Allemagne; refusant l'emploi du procédé d'injection par le vide, comme détériorant les fibres du bois, M. Gaillard utilise exclusivement l'injection par le procédé *Boucherie*, procédé plus coûteux, mais meilleur que tous les autres et, du reste, le seul admis par l'Administration Française des Télégraphes et des Téléphones et aussi, par les grandes Compagnies françaises de Chemins de fer. Les arbres à injecter par le procédé *Boucherie* sont, dès abatage et encore recouverts de leur écorce, amenés dans les chantiers d'injection. Ils sont, alors, sectionnés aux deux bouts pour rafraîchir la coupe et faciliter l'accès, dans les vaisseaux du bois, du liquide antiseptique. A la base de l'arbre on adapte une minuscule chambre étanche constituée au moyen d'une corde mouillée, d'un centi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mètre d'épaisseur, appliquée à la périphérie de la section et maintenue en ce point par une planchette appliquée sur elle et fixée, par deux crochets, à l'arbre lui-même.

L'arbre, ainsi préparé, est placé horizontalement ou très légèrement incliné. Le liquide antiseptique, arrivant à une pression variant suivant la longueur de l'arbre, est amené à la chambre étanche par des tuyaux en caoutchouc ; de là, il pénètre dans les vaisseaux du bois, seule issue qui lui soit offerte, chassant la sève devant lui et la remplaçant dans toutes les parties de l'arbre; la sève s'écoule par le petit bout de l'arbre.

Les éléments putrescibles sont ainsi éliminés, les fibres du bois ne sont pas meurtries, toutes les parties de l'arbre sont imprégnées de solution antiseptique et l'injection est parfaite.

Poteau télégraphique Nou. — La Société française pour la fabrication des tubes à Louvroil (Nord) exposait un poteau télégraphique d'un type absolument nouveau et appelé à de nombreuses applications.

La réalisation du poteau Nou repose sur un principe très simple. Si on considère un poteau métallique tubulaire, encastré verticalement dans le sol, dans les mêmes conditions qu'un poteau télégraphique ordinaire, ce poteau pourra résister à l'action d'une tension déterminée du conducteur qu'il supporte, si les rayons intérieur et extérieur de sa section droite annulaire sont calculés en conséquence. Un calcul très simple montre que, si la surface de la section annulaire reste constante, la résistance du poteau tubulaire augmente avec son diamètre ; autrement dit, un poteau de longueur et de poids donnés peut résister théoriquement à une tension quelconque, si l'on choisit convenablement son diamètre. Toutefois, comme l'épaisseur du métal diminue à mesure que le diamètre du poteau augmente, la tendance du tube à se déformer s'accentue de plus en plus.

Pour empêcher la déformation de se produire, il suffit de remplir le poteau de matériaux aussi incompressibles que possible, tels que pierres, graviers, sable, etc., et, dans ces conditions, on peut réaliser sous un poids très faible des poteaux présentant toutes les garanties désirables de solidité, en utilisant complètement les propriétés du fer et de l'acier.

Le poteau télégraphique Nou est constitué par des tubes en tôle d'acier, simplement agrafée sur elle-même, qui s'emboîtent complètement les uns dans les autres pour le transport et qui se recouvrent mutuellement plus ou moins pendant le montage.

Les usines de Louvroil fabriquent deux types de ces poteaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PREMIER TYPE

ÉLÉMENTS DU POTEAU	LONGUEUR	DIAMÈTRE	ÉPAISSEUR DE LA TÔLE	POIDS
	Mètres	Millimètres	Millimètres	Kilogr.
1er élément	2	220	1	12,50
2e —	2	180	1,20	10,50
3e —	2	150	1,20	8,70
4e —	1,50	100	1,20	4,50
Chapeau	»	»	»	1
TOTAL				27,64

Le poteau monté présente une force de résistance, à 5 m au-dessus du sol, égale à 75 kg., avec un coefficient de sécurité de 1/10. Un poteau en bois de 70 kg ne présente, à la même hauteur de 5 m, qu'une résistance de 55 kg.

SECOND TYPE

ÉLÉMENTS DU POTEAU	LONGUEUR	DIAMÈTRE	ÉPAISSEUR DE LA TÔLE	POIDS
	Mètres	Millimètres	Millimètres	Kilogrammes
1er élément	2	190	0,85	8,75
2e —	2	160	0,85	7,34
3e —	2	130	0,85	6,00
4e —	1,50	100	0,85	4,55
Chapeau	»	»	»	1,00
TOTAL				27,64

Le poteau monté présente, à 5 m au-dessus du sol, une résistance de 47,45 kg, tandis que le poteau en bois de 60 kg, à la même hauteur, n'a qu'une résistance de 28 kg.

Pour augmenter la solidité des élements, on les munit à leur extrémité supérieure d'une frette extérieure en fer demi-rond. Cette frette est fixée sur la tôle par des rivets.

Le montage du poteau Nou s'effectue très facilement sans ouvriers spéciaux. Il suffit de planter dans le sol, à 1 m ou 1,50 m de profondeur, l'élément de plus grand diamètre, comme on le fait pour les poteaux en bois. On remplit ensuite le tube de fer de terre ou de petits cailloux, jusqu'à 50 cm de l'extrémité supérieure ; à l'aide d'une dame appropriée,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on tasse la terre ou les cailloux. Cela fait, on place le deuxième élément dans le vide supérieur du premier en vérifiant sa position et sa verticalité à l'aide d'un simple fil à plomb ; l'espace annulaire laissé libre entre les deux tubes est alors garni de sable ou de menus graviers que l'on tasse soigneusement. La liaison des deux éléments est ainsi assurée. On remplit le deuxième tube comme le premier, en laissant à sa partie supérieure un vide de 40 cm de hauteur et enfin on place le troisième et le quatrième élément en procédant d'une façon identique. Le quatrième élément est rempli totalement et coiffé d'un chapeau destiné à garantir l'intérieur de la pluie. Lorsque le montage est terminé, on verse du mortier de ciment à prise rapide dans la partie supérieure des espaces annulaires après avoir enlevé le sable ou le gravier sur une hauteur de 2 centimètres environ.

L'armement de ces poteaux s'effectue au moyen de demi-colliers qui embrassent l'élément supérieur et que l'on relie solidement entre eux autour du poteau au moyen de boulons. Ces demi-colliers peuvent être munis chacun d'une console portant l'isolateur.

Ce type de poteau se distingue des appuis ordinaires en bois par sa légèreté, sa facilité de transport et de montage, sa grande durée et la simplicité de son armement. Il convient parfaitement pour les lignes télégraphiques et téléphoniques à établir aux colonies par un personnel le plus souvent improvisé.

Poteaux métalliques de la Société de Louvroil. — Les poteaux tubulaires exposés par cette Société sont de trois types différents :

1° Les poteaux coniques d'une seule pièce, très légers et, par suite, très économiques ;

2° Les poteaux télescopiques, composés de tronçons emboîtés les uns dans les autres ;

3° Les poteaux en tube carré.

Les poteaux coniques sont d'une seule pièce jusqu'à 12,50m de longueur. Ils sont établis en tôle d'acier simplement rapprochée et l'expérience a prouvé qu'à l'usage ils donnaient les meilleurs résultats ; toutefois, les usines de Louvroil peuvent livrer ces mêmes poteaux soudés sur toute la partie destinée à se trouver hors du sol.

Le diamètre maximum à la base est de 260 mm et l'épaisseur maximum de la tôle de 20 mm environ.

Ces poteaux résistent à des efforts de traction, dans le sens horizontal, variant depuis 50 jusqu'à 5 000 kg.

Les poteaux télescopiques, pouvant atteindre 15 mètres de longueur, sont formés de tronçons cylindriques de tubes d'acier, assemblés par emboîtement. Le nombre de tronçons varie selon les efforts de traction

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que doit subir le poteau et suivant la hauteur adoptée. Ordinairement, il comporte trois ou quatre tronçons.

Les poteaux coniques d'une seule pièce conviennent parfaitement pour les lignes de tramways, de transport d'énergie et d'éclairage.

La même Société exposait également des poteaux et potelets simples en tube carré qui présentent de nombreux avantages sur les appuis en fer de profils divers, la résistance mécanique du tube à profil carré étant théoriquement supérieure de 30 0/0 à celle du tube rond.

L'armement de ces poteaux est, en outre, plus facile et plus rapide que celui des poteaux en bois et la consolidation des appuis s'obtient aussi facilement et par les mêmes procédés, c'est-à-dire à l'aide d'entretoises.

L'emploi de ces poteaux et potelets permet de réaliser des économies, non seulement sur les prix d'achat, mais encore sur les frais de transport, de manutention, de pose et d'entretien, tout en offrant des facilités remarquables de montage.

Supports en tubes carrés pour les lignes électriques. — Ces supports se fixent soit sur les poteaux en bois pour constituer des traverses, soit sur les maisons comme potelets. Ils sont fondés essentiellement sur l'emploi d'un tube à section carrée qui reçoit des consoles d'isolateurs d'un modèle approprié, se fixant par serrage extérieur à l'aide de brides ; les angles mêmes du tube, qui se trouvent naturellement renforcés pendant la fabrication, s'opposent à tout mouvement de rotation des consoles et assurent à la ligne la plus grande solidité et toute la fixité que réclame l'emploi de courants à haute tension ou simplement le bon fonctionnement des canalisations à basse tension. Ce système est bien préférable aux procédés de fixation par boulons de pénétration qui laissent nécessairement subsister un certain jeu et ne prennent appui que sur de faibles surfaces qui sont facilement détériorées ; ces effets sont préjudiciables à la fixité de la ligne et, par suite, à sa sécurité.

L'emploi des tubes carrés permet de réaliser le maximum de solidité sous le poids minimum, ce qui constitue non seulement une économie dans le prix d'achat mais encore, à cause de la légèreté de ce matériel, une grande facilité dans les opérations de transport et de montage, notamment lorsqu'il s'agit de potelets à monter à une grande hauteur, potelets qui le plus souvent doivent être placés sur des maisons qu'il faut éviter de surcharger inutilement.

La résistance mécanique du tube à profil carré est théoriquement supérieure de 30 0/0 à celle du tube rond et dépasse celle des fers du commerce, de profils divers, de 100 à 200 0/0.

Par suite du mode d'attache employé pour les isolateurs, combiné avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la forme spéciale des consoles, la fixité du système est telle que les vibrations ne peuvent se propager, ce qui évite l'emploi de sourdines plus ou moins efficaces.

Les tubes carrés s'appliquent également avec avantage aux lignes en herse établies soit sur poteaux en bois, soit sur poteaux en fer. Tous les assemblages se font par brides ou plaques de serrage, sans percement d'aucune sorte. Grâce à l'emploi de consoles doubles, on a pu ainsi réduire le nombre de traverses par rapport aux systèmes actuellement en usage et réaliser ainsi une grande économie.

Isolateurs en verre. — La verrerie de Folembray (Aisne) avait exposé des types d'isolateurs en verre de sa fabrication.

Le verre employé pour la fabrication de ces isolateurs réunit toutes les conditions techniques désirables de résistance mécanique et de résistance d'isolement aussi bien pour les lignes télégraphiques et téléphoniques que pour les lignes industrielles de transmission d'énergie. Ce verre est beaucoup moins alcalin que celui qui sert à fabriquer la verrerie ordinaire et, s'il présente plus de difficultés au point de vue du moulage, par contre, il possède des qualités très appréciables au point de vue isolant.

Les isolateurs fabriqués avec ce verre spécial sont parfaitement recuits par un procédé spécial, ce qui leur assure une grande résistance à la traction ainsi qu'une excellente résistance d'isolement.

La verrerie de Folembray présentait à Liège une série complète de pièces isolantes en verre, depuis la simple rondelle et la petite poulie de 20 mm de diamètre, jusqu'à l'isolateur à quadruple cloche, de 30 cm de diamètre, distiné à l'équipement de lignes où les tensions dépassent 50 000 volts. A signaler également l'isolateur de troisième rail qui es actuellement en service sur le réseau de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Orléans.

Appareils divers. — M. Fontaine-Souverain fils, de Dijon, avait exposé différents modèles d'échelles et d'échafaudages, étudiés en vue de leur application spéciale à la construction et à l'entretien des lignes électriques aériennes.

M. Jean Fournial, du Havre, avait exposé un isolateur, une console et une mâchoire à tendre les fils de son invention.

MM. J. Belliol et J. Reiss, de Paris, présentaient un nouveau raccord à rivets, système Hofmann, pour conducteurs électriques; ce raccord évite l'emploi du fil de ligature et de la soudure et permet d'effectuer rapidement des épissures de câbles ou de fils. A cet effet, on introduit les deux fils dans le manchon, les extrémités des fils dépassant les bords

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du manchon de 2 à 3 mm ; on chasse ensuite un poinçon à travers les deux trous pratiqués dans le manchon afin d'y introduire deux rivets que l'on mate en utilisant un petit bloc de fonte. Suivant la nature des fils, on emploie des manchons en acier galvanisé ou en cuivre étamé.

MM. Belliol et Reiss avaient également exposé un nouveau tube isolant flexible qui a trouvé de nombreuses applications dans l'équipement des tramways et locomotives électriques de mines, de navires, ainsi que dans l'établissement des canalisations intérieures. Ce tube assure une bonne protection mécanique des conducteurs, est imperméable à l'humidité et présente un bon isolement électrique tout en étant très souple et très résistant au point de vue mécanique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II

CABLES ET FILS
MATÉRIEL DES LIGNES SOUTERRAINES

Câbles de la Société industrielle des téléphones. — Parmi les modèles de câbles exposés par cette Société, il convient notamment de citer les suivants :

1° Un câble à trois conducteurs, ayant chacun 20 mm² de section, isolés au papier imprégné, pour canalisation triphasée à 30 000 volts. Ce câble a été construit pour la Compagnie d'Éclairage de l'Est Parisien (Est-Lumière);

2° Un autre modèle de câble à trois conducteurs, chacun de 90 mm² de section, également isolé au papier imprégné et construit pour la Compagnie du Métropolitain de Paris. Il est destiné à une canalisation triphasée à 5 000 volts ;

3° Un modèle du câble employé par le secteur de la rive gauche de Paris et dont plus de 225 kilomètres sont actuellement en service. Ce câble à deux conducteurs concentriques, ayant chacun 70 mm² de section, est isolé au papier imprégné. Il constitue la canalisation à courant alternatif simple de 3 000 volts de ce secteur ;

4° Un modèle de câble à 3 conducteurs de chacun 140 mm² de section, contenant également deux conducteurs neutres, isolés au caoutchouc et destiné à une canalisatien triphasée à haute tension;

5° Un échantillon de câble à un conducteur de 483 mm² de section, sous caoutchouc, armé de deux feuillards en tôle galvanisée. Ce modèle de câble est utilisé par la Marine française pour l'éclairage des navires;

6° Un modèle de câble à un conducteur, de 800 mm² de section, isolé au caoutchouc, pour courant à basse tension;

7° Un modèle de câble à un conducteur, de 600 mm² de section, isolé au jute et au papier imprégné, pour courant continu à 500 volts (traction électrique);

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8° Un modèle de câble à 4 conducteurs, chacun de 100 mm² de section, isolé au papier imprégné, pour canalisation à courants diphasés de 3 000 volts. Ce type de câble est employé par la Compagnie de l'Ouest Parisien (Ouest-Lumière).

Câbles de la Société G. et H. B. de la Mathe. — Cette maison construit tous les modèles de câbles électriques nus et isolés pour toutes applications électriques. Elle avait présenté à l'Exposition de Liège les divers types de sa fabrication tels que câbles isolés à la gutta-percha pour la télégraphie, la téléphonie et les signaux ; câbles isolés au caoutchouc pur et vulcanisé pour canalisations de transport d'énergie, de mines, etc. ; câbles isolés avec du jute ou avec du papier imprégné avec protection soit d'enveloppes en plomb, soit d'armatures pour lignes souterraines, transports d'énergie, mines, etc. ; câbles isolés au papier, au coton ou à la soie, sous plomb, pour télégraphie et téléphonie.

Câbles Geoffroy et Delore. — La maison Geoffroy et Delore, de Clichy (Seine), avait exposé divers échantillons de câbles isolés au caoutchouc pour canalisations intérieures et de câbles isolés au papier et armés pour canalisations souterraines.

Parmi les échantillons présentés, il y avait un type de câble récemment utilisé pour une canalisation souterraine à 27 000 volts.

Câbles de la Société anonyme des manufactures de câbles, accumulateurs et appareils électriques de Seneffe (Belgique). — Cette Société avait exposé dans son stand les différents types de câbles électriques de sa fabrication.

Câbles de la Société A. E. G. Union Électrique, de Bruxelles. — Cette Société avait dans son stand des échantillons de câbles armés pour des tensions allant depuis 250 jusqu'à 4 000 volts.

Fils et câbles nus. — La Compagnie des tréfileries du Havre (anciens établissements Lazare Weiller) avait exposé des échantillons des diverses variétés de fils et câbles métalliques utilisés pour l'établissement des canalisations électriques.

Comme conducteurs en cuivre, cette Compagnie a les types suivants :

Des fils de cuivre pur électrolytique, de haute conductivité, ayant une résistivité de 1,616 microhm-centimètre. Ces fils sont principalement employés pour la fabrication des conducteurs isolés, câbles souterrains et sous-marins et, d'une façon générale, pour les canalisations dans lesquelles le conducteur est supporté en tous ses points ou en des points

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

très rapprochés et n'est pas, par conséquent, soumis à des efforts tendant à l'allonger ou à le rompre ;

Des fils de bronze silicieux du type A dit bronze télégraphique ayant une conductivité presque égale à celle du cuivre pur, mais présentant l'avantage d'avoir une résistance mécanique plus grande, leur tension de rupture atteignant 45 kg par mm² pour les fils de 2 mm² de diamètre. Naturellement ce type de fil convient tout particulièrement pour l'établissement des lignes aériennes télégraphiques, téléphoniques, de transport d'énergie et de traction;

Des fils de bronze silicieux, type B, employés dans les cas spéciaux où l'on a besoin d'avoir une conductivité aussi grande que possible, mais, en même temps, d'utiliser un fil pouvant résister à certains efforts, tels que ceux qui résultent de l'amoncellement de la neige ou de la glace sur les conducteurs dans les pays montagneux et froids ;

Des fils de bronze silicieux, type C, dit bronze téléphonique, présentant une grande résistance à la rupture et ayant une conductivité suffisante pour être utilisés dans les réseaux téléphoniques urbains ;

Des fils de bronze double constitués par une âme en bronze présentant une grande résistance mécanique, âme entourée d'une gaine de bronze ou de cuivre pur, suivant la conductivité que l'on veut obtenir. Le type courant de ces fils a une conductivité égale à 50 0/0 de celle du cuivre pur et présente une résistance mécanique à la rupture de 80 kg par mm² ;

Des fils de trolley pour traction électrique, de diamètre variant depuis 5 jusqu'à 12 mm; ces fils ne doivent avoir ni pailles, ni rayures, ni défauts quelconques ;

Des conducteurs câblés pour lignes aériennes de section variant depuis 20 jusqu'à 1200 mm² ;

Des fils bi-métalliques comportant une âme en acier recouverte de cuivre électrolytique. Ces fils, suivant les types, ont une conductivité de 40, 46 et 55 0/0 de celle du cuivre et présentent une résistance à la rupture comprise entre 70 et 80 kg par mm² ;

Des fils de fer galvanisés pour conducteurs télégraphiques.

Enfin, l'exposition de cette Compagnie comprenait également des échantillons de fils en aluminium pour canalisations électriques, des lames pour collecteurs, des fils fins dits « carcasse », des fils carrés et de section rectangulaire pour enroulements de dynamos, etc.

La Société anonyme des Fonderies et Tréfileries de bronze phosphoreux d'Anderlecht-les-Bruxelles avait exposé des échantillons de fils de bronze phosphoreux de sa fabrication largement utilisés pour l'établissement des lignes télégraphiques et téléphoniques et pour toutes canalisations industrielles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Matériel des lignes souterraines. — Indépendamment des câbles servant à établir les canalisations souterraines, l'installation de ces lignes nécessite l'emploi d'un matériel spécial.

La Société industrielle des Téléphones de Paris exposait dans son stand divers modèles de boîtes de branchement, de boîtes de jonction, de boîtes de coupure et d'extrémité de câbles.

La Société G. et H. B. de la Mathe de Saint-Maurice (Seine) avait exposé également des types de son matériel spécial pour lignes souterraines.

La Société A. E. G., Union Électrique de Bruxelles, présentait des modèles de boîtes de dérivation et de boîtes de jonction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III

APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE

Les appareils électriques de marche et de sécurité étaient assez nombreux à l'Exposition de Liège. La plupart de ces appareils sont suffisamment connu. Il est donc inutile d'insister sur leur description.

TABLEAUX DE DISTRIBUTION

Indépendamment des tableaux de distribution installés pour le service de la distribution d'énergie électrique dans l'Exposition, tableaux construits par les principales maisons belges, la section française, s'alimentant par ses propres moyens, avait confié la construction des tableaux qui lui étaient nécessaires à la Société industrielle des Téléphones et à la Société d'appareillage électrique Grivolas.

Le tableau de distribution à haute tension avait été installé par la Société industrielle des Téléphones. Ce tableau, placé dans le stand de la Société « l'Éclairage Électrique », comportait divers types d'interrupteurs à rupture dans l'huile, deux disjoncteurs pour haute tension avec retardateurs, des coupe-circuit pour 5000 volts et des instruments de mesure du système Caron.

La même Société avait installé également les tableaux suivants, en service à l'Exposition :

1° Un tableau de génératrice à haute tension pour le groupe électrogène de la Société d'applications industrielles Weyher et Richemond ;

2° Un tableau de transformation dans le stand de la Société « la Française Électrique » ;

3° Un tableau de génératrice pour le groupe électrogène Aster ;

4° Un tableau pour le groupe électrogène Sautter-Harlé.

Le tableau de distribution à basse tension, mis en service dans la sec-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion française, a été construit par la Société d'appareillage électrique Grivolas; il comportait entre autres des interrupteurs et des coupe-circuit des modèles bien connus de cette maison.

La plupart des exposants, ayant des dynamos et des alternateurs en fonctionnement à l'Exposition, avaient également installé dans leur stand les tableaux nécessaires munis des appareils de marche et de sécurité ainsi que des instruments de mesure appropriés.

RHÉOSTATS

Rhéostats de la Société Westinghouse. — Les rhéostats d'excitation (*fig.* 104) ont leurs résistances enfermées dans une boîte en tôle largement perforée afin d'assurer une bonne ventilation.

Les rhéostats de démarrage pour moteurs comportent un dispositif de sécurité, dit « à minimum », qui interrompt automatiquement le circuit dans le cas où le courant d'alimentation viendrait à manquer et aussi lorsque l'excitation manque.

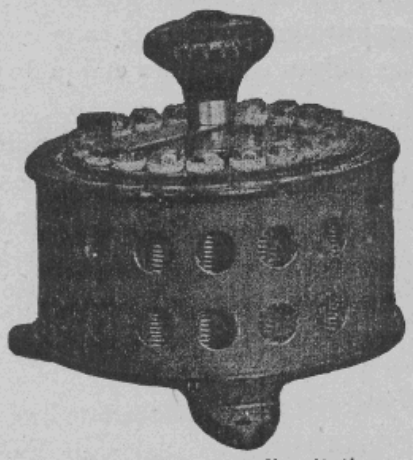


FIG. 104. — Rhéostat d'excitation Westinghouse.

Rhéostats de la Société industrielle des Téléphones de Paris. — Plusieurs modèles de rhéostats d'excitation à ailettes figuraient à l'Exposition.

Des rhéostats de démarrage pour moteurs, étudiés par Georges Ellison, étaient en service, notamment plusieurs démarreurs, du type dit « Simple », à maximum et à minimum, dans le stand de la maison Marinoni; des démarreurs du type ordinaire dans le stand de la maison Piat; enfin un démarreur à maximum et à minimum dans le stand de la Société Beer de Jemmeppe-lès-Meuse.

Rhéostats Cance et fils de Paris. — MM. Cance et fils avaient exposé divers modèles de rhéostats de leur fabrication : des rhéostats à curseur isolé, à curseur ordinaire, à vis et à manivelle, à crémaillère et à mouvement hélicoïdal.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Rhéostats de démarrage de la Société Gramme. — Les rhéostats de démarrage pour moteurs à courant continu comportent un dispositif spécial de sûreté grâce auquel, en cas de rupture accidentelle du courant d'excitation, la manette revient au point mort et prévient ainsi tout emballement du moteur. Indépendamment de ce dispositif, ces rhéostats peuvent être munis d'un électro-aimant à maximum qui produit automatiquement le déclenchement lorsque l'intensité dépasse une certaine valeur déterminée.

Ces rhéostats comportent une série de 10 modèles allant jusqu'à celui destiné aux moteurs de 250 chevaux de puissance.

Les rhéostats de démarrage pour moteurs à courant alternatif monophasé comportent une résistance insérée dans le circuit du rotor, ainsi qu'une bobine de self intercalée dans la phase auxiliaire. Lorsque le moteur a atteint sa vitesse normale, on supprime progressivement la résistance et l'on retire ensuite la phase auxiliaire et la bobine de self.

Pour les moteurs comportant un induit en court-circuit, le rhéostat est de construction analogue au précédent. Les moteurs triphasés démarrent en introduisant dans le rotor une résistance appropriée : métallique pour les faibles puissances et liquide pour les moteurs à partir de 20 chevaux.

Rhéostats de la Compagnie internationale d'électricité de Liège. — Cette Société exposait plusieurs modèles de rhéostats de démarrage et, entre autres, des démarreurs automatiques composés de résistances mises en circuit ou hors circuit par une série de commutateurs automatiques commandés par des enroulements que le moteur met lui-même en action.

INTERRUPTEURS

Interrupteurs à rupture dans l'huile de la Société Westinghouse. — Ces interrupteurs sont établis pour des tensions allant jusqu'à 22 000 volts.

Les particularités que présentent ces interrupteurs sont les suivantes :

a) Les couteaux de contact sont immergés dans l'huile ;

b) Les pôles contigus sont fortement isolés l'un de l'autre ;

c) Le bâti est soigneusement isolé de toute partie conductrice ;

d) L'encombrement est très restreint ;

e) Les couteaux permettent d'obtenir un excellent contact et l'échauffement minimum ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

f) La rupture de l'arc se produit sur une pièce spéciale fixée sur chaque mâchoire et facile à remplacer ;

g) Des cloisons en matière isolante séparent les pôles afin d'éviter tout court-circuit et le tout est enfermé dans un réservoir en tôle doublé de matière isolante ;

h) Les conducteurs arrivent directement à la partie supérieure de l'appareil et les connexions sont établies à l'intérieur.

Il se construit trois types différents de ces interrupteurs :

Le type D convient pour des tensions ne dépassant pas 3 300 volts. Il se construit à une ou à deux directions, bipolaire, tripolaire ou tétrapolaire. Il convient particulièrement pour les installations de moteurs, car il peut être monté à proximité de ceux-ci sur un support convenable.

Il est établi pour une puissance maximum de 600 kw en alternatif simple et 1 000 kw en triphasé.

Le type A convient pour des tensions ne dépassant pas 6 600 volts. On en construit de bipolaires et de tripolaires, à une ou à deux directions. Il est établi pour une puissance maximum de 3 500 kw en alternatif simple ou de 6 000 kw en triphasé. Comme le type précédent, cet appareil est constitué par des mâchoires dans lesquelles viennent se placer des couteaux, le tout étant plongé dans l'huile.

Le type B est établi pour des tensions comprises entre 6 600 et 22 000 volts. Il est bipolaire, tripolaire ou tétrapolaire, à une direction et à rupture double.

La construction de ce modèle d'interrupteur est identique à celle du disjoncteur automatique à rupture automatique Westinghouse qui va être décrit. Il n'en diffère que par le dispositif de déclenchement, qui n'est pas automatique.

Interrupteurs de la Compagnie internationale d'électricité de Liège. — Cette Société exposait différents modèles d'interrupteurs pour haute et pour basse tension.

Interrupteurs de la Société industrielle des Téléphones de Paris. — Des interrupteurs pour haute tension, à rupture dans l'huile, du type dit simple et à bac unique, figuraient sur le tableau de distribution installé par cette Société pour le service de la section française, ainsi que sur le tableau de distribution de la Compagnie internationale d'électricité de Liège, dans la section belge.

Cette Société avait également exposé d'autres modèles d'interrupteurs pour haute tension, à rupture dans l'huile, avec bacs séparés pour chaque phase, ainsi que le modèle d'interrupteur sous coffret adopté par les secteurs parisiens.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Interrupteurs de la Manufacture parisienne d'appareillage électrique. — Cette maison avait exposé un interrupteur à disque de 200 ampères et un interrupteur à balai de 250 ampères.

Interrupteurs et commutateurs de la Société Gramme. — Ces appareils sont du type à couteaux et à rupture brusque. Soigneusement étudiés, tant au point de vue électrique qu'au point de vue mécanique, il ne se produit pas d'échauffement même avec des courants ayant l'intensité maximum. Ils se construisent pour toutes intensités comprises entre 25 et 1 000 ampères et au-dessus.

Interrupteurs et commutateurs de la Société d'appareillage électrique Grivolas. — Cette Société avait exposé de nombreux modèles d'interrupteurs et de commutateurs à rupture brusque, soit à balais, soit à couteau et à levier pour basse tension, ainsi qu'une série d'interrupteurs de tableau pour hautes tensions jusqu'à 10 000 volts et d'interrupteurs pour lignes aériennes, montés sur isolateurs.

INVERSEURS

Inverseurs de la Manufacture parisienne d'appareillage électrique. — Plusieurs appareils de ce genre figuraient à l'Exposition, parmi lesquels on peut citer un inverseur bipolaire à balai de 250 ampères, un inverseur tripolaire à couteau de 400 ampères, un inverseur bipolaire à couteau et à rupture brusque de 300 ampères et enfin un inverseur bipolaire à rupture brusque de 20 ampères, pour une tension de 500 volts.

DISJONCTEURS AUTOMATIQUES

Disjoncteurs de la Société Westinghouse. — La Société Westinghouse construit un type de disjoncteur automatique à balais, pour courant continu ou pour courants alternatifs, pour des tensions allant jusqu'à 750 volts et pour des intensités de 200 à 3 000 ampères.

Les disjoncteurs de ce modèle sont d'une construction très robuste et très simple et présentent une disposition rationnelle des organes. Les contacts pour le passage du courant et les points sur lesquels se produit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la rupture des arcs sont bien en vue, ce qui permet de voir constamment dans quel état ils se trouvent.

Les balais sont formés de minces feuilles de cuivre laminé et les bras portant les balais sont placés à la partie supérieure ; la rupture du circuit se produit sur des blocs de charbon complètement séparés des parties métalliques.

La longueur d'ouverture de l'interrupteur est proportionnelle à la tension pour laquelle l'appareil a été établi. La disposition même du disjoncteur facilite la tendance naturelle de l'arc à monter et permet d'éviter toute chance de communication avec les parties basses de l'appareil situées au-dessous des charbons.

Les contacts en cuivre par lesquels passe le courant, lorsque le disjoncteur est fermé, sont les premiers sur lesquels se produit la rupture. L'augmentation progressive de la résistance des balais en cuivre, à mesure qu'ils s'éloignent des contacts, oblige le courant à passer graduellement par les charbons sur lesquels se produit la rupture du circuit.

Les balais, en feuilles de cuivre laminé, sont disposés pour que ces feuilles viennent toutes en contact, avec une certaine pression, sur la partie correspondante du contact fixe, également en cuivre. Cette pression est obtenue par des leviers de mouvement à sonnette, ce qui présente l'avantage de faciliter l'ouverture du disjoncteur, au moment du déclenchement, tandis que, dans les appareils où existe un frottement entre les contacts et les mâchoires, il y a toujours une certaine résistance mécanique à vaincre.

Ces disjoncteurs peuvent être réglés dans des limites variant entre 20 0/0 au-dessous et 50 0/0 au-dessus de l'intensité normale pour laquelle ils ont été établis.

L'élévation de température au-dessus de la température ambiante, lorsqu'ils sont parcourus par un courant d'intensité normale, ne dépasse pas 20°. Ils déclenchent sûrement dès qu'il se produit sur la ligne une surcharge ou un court-circuit.

Ces disjoncteurs à balais se construisent unipolaires, bipolaires, tripolaires ou tétrapolaires ; chacun des pôles est muni d'un électro de déclenchement pouvant fonctionner indépendamment des autres. Un mécanisme commun à tous les pôles permet de produire l'enclenchement et le déclenchement simultanés. Des cloisons en marbre sont disposées entre chaque pôle, afin d'empêcher toute formation d'arc entre eux.

La Société Westinghouse construit un autre type de disjoncteur automatique, dit à mâchoires, pour des tensions allant jusqu'à 750 volts et pour des intensités depuis 15 ampères jusqu'à 1 000 ampères. Les limites

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de réglage varient, comme pour le type précédent, depuis 20 0/0 au-dessous jusqu'à 50 0/0 au-dessus de la valeur de l'intensité normale.

Les couteaux sont ajustés très soigneusement dans les mâchoires, afin de réduire les frottements au minimum lorsque, au moment du déclenchement, le disjoncteur doit revenir en arrière.

Pour des tensions allant de 3 300 à 22 000 volts, la Société Westinghouse construit des disjoncteurs automatiques à rupture dans l'huile.

Ces appareils bipolaires, tripolaires ou tétrapolaires sont à une direction et à rupture double. Ils sont établis pour une puissance maximum de 5000 kw en courant alternatif simple et de 8 500 kw en courants triphasés.

Ce disjoncteur automatique est caractérisé par les dispositions spéciales suivantes : toutes les parties métalliques nues sont immergées dans l'huile ; l'interrupteur ne peut rester fermé lorsqu'un court-circuit existe sur la ligne, le disjoncteur étant maintenu ouvert, après le déclenchement, par l'action de la pesanteur ; les contacts sont facilement accessibles.

A chacun des pôles de l'appareil est affecté un réservoir à huile dans lequel plongent les contacts métalliques et chacun de ces réservoirs est indépendant du voisin. Ces réservoirs sont garnis intérieurement d'une couche de matière isolante qui permet de réduire au minimum la quantité d'huile à employer, prévient la formation d'un arc à travers l'huile et laisse néanmoins parfaitement libre le déplacement des organes mobiles. Chaque réservoir peut être enlevé et replacé sans toucher aux autres.

Ce disjoncteur automatique fonctionne pour une série de valeurs du courant variant depuis 70 jusqu'à 150 0/0 de l'intensité normale. Une vis de réglage, placée à la partie inférieure de l'électro-aimant, sert à fixer le point de déclenchement pour la valeur voulue de l'intensité. L'électro-aimant est actionné par le courant secondaire d'un transformateur série intercalé dans le circuit principal ; on évite ainsi l'emploi d'un courant à haute tension sur l'avant du panneau qui porte le disjoncteur. En effet, lorsque le disjoncteur est monté sur un tableau, le levier de commande et le mécanisme de déclenchement automatique sont disposés sur l'avant, tandis que les pièces de contact, les réservoirs d'huile et le bâti en fer sont placés à l'arrière.

Cet appareil présente le grand avantage de ne pouvoir rester fermé, même en l'actionnant à la main, lorsqu'une surcharge excessive ou un court-circuit se produit sur la ligne. Cette condition de sécurité est obtenue au moyen de deux leviers, l'un glissant à l'extérieur de l'autre ; au levier extérieur est fixé le levier de commande et le levier intérieur est relié au mécanisme du disjoncteur. Dans les conditions normales, les deux leviers se déplacent ensemble, grâce à une came qui les ac-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

croche, came actionnée directement par l'électro-aimant de déclenchement. En cas de surcharge ou de court-circuit, le noyau de l'électro-aimant attire la came, ce qui permet au levier intérieur de se relever et, par suite, le circuit est ouvert. Il faut que le levier de commande soit préalablement relevé pour que l'appareil puisse de nouveau fermer le circuit.

On peut aussi déclencher le disjoncteur à la main, soit en appuyant sur un bouton placé à l'extrémité du levier de commande, soit en repoussant le noyau de l'électro de déclenchement.

Lorsque le disjoncteur est installé ailleurs que sur un tableau, l'électro-aimant et les leviers sont toutefois montés sur ce tableau et l'interrupteur est actionné à distance à l'aide de tringles et de leviers.

Disjoncteur de la Société industrielle des Téléphones de Paris. — Indépendamment des disjoncteurs placés sur le tableau de distribution à haute tension installé dans la section française, la Société industrielle avait placé un disjoncteur du même type, c'est-à-dire à haute tension avec retardateurs, sur le tableau de la Société du Phœnix de Gand.

Des disjoncteurs à basse tension étaient également en service sur le tableau général de la section belge, dans la partie construite par la Société de constructions électriques de Charleroi.

Disjoncteur de la Manufacture parisienne d'appareillage électrique. — Comme spécimen de ce genre d'appareils, cette maison avait exposé un disjoncteur à balai de 300 ampères.

Disjoncteurs de la Société Gramme. — Cette Société avait exposé une série de disjoncteurs pour courant continu et pour courants alternatifs de 25 à 5000 ampères et pour des tensions atteignant jusqu'à 1000 volts. Ces appareils sont caractérisés par l'adjonction d'un levier de sûreté empêchant toute fausse manœuvre et la fermeture du circuit, tant que la cause qui a provoqué le déclenchement subsiste. Entre autres particularités, il convient de signaler l'emploi d'un seul plot de contact, de deux bras servant de conducteurs et d'une connexion souple servant de contact mobile.

Ces disjoncteurs sont à minimum ou bien à maximum et à minimum, soit encore à minimum polarisé.

Disjoncteurs de la Société d'appareillage électrique Grivolas. — Cette Société avait exposé les principaux types de disjoncteurs automatiques à minimum pour installations d'accumulateurs, ainsi que des disjoncteurs automatiques à maximum et à minimum pour tableaux de distribution.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RÉDUCTEURS

Réducteurs de la Manufacture parisienne d'appareillage électrique. — Parmi les appareils exposés par cette maison figurait un réducteur double de 175 ampères pour batterie d'accumulateurs. Cet appareil bien connu est caractérisé simplement par sa solidité, sa simplicité et le soin apporté à sa construction.

Réducteurs de la Société Gramme. — Les modèles courants sont au nombre de quatre pour des intensités comprises entre 25 et 150 ampères et comportent 9 ou 10 plots montés sur marbre. Ils sont disposés pour éviter tout court-circuit lorsque l'on passe d'un plot à l'autre, sans pour cela interrompre le courant.

Réducteurs de la Société d'appareillage Grivolas. — Les réducteurs construits par cette Société sont du modèle ordinaire avec résistance intercalée dans les frotteurs et comportent soit des plots simples, soit des plots multiples, c'est-à-dire des plots morts intercalés entre les plots actifs. A signaler également les réducteurs commandés par un volant, à l'aide d'une vis sans fin.

COUPE-CIRCUIT

Coupe-circuit à haute tension de la Société industrielle des Téléphones. — Ces coupe-circuit avaient été mis en service dans les postes de transformation de la section française ainsi que dans le stand de la Société Gramme.

Fusibles cuirassés Belliol et Reiss. — Ce coupe-circuit fusible consiste en un tube de fibre dans lequel passe le fil fusible noyé dans de la poudre d'amiante. A chacune des extrémités de ce tube est disposée une douille fixe, percée en son centre d'une ouverture par où sort le fil fusible qui est alors enroulé à plat sur lui-même. Une douille métallique mobile, fixée à l'aide d'un dispositif à baïonnette, contient un ressort en boudin appuyant d'une part sur le fond de la douille et, d'autre part, sur un petit disque mobile métallique qui, sous l'action du ressort, assure un bon contact électrique avec l'extrémité du fusible enroulé à plat. Le circuit à protéger est relié à deux mâchoires à ressort entre lesquelles vient se placer le coupe-circuit fusible proprement dit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Coupe-circuit de la Société d'appareillage électrique Grivolas. — Cette Société avait exposé de nombreux modèles de coupe-circuit pour basse tension à fil fusible ordinaire pris entre deux bornes; à fusible supporté par une barrette mobile permettant ainsi de remplacer facilement et rapidement un fil fondu, et enfin à fil fusible enfermé dans un bouchon à vis.

Parmi les modèles de coupe-circuit pour courants de haute tension, il convient de signaler le coupe-circuit unipolaire, à barrette mobile et dans lequel le fil fusible est enfermé dans un tube de verre à renflements.

PARAFOUDRES

Parafoudres Westinghouse. — Les parafoudres pour installations à courant continu reposent sur les principes suivants :

1° Une décharge atmosphérique passe plus facilement sur un diélectrique, tel que le verre ou le bois, qu'elle ne traverse une couche d'air de même épaisseur;

2° La décharge passe plus facilement encore si un trait de crayon ou de charbon a été tracé sur le diélectrique et elle suit alors ce chemin;

3° L'arc produit par le courant d'une dynamo ne se maintient qu'en présence de fumées ou de vapeurs métalliques pouvant provenir des électrodes d'un parafoudre; mais cet arc ne se produit pas si l'on empêche la formation de ces fumées ou vapeurs métalliques.

Tous les parafoudres pour installations à courant continu, construits par la Société Westinghouse, sont semblables quant à la construction et à leurs dispositions; ils ne diffèrent entre eux que par quelques détails, suivant qu'ils doivent être installés à l'intérieur ou à l'extérieur et aussi suivant la tension du courant.

Ces parafoudres unipolaires sont constitués par deux électrodes métalliques montées sur une tablette en bois de gaïac, sur la surface de laquelle des rainures carbonisées facilitent le passage de la décharge; une seconde tablette, en bois de gaïac, ajustée sur la première, recouvre complètement les rainures et les électrodes.

La décharge atmosphérique passe facilement d'une électrode à l'autre en suivant les rainures carbonisées qui assurent un bon passage à travers la couche d'air.

La résistance entre les électrodes dépasse 50000 ohms, ce qui rend impossible toute perte de courant. Comme aucune vapeur ne peut se produire entre les deux tablettes, l'arc ne peut se maintenir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les divers types de parafoudres de ce système sont les suivants :

Type I, destiné aux circuits à courant continu jusqu'à 4000 volts. Il est monté sur socle en marbre et s'installe à l'intérieur des bâtiments;

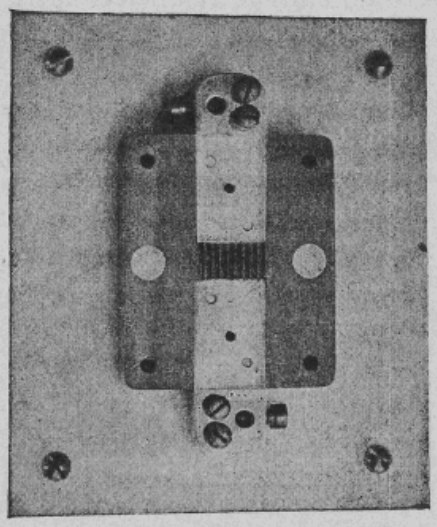


Fig. 105.
Parafoudre Westinghouse, type K.

Type J, semblable au précédent, mais destiné au service des lignes; par suite, il est enfermé dans un coffret en fonte;

Type K (*fig.* 105), destiné à une usine utilisant du courant continu de 125 à 700 volts;

Type L, construit sur les mêmes principes que le type K, mais enfermé dans une caisse en fonte où l'humidité ne peut pénétrer; cette caisse est isolée du parafoudre, de la terre et de toutes connexions. Destiné aux voitures de tramways et aux lignes.

Les parafoudres Westinghouse pour installations à courants alternatifs sont fondés sur ce principe, découvert par M. A.-J. Wurts, que le courant alternatif ne peut se maintenir dans une série d'espaces d'air convenablement choisis, si les électrodes sont en métal anti-arc.

Ces espaces d'air ont l'avantage de présenter à la décharge atmosphérique un passage libre vers la terre. Ce parafoudre comporte, dans le type A (*fig.* 106), sept cylindres en métal anti-arc, placés les uns à côté des autres et séparés par un petit espace d'air; ils sont montés sur marbre et leur surface rugueuse présente une infinité de points facilitant la décharge. Les connexions aboutissent aux deux cylindres extrêmes et à celui du milieu. Ce parafoudre bipolaire, établi pour des tensions de 1000 à 1250 volts convient pour les stations centrales. Lorsque la tension est comprise entre 1250 et 2500 volts, il suffit de monter deux parafoudres en série.

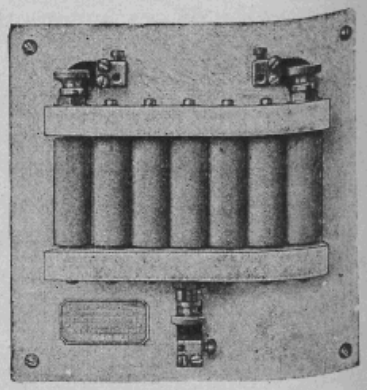


Fig. 106.
Parafoudre Westinghouse, type A.

Le type C est semblable au type A, mais les cylindres sont un peu plus petits et placés sur des supports en porcelaine; le tout est enfermé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans une caisse en fonte bien étanche, fixée sur une paroi verticale.

Pour les hautes tensions de 2500 à 25000 volts, la Société Westinghouse a construit un type de parafoudre spécial, dans le but de protéger efficacement les machines contre toute décharge atmosphérique se produisant sur des circuits à haute tension et éviter ainsi, si l'installation est bien faite, toute formation d'arc.

Comme on le voit sur la figure 107, ce parafoudre comporte les trois parties suivantes :

1° Un certain nombre d'éléments semblables à ceux qui constituent les parafoudres type C et formant ce que l'on désigne sous le nom d'*espaces-série* E ;

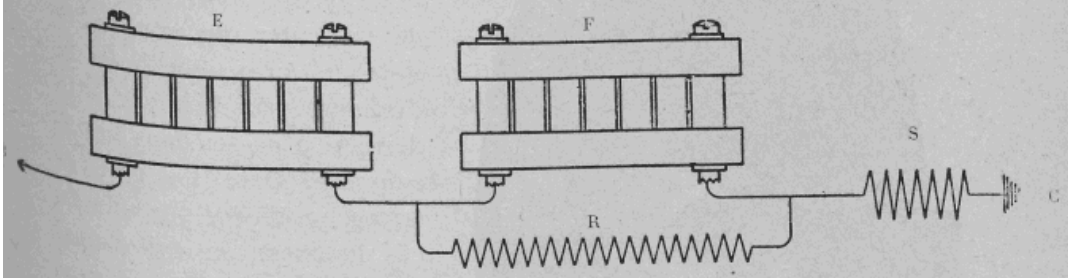


Fig. 107. — Parafoudre Westinghouse pour hautes tensions.

2° Une résistance spéciale en dérivation R sur une autre série d'espaces d'air semblables aux premiers F et appelés *espaces-shunt ;*

3° Une résistance spéciale S en série, intercalée entre la ligne B et la terre C.

Le fonctionnement de ce parafoudre est le suivant : au moment où se produit une décharge atmosphérique, la tension augmente et le courant franchit les espaces-série ; si cette décharge est assez considérable, elle trouve une grande résistance dans la dérivation R et passe dans les espaces-shunt ainsi que dans la résistance S en série avec la terre C.

L'arc consécutif à la décharge est alors rejeté, par la résistance R, vers les espaces-shunt et, une fois la décharge terminée, l'arc est éteint dans les espaces-série, qui agissent en même temps que les deux résistances R et S.

Les espaces-série sont calculés pour pouvoir supporter la tension normale du circuit avec un excès suffisant pour le cas où une terre se produirait sur la ligne.

Ce sont les espaces-shunt qui offrent une issue à la décharge atmosphérique, par suite de la trop grande résistance de R. Cette résistance en dérivation a pour effet de supprimer l'arc dans les espaces-shunt après le passage de la décharge et aussi de réduire l'intensité de cet arc pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que les espaces-série puissent l'éteindre complètement. La résistance en série S, qui doit être aussi peu inductive que possible, sert à limiter la valeur du courant qui tend à suivre la décharge atmosphérique et protège ainsi les cylindres métalliques contre tout échauffement excessif.

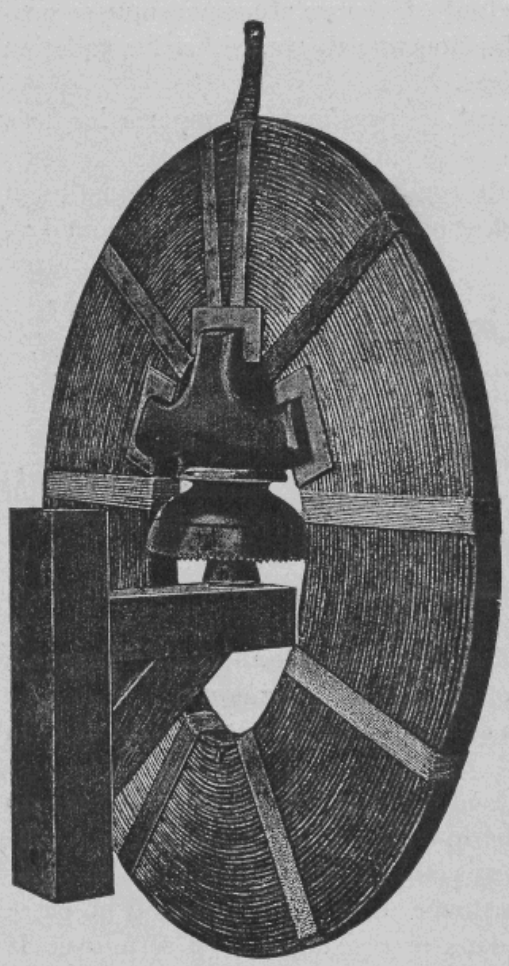


FIG. 108.

Indépendamment du parafoudre et afin d'augmenter la protection contre les décharges atmosphériques, on utilise des bobines d'induction (*fig.* 108), dont le rôle est de présenter une grande résistance au passage de la décharge, afin d'obliger cette dernière à passer dans le parafoudre. Dans les génératrices, protégées par une de ces bobines, on évite ainsi tout court-circuit pouvant provenir d'une surtension à la suite d'une décharge atmosphérique.

On sait que toute décharge atmosphérique produit dans les conducteurs de très grandes variations de tension; si la décharge traverse une bobine d'induction, la tension de cette décharge est réduite et devient inoffensive si la bobine a des dimensions et un coefficient de self convenables. On comprend très bien que la bobine doive être parfaitement isolée, puisqu'elle supporte la totalité de la décharge. De plus, il est nécessaire que la bobine ne s'échauffe ni ne cause de résistance inductive dans le circuit, tout en assurant une parfaite protection.

Les qualités exigées d'une semblable bobine sont en quelque sorte contradictoires, mais les bobines Westinghouse ont été disposées pour réaliser les conditions nécessaires.

Ces bobines sont formées d'un nombre de tours de ruban de cuivre, nombre variable d'après la tension normale du circuit; l'isolement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est particulièrement soigné et le refroidissement est obtenu par l'air. Elles sont disposées de manière à pouvoir être installées sur une paroi verticale. Il faut placer une bobine sur chaque conducteur de ligne, entre le parafoudre et la machine ou appareil à protéger. En général, la bobine est installée à côté du parafoudre, surtout pour les circuits à basses et moyennes tensions ; en ce qui concerne la protection des génératrices à haute tension, il est préférable de placer la bobine d'induction entre la machine et les interrupteurs, car la manœuvre de ces derniers a souvent pour effet de produire des surtensions.

Les bobines d'induction doivent être montées de manière à assurer une bonne ventilation ; elles doivent aussi être assez éloignées de tout appareil pouvant donner naissance à des étincelles au moment de la décharge.

Ces bobines sont établies pour toutes tensions comprises entre 2 500 et 25 000 volts et pour des intensités depuis 7 jusqu'à 260 ampères.

Parafoudre G. Gola. — Ce parafoudre, exposé par MM. A. et L. Parvillée, de Paris, est constitué de la manière suivante :

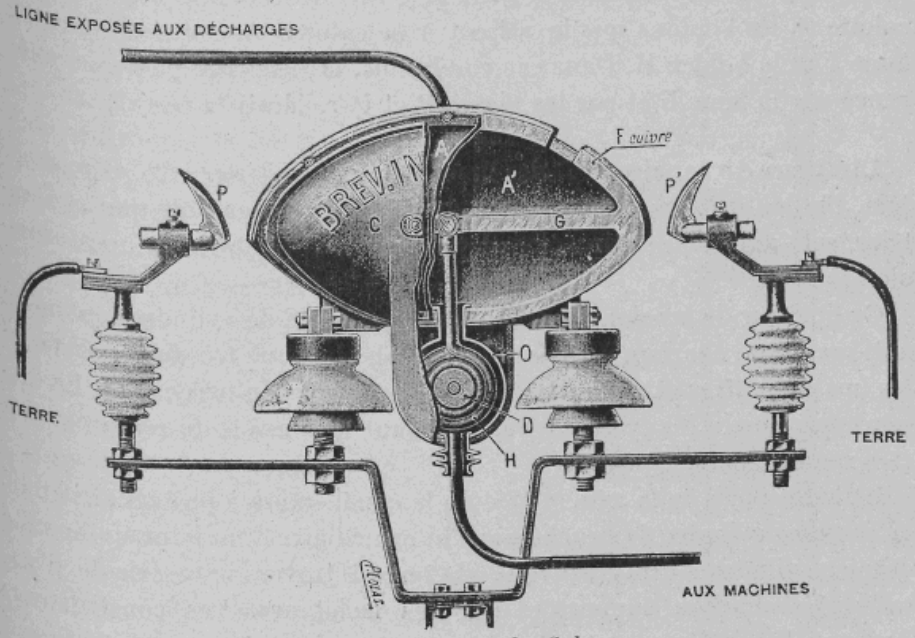


FIG. 109. — Parafoudre Gola.

Deux calottes A et A', en fonte (*fig.* 109) sont reliées entre elles à l'aide de petits boulons en bronze ; une lame en bronze F, évidée à l'intérieur, sépare les deux calottes A et A' et, les dépassant sur les bords, présente un rebord taillé en biseau. Cet ensemble constitue un corps creux de forme ovoïde. La lame de bronze est munie à l'intérieur d'une tra-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

verse horizontale G. Deux autres calottes C et C', en métal magnétique, entourent le corps creux en laissant un intervalle vide de 1 cm environ; ces calottes sont reliées électriquement aux calottes intérieures A et A' par l'intermédiaire de boulons de bronze. Les deux calottes C, C' sont réunies entre elles, à la partie inférieure, par un noyau de fer doux D autour duquel est enroulé un fil isolé formant une bobine H enfermée dans un boîtier en laiton O. Une des extrémités de cette bobine pénètre à l'intérieur du corps creux et est reliée à la traverse G; l'autre extrémité sort du parafoudre, monté en série sur la ligne, et se relie à la section de cette dernière qu'il s'agit de protéger. La section de ligne arrivant au parafoudre se relie à l'une des calottes extérieures C'.

L'ensemble est porté par un support en fer, à l'aide d'isolateurs en porcelaine. Deux pièces de charbon P et P', en forme de cornes, sont disposées en regard des extrémités opposées de la lame de bronze F et servent à éteindre l'arc de décharge qui éclate entre F et P ou P'.

Le fonctionnement de ce parafoudre est le suivant : lorsqu'une décharge de haute fréquence et oscillante arrive, il faudrait, pour qu'elle puisse atteindre la machine à protéger, qu'elle traverse une première calotte C, les boulons qui la relient à la calotte A, cette dernière, la lame F et la bobice H. Dans ces conditions, la décharge passe de préférence par la lame F et par les pièces P et P' reliées à la terre.

Limiteur de tension « Delta ». — Cet appareil (*fig.* 110), exposé par MM. Belliol et Reiss, de Paris, est destiné à protéger soit une génératrice, soit une canalisation électrique contre les effets dus à une surtension fortuite.

Ce limiteur de tension se compose d'une série de cylindres en métal anti-arc ou en charbon à surface striée, placés à une très faible distance les uns des autres et supportés par des isolateurs en porcelaine. La distance qui sépare les cylindres varie suivant la tension du réseau et doit être réglée en conséquence.

L'un des pôles de la génératrice ou la canalisation à protéger est relié au premier cylindre de gauche par l'intermédiaire d'un interrupteur. Le dernier cylindre à droite est relié à la terre à travers une série de résistances en charbon supportées par des isolateurs. Les constructeurs donnent la préférence aux résistances en charbon, car ils estiment qu'elles présentent plus de garanties au point de vue de la sécurité et de la précision que les résistances liquides.

Le nombre de cylindres constituant un limiteur de tension est déterminé d'après la tension normale du réseau de distribution et est telle qu'aucune étincelle ne peut éclater entre deux cylindres consécutifs, lorsque la valeur de cette tension normale n'est pas dépassée d'une quan-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lité déterminée à l'avance. Généralement l'appareil est construit et réglé pour que des séries d'étincelles se produisent entre les cylindres, établissant ainsi automatiquement une communication avec la terre, dès que la surtension dépasse, en général, de 30 à 50 0/0 la tension normale.

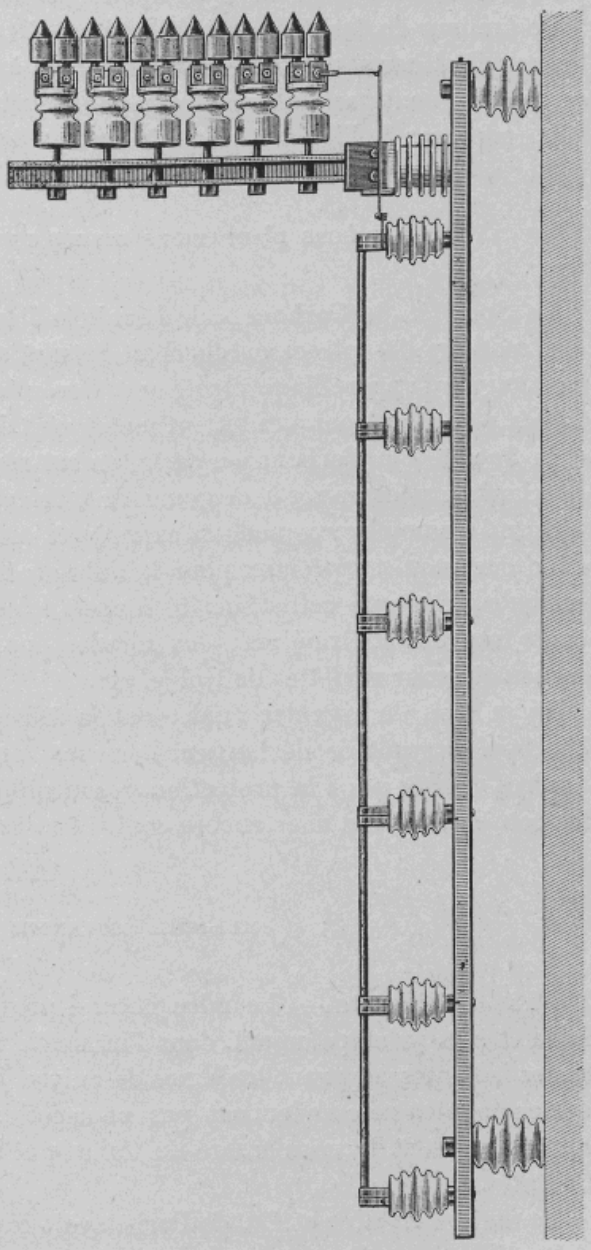


Fig. 110. — Limitateur de tension Delta.

Les pointes dont sont munis à leur partie supérieure les cylindres de l'appareil produisent le soufflage de l'arc.

Les particularités que présentent cet appareil sont les suivantes :

1° Chaque cylindre est mobile sur son axe vertical, ce qui permet de le tourner afin d'utiliser une autre partie de sa surface, pour remplacer celle qui a été détériorée par les étincelles; on peut ainsi utiliser successivement la totalité de cette surface;

2° Les cylindres s'enlèvent et se remplacent instantanément sans modifier le réglage de l'appareil;

3° Ce limitateur de tension réalise toutes les conditions que l'on exige des déchargeurs à ruptures multiples. En effet, les cylindres étant montés par paires sur un isolateur spécial en porcelaine pouvant pivoter sur son axe, il est facile de faire varier d'une petite quantité la distance qui sépare chaque paire de cylindres des paires voisines, évitant ainsi l'obli-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gation d'effectuer le réglage sur un seul cylindre. De plus, le degré de sécurité obtenu avec cet appareil peut être augmenté par un réglage précis variant suivant l'état hygrométrique de l'atmosphère.

Ce limiteur de tension convient tout particulièrement pour protéger les canalisations souterraines sur lesquelles, à cause de leur capacité, les surtensions sont parfois assez fréquentes, surtensions qui donnent lieu à des ruptures de l'isolant du câble comme le ferait un coup de foudre.

PIÈCES D'APPAREILS DIVERS EN CHARBON

La Société « le Carbone » de Levallois-Perret, près Paris, exposait des modèles des pièces en charbon entrant aujourd'hui dans la construction de l'appareillage électrique. Ces pièces doivent être de véritables pièces mécaniques et présenter certaines propriétés spéciales, et la Société « le Carbone » a parfaitement réussi à obtenir les qualités de charbon nécessaires à ce genre de fabrication.

Parmi les nombreux modèles exposés, il convient particulièrement de citer des moules spéciaux pour la cuisson des filaments de lampes à incandescence que cette Société fournit à un grand nombre de fabricants français et étrangers; des moules pour la coulée du verre; des coussinets pour roulettes de troley, etc.

Il y a lieu de signaler également la fabrication des résistances en charbon, servant de déchargeur dans les circuits de terre des parafoudres utilisés pour la protection des machines non seulement contre les coups de foudre, mais encore contre les surtensions accidentelles.

MATIÈRES ISOLANTES

Mica et micanite. — Le mica naturel provient des Indes et du Canada et sert principalement, dans l'industrie électrique, à fabriquer les lames isolantes séparant les lames de cuivre des collecteurs. Toutes les sortes de mica ne conviennent pas pour cet usage et les sortes les plus appréciées sont le mica ambré du Canada et le mica blanc tendre de Calcutta.

La maison Avtsine et Cie, de Paris, avait exposé dans ses vitrines des échantillons des diverses variétés de mica, ainsi que divers modèles de pièces en mica façonné et en micanite.

La micanite est un aggloméré de mica, obtenu en dédoublant en feuilles excessivement minces de petits blocs de mica blanc. Ces feuilles sont collées bout à bout et superposées en autant de couches que l'exige

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'épaisseur à obtenir. Cet aggloméré est ensuite placé dans une étuve où il perd l'humidité provenant du collage et enfin comprimé à la presse hydraulique. On obtient ainsi une matière isolante très homogène, souple et se prêtant, sous l'action d'une chaleur modérée, à toutes les opérations de fabrication. La micanite s'utilise sous forme de feuilles, de lames, de cônes, de rondelles, de tubes, de bobines, etc.

La toile et le papier *micatés* constituent des isolants très flexibles ; le papier micaté est utilisé avec avantage pour isoler les bobines du circuit secondaire des transformateurs.

Papiers et toiles isolantes. — MM. Avtsine et Cie avaient également exposé un papier enduit de vernis isolant servant à isoler les enroulements dans les encoches d'induits de dynamos ainsi qu'à isoler extérieurement toutes bobines.

La toile isolante du même fabricant se compose d'un tissu très fin et très serré enduit, par un procédé spécial, d'une composition isolante dont la base est l'huile de lin cuite. Cette toile, sous une seule épaisseur, résiste à une tension de 5 000 volts et présente une grande solidité en même temps qu'une grande souplesse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QUATRIÈME PARTIE

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

CHAPITRE I

MOTEURS A COURANT CONTINU

Moteurs cuirassés de la Société des ateliers de Charleroi. — Ces moteurs ont été établis pour la commande des ponts roulants, cabestans, treuils, grues, transbordeurs, etc., et sont de construction analogue à celle des moteurs de traction.

La carcasse inductrice est en acier doux, coulée en deux pièces assemblées suivant un plan horizontal passant par l'axe de l'induit. Ces deux parties sont réunies de chaque côté par une charnière, permettant ainsi d'ouvrir le moteur d'un côté ou de l'autre pour visiter ou enlever l'induit si nécessaire. La partie inférieure de la carcasse est munie de pieds, venus de fonte, servant à fixer le moteur sur la machine qu'il doit commander.

L'ensemble de la carcasse enveloppe complètement les bobines inductrices, l'induit, le collecteur et les balais, mettant ainsi tous ces organes à l'abri de l'humidité et de la poussière. Une ouverture, pratiquée à la partie supérieure de la carcasse, au-dessus du collecteur, permet d'examiner facilement ce dernier, ainsi que de remplacer rapidement les balais.

L'inducteur comporte quatre noyaux polaires feuilletés, fixés à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

carcasse à l'aide de boulons ; la bobine inductrice est maintenue par un épanouissement polaire.

L'induit a un noyau, formé de disques de tôle isolés, directement claveté sur l'arbre et muni d'encoches rectangulaires dans lesquelles sont logés les conducteurs d'un enroulement en tambour parallèle ; ces conducteurs sont maintenus par des cales et par des frettes en fil de bronze.

Le collecteur est composé d'un grand nombre de lames, afin d'assurer une bonne commutation sans étincelles. Les balais en charbon, au nombre de trois par rangée, sont maintenus dans des porte-balais fixés rigidement dans une pièce isolante boulonnée sur la demi-carcasse supérieure.

Les coussinets sont en fonte garnie de métal blanc ; le graissage est assuré par des bagues.

Ces moteurs se construisent pour différentes puissances depuis 2,25 jusqu'à 60 chevaux.

Pour la commande des appareils actionnés par ces moteurs, les ateliers de Charleroi ont établi une série de coupleurs, à soufflage magnétique, destinés à des moteurs série, shunt ou compound. Ces coupleurs sont de deux types, à un sens de marche ou à deux sens de marche ; ils peuvent être munis de contacts pour frein rhéostatique ou pour frein magnétique. Les résistances peuvent être placées soit sur le bâti du coupleur, soit séparées. Un index fixé à la manette indique, pour chaque cran, le couplage réalisé par l'appareil. Le soufflage magnétique est assuré par une bobine placée sur un noyau venu de fonte avec la caisse du coupleur ; cette bobine est parcourue par le courant principal du moteur.

Moteurs de la Société anonyme Westinghouse. — Les moteurs à courant continu, multipolaires, construits par cette Société, étaient représentés à l'Exposition par les types de 3 1/2, 15 et 50 chevaux, fonctionnant sous une tension de 220 et de 550 volts.

La carcasse circulaire de l'inducteur est en acier coulé d'une seule pièce et porte quatre pattes permettant de fixer le moteur à l'aide de boulons. Cette carcasse, alésée sur ses bords, porte deux flasques formant croisillons et servant également de porte-paliers. Cette disposition assure un centrage parfait de l'induit.

Les quatre pôles ont un noyau constitué par des paquets de tôles découpées et assemblées, pris dans la carcasse au moment de la coulée. L'emploi de noyaux feuilletés permet de réduire les pertes dans le fer et assure en même temps une bonne commutation.

Dans les moteurs en dérivation, la bobine inductrice de chaque noyau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

polaire est enroulée séparément sur gabarit et maintenue en place par des cales. Dans les moteurs compound, les bobines shunt et en série sont construites séparément et montées l'une à côté de l'autre sur le noyau ; on peut les enlever isolément.

L'induit a un noyau feuilleté claveté directement sur l'arbre ; des ouvertures longitudinales et des canaux de ventilation assurent une circulation d'air suffisante pour assurer le refroidissement du noyau. L'enroulement induit est constitué par des lames de cuivre mises à la forme sur gabarit et logées dans des rainures rectangulaires ouvertes. Les bobines de cet enroulement sont maintenues dans leurs rainures par des cales en fibre et des frettes.

Le collecteur a ses lames en cuivre dur isolées avec du mica. Les balais sont en charbon cuivré et sont supportés par des porte-balais pivotants.

Le moteur de 15 chevaux pèse 600 kg. Sa vitesse angulaire normale est de 1 150 tours par minute, lorsqu'il est alimenté sous une tension de 220 ou de 500 volts. La poulie a 230 mm de diamètre et 150 mm de largeur.

Le moteur de 3,5 chevaux est analogue comme construction à celui de 15 chevaux et pèse 290 kg. Sa vitesse angulaire normale est de 1 050 t : m.

Enfin le moteur de 30 chevaux est analogue comme construction à la génératrice précédemment décrite et faisant partie du groupe électrogène Cail-Westinghouse. Son poids est de 1 640 kg, et sa vitesse angulaire de 900 t : m.

Les moteurs de traction se construisent de différentes puissances comprises entre 25 et 55 chevaux.

Ils sont constitués par une carcasse en acier coulé divisée en deux parties suivant un plan horizontal et renfermant tous les organes. Les deux moitiés de la carcasse sont réunies par une charnière, du côté opposé à l'essieu, de manière à permettre d'ouvrir le moteur et d'en rendre tous les organes d'un accès facile. De plus, une grande ouverture fermée par un couvercle à ressort et un trou à main à fermeture étanche sont ménagés au-dessus du collecteur.

Le moteur comporte 4 pôles à noyaux feuilletés, fixés dans la carcasse par deux broches traversant cette dernière et portant un écrou goupillé du côté extérieur.

Les bobines inductrices, montées en série, sont enroulées sur gabarit et soigneusement isolées avec du carton comprimé et du mica; elles sont ensuite enduites de vernis imperméable. Elles sont maintenues par les épanouissements polaires.

L'induit a un noyau feuilleté claveté sur l'arbre et muni de canaux de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ventilation. L'enroulement en tambour à double circuit est logé dans des rainures rectangulaires; les bobines sont constituées par des lames de cuivre plates, soigneusement isolées et mises en forme sur gabarit. Toutes les bobines sont interchangeables.

Le collecteur comporte un grand nombre de lames, afin de réduire au minimum la différence de potentiel entre les lames voisines et d'obtenir une bonne commutation.

Les porte-balais, très solides, sont fixés à la partie supérieure de la carcasse. Les balais sont en charbon.

Les paliers, soigneusement étudiés, sont placés, comme les boîtes à graisse, à la partie extérieure de la carcasse, afin d'éviter toute projection d'huile sur le collecteur et sur les bobines. Tous les paliers sont munis d'une boîte à graisse et d'un réservoir d'huile avec mèche.

L'engrenage est à simple réduction de vitesse. Les roues dentées, comme les pignons, sont très larges. Le pignon est calé sur une portée conique de l'arbre, afin que l'on puisse, si nécessaire, resserrer le clavetage. Le couvre-engrenage, solidement construit, est fixé au moteur, protégeant à la fois roue et pignon.

La partie mobile du moteur est très légère; l'induit a un diamètre très faible, ce qui a pour effet de réduire la force centrifuge et la force vive emmagasinée dans les pièces en mouvement.

Les moteurs de traction Westinghouse présentent, par leur forme et leur construction mécanique, une solidité exceptionnelle en même temps qu'une excellente protection. Dans ces conditions, ils conviennent tout particulièrement à la commande des engins de levage, trains de laminoir, ponts-roulants, etc.

Établis pour produire sur les tramways un effort considérable au moment du démarrage, ils se prêtent parfaitement aux dures conditions de fonctionnement des laminoirs, ponts-roulants, etc., et même à des manœuvres assez brutales.

Ces moteurs ne diffèrent guère de ceux de traction que par la forme extérieure de la carcasse en deux pièces, qui porte, venus de fonte, quatre pieds permettant de fixer le moteur sur les engins qu'il commande.

Les deux parties de la carcasse sont réunies d'un côté à l'aide de charnières, ce qui rend très facile la visite des organes.

Les détails de construction donnés à propos des moteurs de tramways se rapportent également à ce type spécial.

Les coupleurs, étudiés spécialement pour la commande de ces moteurs et destinés à régler la vitesse et à effectuer le changement de sens de rotation, sont de trois types.

D'une manière générale, tous ces coupleurs se composent d'une boîte

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en fonte contenant des séries de résistances destinées à être insérées dans le circuit d'alimentation du moteur. Un panneau de marbre, fixé sur la face de la boîte, porte un nombre déterminé de plots en cuivre, variant suivant le nombre de vitesses différentes que l'on désire obtenir. Ces plots sont reliés aux résistances en des points convenablement choisis.

Ces résistances absolument incombustibles, sont composées de bobines superposées formant des colonnes. Elles sont isolées avec du mica et de l'amiante.

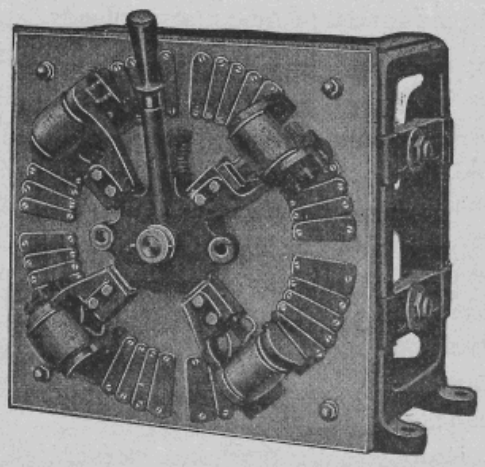


Fig. 111. — Coupleur, type face en marbre.

Le rayonnement rapide de la chaleur développée est assuré par la disposition spéciale de résistances, du type dit ventilé, présentant une grande surface de rayonnement.

Chaque coupleur est muni d'un système de bobines de soufflage magnétique, montées à chacune des extrémités des quatre bras en croix qui supportent les balais appuyant sur les plots.

Ces bobines ont leur enroulement parcouru par le courant qui alimente le moteur. Les pôles de chaque bobine à noyau de fer sont disposés de manière que la rupture du circuit se produise dans un champ magnétique très intense, rendant ainsi impossible le maintien d'un arc.

Le premier type de coupleur (*fig.* 111), dit avec *face marbre*, est utilisé pour la commande de petits moteurs jusqu'à 10 chevaux. Les résistances sont réparties sur un grand nombre de plots, permettant ainsi d'obtenir un réglage très précis de la vitesse angulaire. Le circuit est ouvert en quatre points différents afin de réduire les arcs de rupture au minimum.

Le deuxième type (*fig.* 112), dit à collecteur, est employé pour la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

commande de moteurs d'une puissance supérieure à 10 chevaux. Il présente des dispositions analogues au type précédent, mais les contacts de rupture sont munis de pièces amovibles faciles à remplacer en cas d'usure.

Le troisième type, également du type dit à collecteur, a été étudié en vue de services très durs et pour lesquels il n'est pas utile d'obtenir un

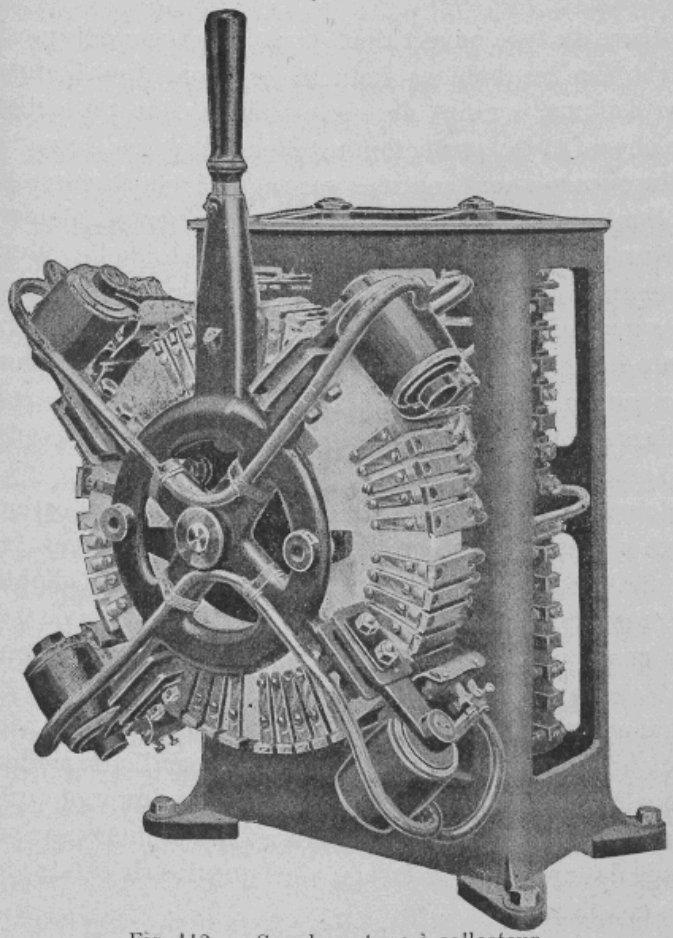


Fig. 112. — Coupleur, type à collecteur.

réglage très sensible de la vitesse angulaire, comme, par exemple, celui des trains de laminoir, des treuils d'extraction, etc., où les démarrages et les changements de marche sont très brusques et très fréquents.

Moteurs de la Compagnie internationale d'électricité de Liège. — Un certain nombre de moteurs à courant continu du modèle ordinaire étaient en service régulier à l'Exposition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette Société exposait également deux moteurs de traction d'une puissance de 25 chevaux, fonctionnant sous 500 volts, à la vitesse angulaire de 480 t : m, ainsi que deux moteurs hermétiques, montés sur pattes, pour commande d'engins de levage et d'appareils d'aciéries.

Moteurs de la Société A. E. G., Union électrique de Bruxelles. — Parmi les nombreux types de moteurs exposés par cette Société, on peut citer les suivants :

Des moteurs du type ouvert dont la carcasse magnétique fait saillie latéralement sur les bobines inductrices, constituant ainsi avec les flasques-croisillons, servant de porte-paliers, une protection efficace contre les chocs. Cette protection est étendue au collecteur grâce aux bras des flasques qui sont centrées par rapport à la carcasse sur laquelle elles sont boulonnées. Ces moteurs se construisent également sous la forme *cuirassée-ventilée ;* ils sont garantis contre toute introduction d'eau et de poussières, tout en étant refroidis par une ventilation énergique.

Pour des applications exigeant une protection encore plus complète, ces moteurs sont complètement cuirassés ; la fermeture hermétique est obtenue au moyen de couvercles placés dans les creux existant entre les bras des flasques. Le moteur de ce type qui était exposé avait une puissance de 5 chevaux sous 220 volts.

Les moteurs de petite puissance pour diverses applications étaient entre autres représentés par un moteur-shunt de 0,1 cheval, faisant normalement 2 200 t : m et muni d'un rhéostat permettant d'obtenir trois vitesses de rotation différentes, ainsi que par un moteur de 0,25 cheval, du type cuirassé, pour polissage, avec arbre prolongé des deux côtés et à extrémités coniques pour permettre de fixer les roues à polir ; le rhéostat qui accompagne ce moteur permet d'obtenir trois vitesses différentes, et le courant est amené aux balais par l'intermédiaire d'une boîte de jonction hermétique fixée sur la carcasse du moteur.

La Société *Union* avait également exposé des moteurs sur pattes pour la commande des appareils de levage ainsi que des rhéostats de démarrage et des coupleurs.

Moteurs de traction de la Société Parisienne électrique. — Les moteurs construits par cette Société sont à 4 pôles. La culasse, constituant en même temps l'enveloppe du moteur, est en acier doux. Elle est coulée en deux pièces, assemblées suivant un plan horizontal passant par l'axe de l'induit ; ces deux parties sont réunies par une charnière sur le côté opposé à l'essieu.

La carcasse enveloppe complètement les bobines inductrices, l'induit, le collecteur et les balais, mettant ainsi tous ces organes à l'abri de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poussière et de l'humidité. La carcasse s'ouvre par la partie inférieure. A la partie supérieure, au-dessus du collecteur, est ménagée une ouverture, munie d'un couvercle à fermeture hermétique, qui permet de vérifier facilement le collecteur et de remplacer rapidement les balais.

Les noyaux polaires sont formés de tôles minces de fer doux ; ils sont appliqués sur des faces alésées, ménagées à l'intérieur de la carcasse à laquelle ils sont solidement fixés à l'aide de goujons et de goupilles. Les bobines inductrices sont identiques et interchangeables ; elles sont enroulées sur gabarit, enveloppées de plusieurs couches de bandes de toile, puis imprégnées à plusieurs reprises de vernis résistant à l'eau, à l'huile et à la graisse.

L'induit a un noyau feuilleté muni d'encoches. L'enroulement en tambour est constitué par des sections préparées et isolées d'avance à la machine. Toutes les sections sont rigoureusement interchangeables et peuvent se placer facilement dans les encoches sans qu'il soit nécessaire de les marteler ou de les plier. Les connexions avec les lames du collecteur sont complètement recouvertes et protégées par une forte toile enduite de vernis. Le collecteur a ses lames en cuivre forgé et l'isolant qui les sépare l'une de l'autre a un degré de dureté tel que son usure est la même que celle des lames de cuivre. Les balais sont en charbon et les porte-balais sont fixés à une pièce en matière isolante boulonnée sur la partie supérieure de la carcasse.

La transmission de mouvement du moteur aux essieux se fait par l'intermédiaire de pignons en acier forgé, à dents taillées à la fraise ; ces pignons sont calés sur l'arbre de l'induit et engrènent avec des roues dentées en acier coulé. Les pignons et les roues dentées sont protégés par des enveloppes d'engrenages en deux pièces, faciles à séparer de la carcasse du moteur. Les paliers, largement calculés, sont munis de métal antifriction. Outre la boîte à graisse située au-dessus des paliers, ces derniers sont munis d'un réservoir à huile avec mèche ; on peut à volonté employer le graissage à l'huile ou à la graisse ou même les deux à la fois.

Ces moteurs peuvent être suspendus au truck de la voiture soit par le nez, soit à l'aide d'une barre transversale, soit enfin à l'aide de barres latérales.

Un autre type de moteur a été spécialement établi pour les voitures automotrices de la Compagnie du chemin de fer métropolitain de Paris. Il peut être utilisé sur toute voiture circulant sur voie normale, c'est-à-dire ayant 1,44 m d'écartement. Il a une puissance de 175 chevaux, à la tension de 600 volts. Sa vitesse angulaire est de 445 t : m.

La carcasse de ce moteur, désigné sous le nom de type T VIII, est en acier doux ; elle est coulée d'une seule pièce. Elle affecte la forme d'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

prisme à section carrée, légèrement rétréci au droit du collecteur. Une trappe fermée par un couvercle entièrement démontable permet, même pendant la marche, de vérifier le collecteur et les porte-balais et de remplacer les balais.

La carcasse est munie de huit ouvertures disposées de la manière suivante : deux ouvertures rectangulaires sont ménagées dans le couvercle de la trappe; deux autres sont pratiquées dans la partie de la carcasse située au-dessous du collecteur; enfin, à chacun des quatre coins, sur la face opposée à celle où se trouve le collecteur, on a ménagé une ouverture de forme ovale.

Deux modèles de ce moteur étaient exposés. Dans l'un toutes les ouvertures sont fermées entièrement à l'aide d'une forte tôle vissée, rendant ainsi le moteur complètement hermétique. Dans l'autre, les ouvertures sont simplement recouvertes d'une toile métallique très fine, permettant une légère circulation d'air. Pour empêcher autant que possible l'introduction de poussières métalliques à l'intérieur de la carcasse de ce second modèle de moteur, les ouvertures, ménagées à la partie inférieure par où s'effectue l'entrée d'air, sont munies de deux toiles; un intervalle de 20 mm environ a été réservé entre chacune d'elles. Dans ces conditions, la vitesse de l'air pénétrant dans la carcasse est assez réduite pour que les poussières se déposent entre les deux toiles. Ces dernières sont facilement démontables et permettent, par conséquent, un nettoyage rapide.

Les noyaux polaires, au nombre de 4, sont feuilletés. Les tôles qui les constituent, découpées à l'étampe, sont assemblées et maintenues serrées entre deux joues, en acier coulé, au moyen de rivets. Une forte clavette centrale sert à fixer les noyaux à l'intérieur de la carcasse; à cet effet, de fortes vis, traversant cette carcasse, viennent se fixer dans la clavette. Du côté de l'induit, les noyaux sont munis d'épanouissements polaires. Les bobines inductrices sont constituées par des rubans de cuivre rouge, enroulés à plat et isolés à l'amiante. Elles sont soigneusement serrées et fortement isolées; des plateaux en bronze reposant sur les épanouissements polaires servent à les maintenir. En outre, ces bobines sont calées par des ressorts en tôle d'acier ondulée placés entre elles et la carcasse. Les quatre bobines sont reliées en tension. Une disposition spéciale des brides permet d'éviter tout croisement des câbles dans les connexions reliant les différentes bobines.

L'induit a un noyau formé de feuilles de tôle de fer doux de grande perméabilité magnétique et à faible coefficient d'hystérésis. Ces tôles de 0,5 mm d'épaisseur, sont isolées les unes des autres par du papier parcheminé très fin collé sur l'une des faces. Elles forment trois paquets distincts et l'ensemble du noyau est solidement claveté sur l'arbre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Entre deux paquets consécutifs, de même qu'à chaque extrémité du noyau, on a ménagé un évent permettant la circulation de l'air, sous l'action de la force centrifuge, circulation rendue possible à l'aide de trous pratiqués, au voisinage de l'arbre, dans les tôles et dans les plateaux de serrage.

L'induit, du type denté, a un enroulement en tambour formé de barres massives de cuivre. Ces barres sont pliées sur gabarit de manière à ne présenter aucune soudure sur le côté opposé au collecteur. Il n'y a qu'une seule spire par section et toutes sont identiques. Les barres de cuivre, isolées d'avance, sont logées dans les rainures du noyau où elles sont maintenues par de solides frettes en fil d'acier. Grâce à cette disposition, les chances d'accident sont diminuées et, en cas d'avarie, il est facile d'enlever les sections détériorées et de les remplacer rapidement, sans être dans l'obligation de défaire tout l'enroulement.

Le collecteur est formé de lames en cuivre électrolytique étiré, isolées au mica. Du côté de l'enroulement, les lames se prolongent jusqu'à la hauteur des barres constituant une section de l'induit, afin d'éviter l'emploi de toute ailette de connexion. Les différentes lames du collecteur sont maintenues serrées, à l'aide d'un écrou, entre deux emmanchements coniques isolés au mica.

Le tambour du collecteur, en acier coulé, est claveté sur l'arbre et est pourvu d'ouvertures pour la circulation de l'air destiné à le refroidir.

Les porte-balais, au nombre de 2, comportent chacun 4 balais en charbon, calés dans la position neutre de façon à permettre au moteur de tourner dans les deux sens. Chaque porte-balai se compose de deux parties distinctes en laiton : l'une, fixée directement à la carcasse, en est soigneusement isolée par interposition de mica ; l'autre, guidée par la première au moyen d'une glissière, est maintenue par trois goujons. C'est cette dernière qui porte les charbons ainsi que les ressorts agissant sur les balais pour les faire appuyer sur le collecteur. La glissière a pour objet de permettre de rapprocher à volonté la seconde partie du collecteur, au fur et à mesure de l'usure des balais.

Les paliers, en acier coulé, sont rapportés, fixés et centrés sur la carcasse par l'intermédiaire de 4 vis goupillées. Ils sont munis de coussinets en bronze, garnis intérieurement d'une légère épaisseur de métal anti-friction. Le corps du palier est creux et présente deux chambres distinctes munies d'une porte de visite située à la partie supérieure ; des ouvertures pratiquées dans ces chambres débouchent dans les coussinets.

Dans la plus grande de ces deux chambres, on place de la laine fortement imbibée d'huile ; dans l'autre, on met de la graisse consistante. Cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dernière ainsi que la laine sont directement en contact avec le tourillon.

Généralement, la laine suffit pour assurer un bon graissage; mais, si, pour une cause quelconque, un coussinet venait à s'échauffer par trop, la graisse commencerait à fondre et contribuerait alors à produire un graissage supplémentaire.

L'huile et la graisse ayant servi, après avoir été projetés par un chasse-huile, tombent dans une troisième chambre ménagée dans le palier à sa partie inférieure; cette chambre est pourvue d'un déversoir et d'un trou de vidange.

Les chasse-huile, fixés à chaud sur l'arbre, empêchent les projections d'huile ou de graisse sur le collecteur et sur les enroulements.

Les câbles, partant des bornes du moteur, traversent la carcasse dans des trous garnis de tubulures en fibre, auxquelles sont fixés les tubes flexibles en acier qui entourent les câbles conducteurs.

La transmission du mouvement du moteur s'effectue, par l'intermédiaire d'un pignon en acier forgé dur à 23 dents claveté à l'extrémité de l'arbre, à une roue d'engrenage de 64 dents, en deux pièces assemblées par 8 boulons.

Lors des essais, ce moteur a fourni pendant une heure une puissance de 175 chevaux, sans que la température d'aucune de ses parties ait dépassé de 70° la température ambiante. Le fonctionnement était parfait même avec une surcharge de 60 0/0.

Le rendement industriel, engrenage compris, est de 86 0/0.

Le moteur complet pèse 2600 kg.

Moteurs de la Société « la Française électrique ». — Deux moteurs blindés figuraient dans l'Exposition de cette Société. L'un d'eux est muni d'un réducteur de vitesse par engrenages taillés.

Les moteurs de ce type (*fig.* 113) ont été établis pour des installations dans lesquelles on recherche, avec un poids et un encombrement réduits, un rendement élevé et une grande sûreté de fonctionnement.

A cet effet, les carcasses inductrices sont en acier coulé de grande perméabilité magnétique, afin de permettre au moteur de supporter des surcharges que les carcasses en fonte ne permettent pas d'obtenir et aussi afin de réduire considérablement le poids du moteur.

Les paliers ont des roulements à billes en acier chromé, ce qui a pour effet de diminuer les pertes par frottement, ainsi que l'usure des coussinets. L'arbre est en acier dur et les portées, rectifiées à la meule, assurent une interchangeabilité absolue.

Les balais sont en charbon et le collecteur, largement établi, présente une surface de contact suffisamment grande pour éviter tout échauffement dangereux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces moteurs peuvent être fixés contre un mur ou suspendus à un plafond.

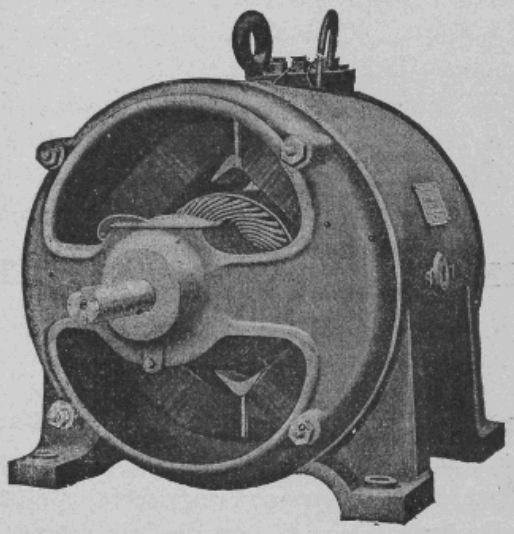


Fig. 113. — Moteur blindé à courant continu de la Société « la Française électrique ».

Moteurs de la Société Gramme. — Parmi les moteurs à courant continu, exposés par cette Société, figurait un moteur vertical d'une puissance de 25 chevaux sous 220 volts, spécialement destiné à la commande des turbines-essoreuses et autres machines analogues.

Ce moteur tétrapolaire, à excitation hypercompoundée, a un induit denté enroulé en tambour ; il peut développer au démarrage un couple de 25 chevaux sans production d'étincelles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II

MOTEURS A COURANT ALTERNATIF

Moteurs asynchrones polyphasés, système Westinghouse. — Ces moteurs, à vitesse angulaire constante, se construisent pour toutes puissances. Ils sont de deux types : l'un, dit type C, a son induit en cage d'écureuil ; l'autre, dit type H, a un induit bobiné.

Le premier de ces types se recommande par sa simplicité qui lui assure un fonctionnement parfait dans les plus dures conditions d'exploitation ; le second, par ses remarquables qualités électriques.

Dans le type C, chaque circuit du rotor est fermé sur des résistances convenables qui, au moment du démarrage, sont graduellement diminuées, le rotor étant mis en court circuit dès que la vitesse angulaire normale est atteinte.

On sait que les résistances de démarrage ont pour effet de faire développer au moteur un couple indépendant de la vitesse de rotation et simplement fonction de la tension aux bornes. Ce dispositif est utilisé toutes les fois que le moteur doit démarrer sous charge sans emprunter au réseau un courant de trop grande intensité.

Avec le moteur type H (*fig.* 114), la mise en route se fait doucement et graduellement, sans à-coups, jusqu'à obtention de la vitesse angulaire normale ; la consommation de courant, au démarrage, est moindre qu'avec les induits en cage d'écureuil. Dans ces conditions, ce genre de moteur convient tout particulièrement pour les installations sur des réseaux où il est nécessaire d'avoir une tension aussi régulière que possible ou encore lorsque l'énergie est fournie par des génératrices de faible puissance.

Le principe de fonctionnement de ce moteur est le suivant : le stator, constituant le primaire du moteur, a ses enroulements reliés au circuit d'alimentation et donne naissance à un champ tournant qui induit des courants dans les enroulements du secondaire ou rotor. L'action de ces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

courants, circulant dans les enroulements primaire et secondaire, produit la rotation du moteur.

Le stator (*fig.* 115) est constitué par un noyau feuilleté, en tôles d'acier très doux, disposé à l'intérieur d'une carcasse annulaire. Ce noyau est muni de rainures, parallèles à l'axe, dans lesquelles sont logés les enroulements destinés à produire le champ magnétique tournant. Ces enroulements sont en fil de cuivre soigneusement isolé et recouverts, après montage, d'une couche de vernis imperméable. Les bornes de prise de courant sont placées sur la partie supérieure de la carcasse.

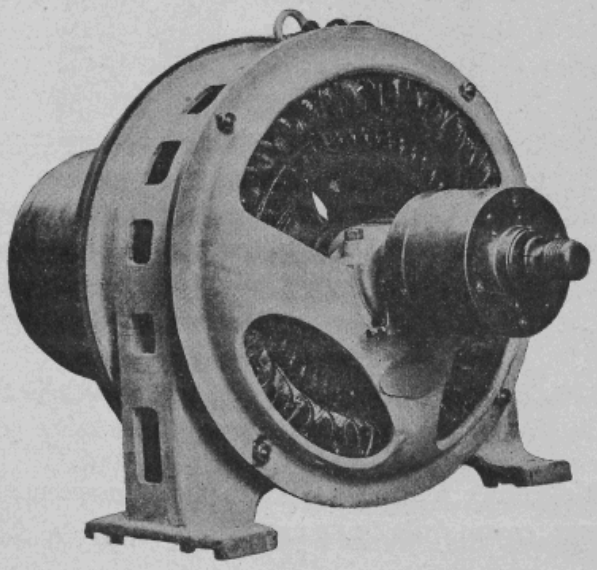


Fig. 114. — Moteur Westinghouse, type H, avec démarreur en bout d'arbre.

Le rotor (*fig.* 116) comporte un noyau feuilleté, en forme d'anneau monté sur un croisillon en fonte fixé sur l'arbre. Les enroulements sont logés dans des rainures pratiquées sur la périphérie du noyau. Ces rainures ont une forme telle que les conducteurs ne peuvent être arrachés sous l'action de la force centrifuge.

Pour les moteurs jusqu'à 60 chevaux de puissance, l'appareil de démarrage est monté sur l'extrémité de l'arbre. Les résistances sont entièrement en fonte et isolées au mica; elles sont enfermées dans une boîte cylindrique clavetée sur l'arbre. Les extrémités de ces résistances présentent une surface très lisse sur laquelle se déplace progressivement, dans la direction de l'axe, un contact composé de deux balais doubles. La manœuvre de ce contact glissant qui, dans son mouvement, met progressivement les résistances hors circuit, s'effectue à l'aide d'une poignée tournant folle et pouvant être tenue à la main. Ce dispositif, appliqué

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aux moteurs de faible et de moyenne puissance, est moins encombrant que l'emploi d'un appareil de démarrage séparé; de plus, ce mécanisme spécial ne nécessite pas le relevage des balais, car, une fois la mise en

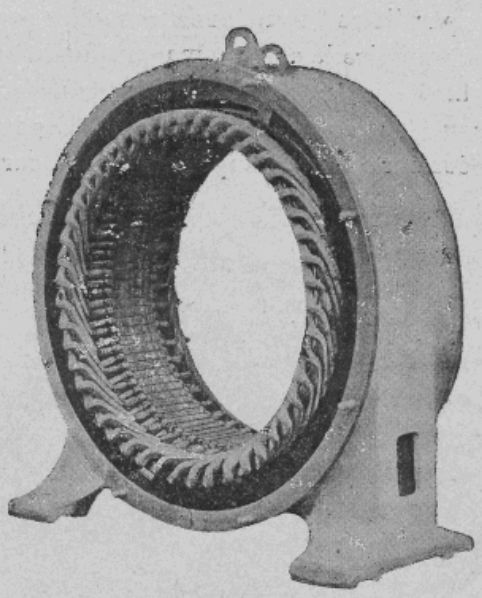


Fig. 115. — Stator d'un moteur Westinghouse, type H.

court circuit effectuée, ils sont entraînés par le mouvement de rotation des résistances, ce qui évite toute usure.

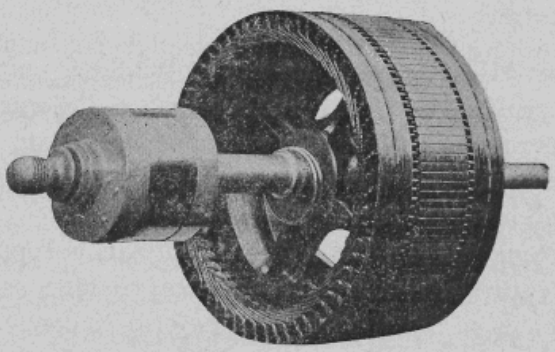


Fig. 116. — Roter d'un moteur Westinghouse, type H, avec démarreur en bout d'arbre.

Les moteurs d'une puissance supérieure à 60 chevaux ont leur appareil de démarrage indépendant. Les trois enroulements du rotor sont reliés aux résistances par l'intermédiaire de bagues collectrices et de balais.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La mise en court circuit s'obtient au moyen d'un contact, glissant à l'intérieur des bagues et qui peut être déplacé à l'aide d'une poignée.

Le même type de moteur se construit avec une carcasse établie pour qu'on puisse le placer sous un angle quelconque. A cet effet, les joues paliers peuvent être boulonnées sur la carcasse dans huit positions différentes, laissant toujours les réservoirs d'huile dans une position normale. Le dispositif de mise en court circuit est pourvu de leviers servant à relever les balais.

Ces moteurs peuvent développer un couple égal à deux fois le couple normal à pleine charge; ils peuvent donc supporter des surcharges momentanées ou continues dans une certaine limite. En cas de surcharge très importante, il peut être calé momentanément sans être endommagé.

Moteur Heyland. — Ce moteur d'induction, asynchrone et monophasé, exposé par la Société parisienne électrique, peut démarrer sans l'emploi d'un condensateur ou d'un dispositif extérieur quelconque de démarrage placé sur le stator.

Sa construction ressemble, d'une façon générale, à celle des moteurs asynchrones polyphasés ordinaires.

Le stator et le rotor ont des noyaux feuilletés constitués par des tôles séparées les unes des autres par du papier très mince. Les bobines des enroulements sont logées dans des rainures découpées à l'emporte-pièce par des outils spéciaux.

Le rotor, ordinairement bobiné en triphasé, est muni de bagues; mais, pour les moteurs de faible puissance, il est en court circuit.

Ce qui caractérise ce moteur est la construction du stator qui comporte deux enroulements, disposés comme les phases d'un moteur diphasé et dont les réactances sont rendues aussi différentes que possible, grâce à un dispositif qui sera indiqué plus loin. Au moment du démarrage, les deux enroulements du stator sont montés en parallèle. L'un d'eux, phase principale ou de travail, est logé dans de nombreuses rainures ouvertes; le flux auquel il donne naissance ne peut guère donner lieu à des dérivations, et le décalage du courant qui y circule, par rapport à la tension appliquée, est, par conséquent, assez faible. Au contraire, le second enroulement, utilisé seulement pendant la période de démarrage, ne comporte qu'un seul trou par pôle, trou entièrement entouré de fer, ce qui a pour effet de donner lieu à un fort décalage du courant par rapport à la tension appliquée.

Ces différences dans les dérivations du flux et, par suite, dans les valeurs de la self-induction des enroulements, ont pour effet de décaler d'une manière différente, par rapport à la force électromotrice appliquée, l'intensité des courants circulant dans chacun des deux enroulements. La résul-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tante géométrique de ces deux courants produit un flux tournant suffisant pour faire tourner le rotor du moteur.

Au démarrage, les moteurs Heyland peuvent fournir un couple de même valeur que celui qui correspond à la marche en régime normal. A ce moment, la somme des intensités de courant consommé dans les deux phases ne dépasse pas le double de l'intensité normale à pleine charge, lorsque la fréquence ne dépasse pas 60 périodes par seconde. Entre 60 et 100 périodes par seconde, la somme des intensités atteint deux fois et demie la valeur normale. Lorsque le moteur démarre à vide, l'intensité du courant ne dépasse pas la valeur normale si la fréquence n'est pas supérieure à 60 périodes par seconde et atteint une fois et demie cette valeur pour les fréquences comprises entre 60 et 100 périodes.

Le rhéostat de démarrage utilisé avec les moteurs Heyland est du type ordinaire en ce qui concerne l'insertion des résistances dans le rotor ; mais il comporte en plus un dispositif, commandé par la manette, qui interrompt automatiquement le circuit de la phase auxiliaire lorsque la vitesse angulaire du moteur est suffisante. La position de rupture de la phase auxiliaire est d'ailleurs réglable suivant les conditions particulières dans lesquelles doit s'effectuer le démarrage.

Lorsque le moteur ne doit démarrer qu'à vide, le rhéostat comporte une résistance auxiliaire intercalée, au moment du démarrage, dans le circuit de la phase principale. Cette résistance permet de diminuer la valeur de l'intensité totale du courant en la réduisant à la valeur strictement nécessaire. Cette résistance auxiliaire est mise automatiquement en court circuit par la simple manœuvre de la manette du rhéostat de démarrage, aussitôt la phase auxiliaire mise hors circuit.

Dans les moteurs ayant leur rotor en court circuit, le rhéostat est remplacé par un simple interrupteur pouvant prendre deux positions : l'une, correspondant au démarrage, groupe en parallèle les deux enroulements du stator ; l'autre, qui n'est utilisée qu'au moment où le moteur a pris sa vitesse angulaire normale, met hors circuit la phase auxiliaire et laisse en circuit la phase de travail.

Moteurs triphasés de la Société A. E. G., Union électrique de Bruxelles. — Cette Société exposait divers types de ses moteurs, parmi lesquels trois moteurs triphasés dont le premier a un *rotor en court circuit*, le deuxième un *rotor à circuits d'induit étagés*, et le troisième un *rotor à bagues* pour démarrage avec rhéostat. Leurs puissances respectives sont de 25, 10 et 30 chevaux, sous une tension de 500, 215 et 215 volts composés, à la fréquence de 50 périodes par seconde. L'enroulement du rotor en court circuit est constitué par des barres en cuivre nu, logées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans les rainures d'une couronne feuilletée ; ces barres aboutissent, sur les faces latérales, à deux anneaux, de façon à constituer une cage d'écureuil. Le rotor du moteur à circuits d'induit étagés, avec mise en court circuit automatique, comporte deux enroulements distincts : un enroulement principal et un enroulement formé de conducteurs en nickeline ; la mise en court circuit est obtenue automatiquement au moyen d'un dispositif qui, sous l'action de la force centrifuge, supprime l'enroulement résistant en nickeline dès que la vitesse du moteur atteint une valeur déterminée et le remet en circuit quand la vitesse angulaire devient inférieure à cette valeur. Le rotor à bagues a un enroulement triphasé dont les extrémités aboutissent à trois bagues munies de balais que l'on peut relier à des résistances ; lors du démarrage, ces résistances sont supprimées graduellement jusqu'à ce que le moteur ait atteint sa vitesse angulaire normale ; un dispositif spécial permet alors de soulever les balais et de mettre en même temps le rotor en court circuit, sans production d'étincelles.

A signaler aussi un moteur triphasé spécial pour l'attaque, par courroie verticale, de métiers à tisser. Ce moteur est suspendu par son stator à une cheville et tend la courroie par son propre poids. Comme le poids du moteur produirait une tension trop forte, le moteur est placé, au point diamétralement opposé à la cheville, entre deux ressorts en spirale qui permettent d'obtenir la tension désirée par le simple serrage ou desserrage d'un écrou. Ce moteur se place sur le sol, mais il peut être fixé contre un plafond avec courroie descendante.

La Société *Union* exposait également un transformateur triphasé de 16 kilovolts-ampères, à bain d'huile, avec rapport de transformation variable, pouvant servir de démarreur pour les moteurs à rotor en court circuit. Ce mode de démarrage convient particulièrement aux moteurs actionnant des pompes centrifuges d'épuisement.

Moteur triphasé asynchrone de la Société Parisienne électrique. — Le moteur exposé a une puissance de 2 chevaux à la vitesse angulaire de 1 410 t : m ; il est établi pour être alimenté par des courants triphasés à 110 volts et 50 périodes.

Les noyaux du stator et du rotor sont feuilletés, et les tôles qui les constituent sont isolées les unes des autres par du papier parcheminé.

Les tôles du stator sont placées entre deux joues en acier maintenues, par des clavettes circulaires, sur une carcasse en fonte. Le noyau du stator est muni de 24 encoches à moitié fermées, ayant 24 mm de profondeur et 9 mm de largeur, soit 2 encoches par pôle et par phase. L'enroulement comporte 26 conducteurs, en fil de 1,5 mm de diamètre,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

guipé avec du coton ; un tube en carton comprimé entoure les conducteurs. Les trois phases du stator sont montées en étoile.

L'entrefer est de 0,5 mm.

Le noyau du rotor est claveté directement sur l'arbre ; les disques de tôle qui les constituent sont maintenus par deux plateaux en acier. L'enroulement est en court circuit.

La Société Parisienne construit des moteurs asynchrones de toutes puissances avec induit bobiné et bagues de démarrage ou avec enroulement en court-circuit.

Moteurs asynchrones de la Société Gramme. — Ces moteurs, à vitesse sensiblement constante, ont tous leurs organes facilement accessibles et démontables.

L'induit ou rotor est bobiné et muni de bagues collectrices permettant d'effectuer le démarrage sous pleine charge avec un couple dépassant le couple normal. Lorsque le moteur a atteint sa vitesse de régime, un dispositif spécial sert à mettre l'induit en court circuit et à soulever les balais.

Ces moteurs sont normalement établis pour fonctionner sous une tension de 110 à 120 volts. Ils peuvent momentanément supporter une surcharge de 50 0/0 sans aucun inconvénient.

Ils se construisent pour être alimentés avec du courant alternatif simple ou avec des courants triphasés. Les divers types à courant alternatif simples ont des puissances comprises entre 0,25 et 46 chevaux ; ceux à courants triphasés, de 0,1 à 170 chevaux.

Parmi les modèles exposés figurait un moteur à courant alternatif simple, étudié pour son application à la traction électrique et à différents appareils de levage.

Ce moteur développe une puissance de 30 chevaux et tourne normalement à la vitesse angulaire de 950 t : m ; il peut supporter une surcharge dépassant 50 0/0 sans production d'étincelles nuisibles au collecteur. Le couple de démarrage atteint trois fois la valeur du couple normal avec une intensité de courant double. Le facteur de puissance, sous charge, est voisin de l'unité, grâce à une disposition spéciale de l'inducteur qui permet de compenser presque exactement la réaction d'induit.

Ce type de moteur convient particulièrement pour la traction électrique des tramways et pour actionner les grues, monte-charges, ascenseurs, etc., applications pour lesquelles il est indispensable que le moteur possède un couple de démarrage élevé, la constance de la vitesse angulaire n'étant pas nécessaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moteur à courants alternatifs triphasés, à vitesse variable de la Société alsacienne de constructions mécaniques de Belfort. — Ce moteur est à collecteur et a été établi pour être alimenté par des courants triphasés à 110 volts, à la fréquence de 50 périodes par seconde.

Sa puissance normale est de 20 à 25 chevaux, et sa vitesse angulaire normale à vide est de 1 000 tours par minute.

Ce moteur fonctionne en combinaison avec un survolteur spécial servant à faire varier sa vitesse angulaire.

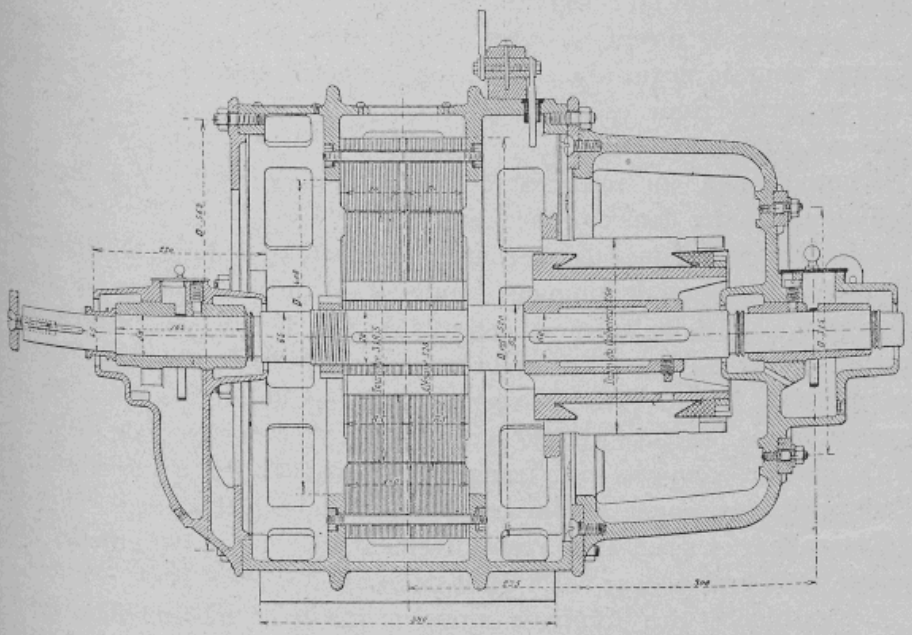


Fig. 117. — Coupe du moteur triphasé à vitesse variable.

La figure 117 donne la coupe de ce moteur, dont l'inducteur fixe ou stator comporte 6 pôles avec noyau feuilleté, maintenu par une carcasse ronde en fonte d'une seule pièce, munie de deux fortes nervures et ajourée afin de permettre une bonne ventilation.

Les tôles constituant le noyau, en forme de disques annulaires, sont disposées en deux paquets séparés par des intervalles de 10 mm destinés à faciliter la ventilation. L'épaisseur totale, dans le sens de l'axe, est de 150 mm. Sur chaque face de ce noyau feuilleté, on a appliqué deux fortes tôles de 5 mm d'épaisseur destinées à maintenir l'ensemble, fixé à la carcasse au moyen de boulons transversaux. La carcasse a 60 cm de diamètre extérieur et 448 mm de longueur axiale. Deux croisillons porte-paliers sont assemblés et boulonnés sur la carcasse; deux larges pattes, venues de fonte, supportent l'ensemble du moteur.

Le noyau feuilleté du stator est muni d'encoches à moitié fermées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans lesquelles sont logés les conducteurs fixes du système inducteur développant un champ tournant.

Le diamètre d'alésage du stator est de 520 mm, et l'entrefer le séparant de l'induit est de 0,75 mm.

L'induit ou rotor a un noyau formé de deux paquets de tôles, en forme de disques, séparés par un canal de ventilation de 10 mm de largeur et solidement maintenus entre deux plaques de tôle de 10 mm d'épaisseur. Ce noyau est claveté sur l'arbre et est fortement serré entre un épaulement de celui-ci et un écrou vissé sur la partie filetée.

L'épaisseur du noyau du rotor, dans le sens de l'axe, est de 150 mm comme pour le noyau du stator; son diamètre étant de 518,5 mm, la vitesse périphérique est de 27 m par seconde, lorsque la vitesse angulaire est celle du synchronisme.

L'enroulement du rotor est bobiné en tambour ; les conducteurs induits sont logés dans des encoches.

Le collecteur, auquel aboutissent les conducteurs induits, a 250 mm de diamètre et 235 mm de longueur axiale. Il est formé de lames en cuivre dur étiré, isolées au mica et assemblées par deux cônes, isolés à la micanite, sur un manchon en bronze claveté sur l'arbre. La vitesse périphérique du collecteur, lorsque la vitesse angulaire est celle du synchronisme, c'est-à-dire 1 000 t : m, est de 13 m par seconde.

Ce moteur comporte trois rangées de balais calées à 120° l'une de l'autre ; chaque rangée se compose de trois balais en charbon.

Les paliers en bronze ont respectivement 165 mm et 160 mm de longueur, et le graissage se fait à l'aide de bagues.

Les extrémités des différents enroulements de ce moteur aboutissent à des bornes placées à la partie supérieure de la carcasse, afin que l'on puisse facilement réaliser toutes les combinaisons voulues.

Le survolteur, servant à régler la vitesse angulaire du moteur, permet de faire varier la tension depuis 25 jusqu'à 195 volts, la différence de potentiel aux bornes du réseau étant de 110 volts et l'intensité du courant par phase de 70 ampères.

Ce survolteur est construit de la même manière qu'un moteur d'induction. Le stator constitue l'inducteur, et le rotor, l'induit. On peut faire tourner ce dernier, dans un sens ou dans l'autre, à l'aide d'un volant de manœuvre commandant une vis sans fin. Quant au stator, il est relié directement au réseau triphasé sans l'intermédiaire de transformateurs.

Les stators du moteur et du survolteur sont montés en parallèle sur le réseau de distribution. Les enroulements induits des rotors des deux machines peuvent être reliés entre eux de manière à ce que les forces électromotrices développées soient en opposition ou en série.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les deux cas, on règle la vitesse angulaire en faisant varier la différence de potentiel entre les trois balais du moteur, calés à 120° l'un de l'autre et appuyant sur le collecteur. Cette variation de la différence de potentiel est obtenue par déplacement du volant à droite ou à gauche.

Lorsque les forces électromotrices développées sont en opposition, la vitesse angulaire maximum du moteur est celle du synchronisme, c'est-à-dire de 1 000 tours par minute pour un moteur à 6 pôles, à la fréquence de 50 périodes par seconde ; la vitesse angulaire diminue lorsque les forces contre-électromotrices produites par le survolteur augmentent de valeur.

Quand les forces électromotrices développées sont en série, c'est-à-dire qu'elles s'ajoutent, la vitesse angulaire maximum dépasse de beaucoup la vitesse angulaire de synchronisme ; elle est d'autant plus grande que les forces électromotrices développées dans le survolteur et ajoutées en série à celles du rotor du moteur ont une valeur plus élevée.

Le moteur qui vient d'être décrit peut également fonctionner comme moteur à répulsion lorsqu'il est alimenté par du courant alternatif simple. Il présente alors tous les avantages du moteur-série à courant continu : grand couple de démarrage, vitesse angulaire élevée à vide et variation de vitesse angulaire avec la charge. Le moteur fonctionne sans production d'étincelles nuisibles au collecteur.

Moteur à répulsion compensé, système Th. Lehmann, de la Société alsacienne de constructions mécaniques de Belfort. — Dans le moteur à répulsion ordinaire, la composante du champ secondaire en quadrature avec le champ primaire n'exerce aucun effet utile d'induction par rapport au circuit primaire et agit, par conséquent, comme le ferait une self-induction.

Le moteur à répulsion compensé, imaginé par M. Th. Lehmann et construit par la Société alsacienne, est caractérisé par ce fait que le flux transversal, en quadrature avec le champ primaire, se trouve partiellement amorti dans le stator. Ce résultat peut être obtenu en fermant progressivement l'enroulement primaire, dans le sens transversal, sur une bobine de self réglable.

La figure 118 donne le schéma d'un moteur bipolaire à répulsion, compensé dans le stator. Les deux points CC de l'enroulement primaire W, en quadrature avec les bornes d'alimentation EE, sont reliés à une bobine de self réglable L.

L'enroulement du rotor A est analogue à un induit de dynamo à courant continu, par suite de la distribution symétrique des spires et du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

collecteur K auquel sont reliées les différentes sections de cet enroulement.

Deux balais, mis en court circuit, appuient sur le collecteur et sont décalés d'un certain angle par rapport à la direction du champ primaire.

Dans ce moteur, le courant d'alimentation et le couple varient en raison inverse de la valeur de la self L et diminuent, en outre, à mesure que la vitesse angulaire du moteur augmente. Le décalage du courant d'alimentation décroît constamment à partir du démarrage, s'annule aux environs du synchronisme et change de sens lorsque la vitesse angulaire augmente au-delà du synchronisme.

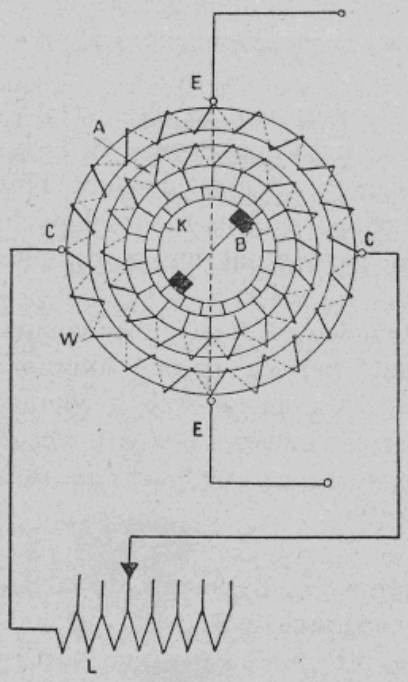


Fig. 118. — Schéma du moteur à répulsion compensé.

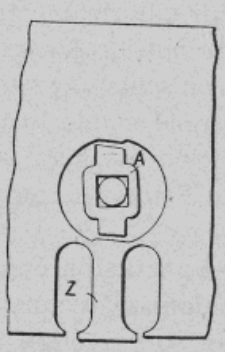


Fig. 119.

Une disposition spéciale, permettant d'annuler la tension sous les balais et d'assurer ainsi une commutation parfaite, quelle que soit la valeur de la vitesse angulaire, a été appliquée au moteur exposé. Ce dispositif consiste à influencer automatiquement ou à la main, le flux traversant les dents du stator situées dans la ligne des balais, et cela en faisant varier la valeur de la réluctance magnétique de ces dents. Dans le cas actuel (*fig.* 119), la caractéristique de la dent Z est réglée par une variation de l'entrefer compris entre la pièce A et la dent Z. Grâce à ce dispositif, on annule la tension statique sous les balais, en lui opposant une tension dynamique égale et de sens contraire.

D'après les essais auxquels ce type de moteur a été soumis, on a pu constater qu'au démarrage on obtient un couple normal avec un cou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rant d'alimentation ayant l'intensité normale. Avec une intensité double, le couple de démarrage a une valeur quatre fois plus grande que la valeur normale. Enfin, aux environs du synchronisme, le décalage du courant d'alimentation est pratiquement nul. On obtient le renversement de sens de marche du moteur en intervertissant le rôle respectif des bornes CC et des bornes EE. Le moteur peut aussi démarrer avec un couple quelconque par un simple déplacement des balais, en ramenant progressivement ces derniers à leur position primitive à mesure que la vitesse angulaire augmente.

Enfin, on peut maintenir constante la vitesse angulaire du moteur soit à la vitesse de synchronisme, soit à un multiple de cette dernière en mettant l'induit en court circuit et en soulevant les balais ; mais, dans ces conditions, le moteur n'est plus compensé.

Moteurs de la Compagnie internationale d'électricité de Liège. — Indépendamment d'un certain nombre de moteurs triphasés utilisés pour actionner différentes machines exposées, cette Compagnie présentait un nouveau type de moteur triphasé à vitesse variable, système Meller.

Ce moteur permet de réaliser trois vitesses angulaires de 750, 1 000 et 1 500 t : m, sans l'emploi d'aucun rhéostat. Sa puissance est indépendante de la vitesse et, par suite, le couple de démarrage est doublé ou triplé suivant que le moteur doit fonctionner à une vitesse angulaire moitié ou le tiers de la vitesse maximum. En outre, ce moteur permet d'obtenir un rendement et un facteur de puissance constants. On voit immédiatement l'intérêt que présente un moteur de ce genre pour la commande des machines-outils, des trains de laminoir, des machines d'extraction, etc.

Moteur panchrone, système J. Holzschuch et P. Bonnemaison. — Les moteurs à courants alternatifs ont subi de nombreuses modifications permettant, d'une façon plus ou moins pratique, d'en faire varier la vitesse et de les faire démarrer.

Seul le moteur à collecteur réalise ces desiderata, mais son emploi a été jusqu'à présent retardé par divers inconvénients, dont le principal était la production d'étincelles nombreuses au collecteur.

Le moteur exposé diffère essentiellement des moteurs du même type par son double enroulement du stator, son induit à enroulements fractionnés et son système de balais réunis au transformateur pare-étincelles. Le double enroulement du stator a pour but :

1° De maintenir un décalage invariable au champ inducteur par rapport au champ induit ;

2° De renforcer l'intensité du champ inducteur lorsque la vitesse augmente.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le moteur est en quelque sorte compoundé.

L'induit, enroulé en tambour, comporte trois enroulements, absolument isolés et indépendants, ainsi que les trois séries de touches, qui leur correspondent au collecteur.

Les balais sont disposés de telle sorte qu'au moment de la commutation, ils introduisent dans la spire commutée une force électromotrice égale et de sens contraire à celle qui donnerait naissance à l'étincelle. Cette force électromotrice est fournie par le transformateur pare-étincelles, relié aux balais.

La puissance du moteur est sensiblement constante à toutes les vitesses ; le couple moteur est excessivement élevé au démarrage et s'abaisse ensuite quand la vitesse augmente.

Le point capital est le rendement élevé que l'on obtient pour des vitesses très différentes. Il est clair qu'on peut, sans affecter le rendement du moteur, faire varier sa vitesse du simple au quadruple, en passant par toutes les vitesses intermédiaires.

Les courbes d'intensité montrent qu'au démarrage à vide le courant absorbé est *presque nul*, point capital dans les installations de force motrice par courants alternatifs.

Enfin, même en charge, le courant absorbé au démarrage est très inférieur au courant qu'absorberait un moteur à courant continu, muni de ses rhéostats de démarrage.

Toutes les manœuvres se font sans le plus petit crachement aux balais, dont l'usure extrêmement lente a été vérifiée après un fonctionnement très prolongé du moteur. Ce moteur convient surtout à la traction électrique des trains, pour laquelle il a été spécialement étudié. Il présente entre autres avantages la récupération, pendant le freinage et dans les descentes, quelle que soit la vitesse du train.

En résumé, le rendement élevé, à toutes les vitesses, l'absorption presque nulle de courant au démarrage et la suppression des étincelles aux balais placent ce moteur parmi ceux qui conviennent le mieux pour la traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III

APPLICATIONS DES MOTEURS ÉLECTRIQUES

Nombreuses étaient les applications des moteurs électriques à l'Exposition de Liège. Il serait difficile de les décrire toutes, et nous nous bornerons à indiquer les principales, surtout celles qui présentent des dispositifs nouveaux.

Pont roulant des Ateliers du Titan Anversois et de la Société A. E. G., Union électrique de Bruxelles. — Ce pont roulant, installé dès le 12 janvier 1905 dans la Halle des machines, a rendu de grands services pour le montage. D'une portée de 24,130 m, il est muni de deux crochets : l'un, à faible vitesse, pour les charges allant jusqu'à 30 tonnes; et l'autre, à grande vitesse, pour des charges de 5 tonnes et au dessous.

La charpente de ce pont a été construite par les ateliers du Titan Anversois; les longerons sont établis avec des poutres en treillis avec rails boulonnés. Une solide passerelle, en tôles perforées, contribue à renforcer latéralement les longerons. L'ensemble est suffisamment ajouré pour ne pas intercepter la lumière venant du haut. La cabine de commande est suspendue sous l'un des longerons, pour permettre au mécanicien de suivre tous les mouvements de la charge.

Le mouvement de translation du pont est assuré par un moteur de 25 chevaux installé au milieu du pont et commandant les galets de roulement au moyen d'un arbre de transmission terminé, à chacune de ses extrémités, par un pignon denté. Le dispositif de translation est pourvu d'un frein à pédale, commandé de la cabine du mécanicien ; ce frein permet d'arrêter le pont exactement à l'endroit voulu.

Les mouvements de levage des crochets sont commandés par une vis sans fin à plusieurs entrées, dont l'arbre est relié au moteur par un accouplement élastique. La roue hélicoïdale sur laquelle agit la vis sans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fin est en bronze phosphoreux avec moyeu en acier coulé ; elle est placée, ainsi que la vis sans fin, dans un bain d'huile contenu dans une boîte en fonte. Ce dispositif de levée est pourvu d'un frein mécanique automatique. Chaque crochet est commandé par un treuil spécial. Les câbles du premier crochet viennent s'enrouler sur deux tambours à rainures, avec filets respectivement à droite et à gauche. Un troisième tambour reçoit le câble du second crochet servant aux faibles charges. Les crochets sont montés dans des coussinets à billes et chaque treuil est entraîné par un moteur de 26 chevaux.

Les moteurs, de construction analogue à celle des moteurs de tramways, ont été construits par la Société A. E. G. de Berlin.

Le point caractéristique de l'équipement électrique de ce pont roulant est l'emploi de la commande universelle des coupleurs qui agissent pour la translation du pont et pour celle du chariot. Les deux coupleurs sont réunis par un dispositif mécanique avec engrenages et sont commandés par un seul levier se déplaçant de droite à gauche et de haut en bas.

La vitesse de translation du pont est de 2,08 m par seconde. Celle du chariot, commandé par un moteur de 8 chevaux, est de 0,50 m par seconde.

La vitesse de levage du grand crochet est de 0,10 m par seconde, et celle du petit crochet de 0,40 m par seconde.

Pont roulant de la Société anonyme John Cockerill de Seraing (Belgique). — Ce pont roulant, établi pour porter une charge de 30 tonnes, ne comporte qu'un seul crochet, monté sur billes, dont la vitesse de levée est de 5,20 m par minute pour les charges inférieures à 15 tonnes et de 2,25 m pour celles dépassant 15 tonnes.

La charpente, constituée par des poutres en treillis assemblées par des passerelles, a une portée de 24,13 m ; la plateforme est formée de tôles perforées.

Le chariot est en tôles profilées et est solidement entretoisé ; il porte deux tambours à rainures sur lesquels le câble, en fils d'acier très fins et extra-flexibles, s'enroule en se pliant toujours dans le même sens. Les deux tambours sont commandés par un arbre intermédiaire qu'entraîne, par l'intermédiaire d'une vis sans fin, un moteur de 27 chevaux. Deux embrayages, commandés par une poignée que manœuvre le mécanicien lorsque le chariot est à fond de course, permettent de donner au crochet le mouvement de grande vitesse ou de petite vitesse correspondant aux faibles ou aux fortes charges.

Le mécanisme de levage comporte deux freins : un frein électromagnétique et un frein de descente.

Le mouvement de translation du chariot, à la vitesse de 17,50 m par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

minute est assuré par un moteur de 10 chevaux. L'entraînement est produit par une vis sans fin agissant sur une roue à denture hélicoïdale ; les roulements sont à billes.

Le mouvement de translation du pont s'effectue à la vitesse de 40 mètres par minute, au moyen d'un moteur de 27 chevaux commandant les galets de roulement à l'aide d'engrenages droits.

Les trois moteurs électriques à courant continu, à enroulement en série, sont du type cuirassé ; leur vitesse angulaire normale est de 600 t : m sous une tension de 440 volts. Les organes de commande sont installés dans une cabine en treillis d'où le mécanicien peut facilement surveiller toutes les manœuvres.

Pont roulant Frédérix-Pieper. — Ce pont roulant installé dans le hall des machines a été largement utilisé lors du montage et du démontage des machines exposées.

La charpente du pont a été établie par la Société anonyme du Nord, ancienne maison Vve Frédérix, de Liège, et l'équipement électrique par la Compagnie internationale d'électricité de Liège.

Ce pont roulant, installé pour une portée de 24,130 m a été calculé et construit pour une portée de 26 m ; à cet effet, un joint a été ménagé dans le voisinage de chacune des extrémités permettant, après l'enlèvement de la rivure, le démontage des pièces extrêmes et leur remplacement par d'autres ayant les dimensions et la forme voulues pour atteindre la portée totale.

L'ensemble du pont roulant pèse 36 tonnes, dont 28 pour le pont et 8 pour le chariot. Avec une charge de 30 tonnes, cela constitue un ensemble de 66 tonnes se déplaçant à une vitesse de 50 m par minute.

Le bâti du chariot est en acier coulé et l'élément de levage est exclusivement constitué par du câble flexible en acier fondu.

Les moteurs électriques commandent les mécanismes par l'intermédiaire de vis sans fin.

Pour la translation du pont, chaque caisson est actionné par un moteur indépendant, et les deux moteurs de translation ne sont pas reliés ensemble par l'arbre de transmission, comme c'est ordinairement le cas ; ils ont chacun une puissance de 11 chevaux.

Un moteur de 25 chevaux commande la levée de la charge de 30 tonnes à la vitesse de 2,50 m par minute ; un second moteur, également de 25 chevaux, commande la levée de la charge de 6 tonnes, à la vitesse de 11 mètres par minute.

Enfin, le mouvement de translation du chariot, s'effectuant à une vitesse de 30 m par minute est commandé par un moteur de 7 chevaux.

Le câble spécial, extra-flexible, qui supporte la charge, s'enroule par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ses deux extrémités sur un même tambour après avoir passé sur les poulies de la chape et sur les poulies de renvoi fixées au châssis. La chape porte un crochet qui tourne sur billes.

Le tambour d'enroulement est monté sur un arbre dont les extrémités reposent sur deux paliers à couvercle placés sur les parties supérieures des longerons, ce qui permet un entretien facile et un démontage rapide. L'enroulement du câble se fait de telle sorte que la chape et le crochet remontent absolument en ligne verticale et sans le moindre pivotement, avantage très appréciable pour certains travaux tels que la manœuvre des cubilots dans les fonderies.

Le moteur de la grosse levée, le tambour est commandé par l'intermédiaire d'un mécanisme à vis sans fin et de deux trains d'engrenages, le tambour étant muni d'une roue dentée à chacune de ses extrémités. La liaison entre la vis sans fin et l'arbre du moteur est faite au moyen d'un accouplement rigide en forme de poulie, sur lequel vient agir un frein électromagnétique à double sabot.

Pour faire descendre la charge, on fait fonctionner le moteur comme génératrice sur des résistances de valeur variable; d'autre part, le frein électromagnétique qui, au repos, est maintenu serré contre un contrepoids qu'un électro-aimant soulève au moment de la mise en marche, se desserre et permet à la charge de descendre.

La translation du chariot est obtenue par un mouvement de vis sans fin et un train d'engrenages.

Les cinq moteurs électriques que comporte ce pont roulant sont établis pour être alimentés par du courant continu à 440 volts. Ceux qui sont affectés à la levée de la charge et à la translation du chariot sont à enroulement série; les deux moteurs de translation du pont ont un enroulement compound. Ils sont hermétiquement fermés et une porte étanche permet l'accès facile des balais.

La commande et le réglage des différents moteurs sont assurés par quatre coupleurs attaqués par des leviers verticaux. Ces appareils sont très robustes et comportent un puissant souffleur magnétique.

Pont roulant Delattre-Westinghouse. — La Société anonyme Westinghouse et MM. Delattre et Cie, de Ferrière-la-Grande, ont exposé en commun un pont roulant pouvant porter 12 tonnes, du type qu'ils ont déjà construit pour différentes usines métallurgiques.

Le pont roulant exposé a desservi une des halles des machines à l'Exposition.

Les principales données sont les suivantes :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Portée du pont	14,230 m
Charge maximum au crochet	12 000 kg
Hauteur totale de levée du crochet	7,50 m
Vitesse de levage par minute avec la charge maximum	6,00 m
Parcours maximum transversal du chariot	12,00 m
Poids total du chariot complet sans la charge	17 000 kg
Vitesse de translation du chariot par minute	30 m
Poids total du pont, y compris la charge maximum.	31 000 kg
Vitesse de translation du pont par minute	60 m
Écartement d'axe en axe des roues du pont	2,30 m

L'équipement électrique de ce pont roulant est du système Westinghouse. Il comporte, pour le levage, un moteur type tramway n° 69 B. d'une puissance de 30 chevaux à la vitesse angulaire de 550 t : m environ ; pour la translation du chariot et du pont, un moteur de 2 chevaux et un de 7,5 chevaux, tous deux à excitation en série et à carcasse fermée.

Les trois mouvements du pont sont absolument indépendants ; ils sont commandés à partir de la cabine, suspendue à l'une des extrémités du pont, au moyen de trois coupleurs, du type dit à collecteur, actionnés par l'intermédiaire de bielles et de leviers placés immédiatement sous la main du mécanicien chargé de la manœuvre.

Les mouvements de levage et de translation du pont sont pourvus chacun d'un frein électromagnétique à lame, actionné par un contrepoids convenablement réglé et s'appliquant sur une poulie disposée sur l'arbre du moteur du côté opposé au pignon. Le contrepoids est maintenu soulevé et, par suite, le frein se trouve desserré, par un électroaimant embroché en série dans le circuit du moteur. Dès que le courant cesse de passer dans le moteur, par suite d'une manœuvre effectuée sur le coupleur ou pour toute autre cause, le contrepoids retombe et serre le frein. Grâce à ce dispositif, la charge soulevée, en cas d'interruption intempestive du courant, reste soulevée et tout dévirage est évité.

Le dispositif de levage est en outre pourvu d'un frein mécanique de sûreté monté sur un arbre intermédiaire et ayant pour effet d'empêcher la charge maximum d'entraîner le moteur, lors de la descente, le frein électromagnétique étant même desserré.

L'arrêt produit par l'action automatique de ces divers freins est extrêmement rapide et précis.

L'équipement électrique du pont roulant est complété par un tableau, placé dans la cabine, portant les différents instruments de mesure et les appareils de marche et de sécurité.

Les moteurs du pont roulant fonctionnent avec du courant continu

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sous 250 volts qui a été fourni soit par le tableau de distribution de la section française, soit par un petit groupe convertisseur Westinghouse d'une puissance de 30 chevaux et permettant de transformer le courant continu à 440 volts fourni par le Comité Belge.

Pont roulant des ateliers Stuckenholz de Wetter sur Ruhr (Allemagne). — Ce pont roulant, installé dans la Halle des machines de l'Exposition, a été utilisé pour la manutention des diverses machines exposées.

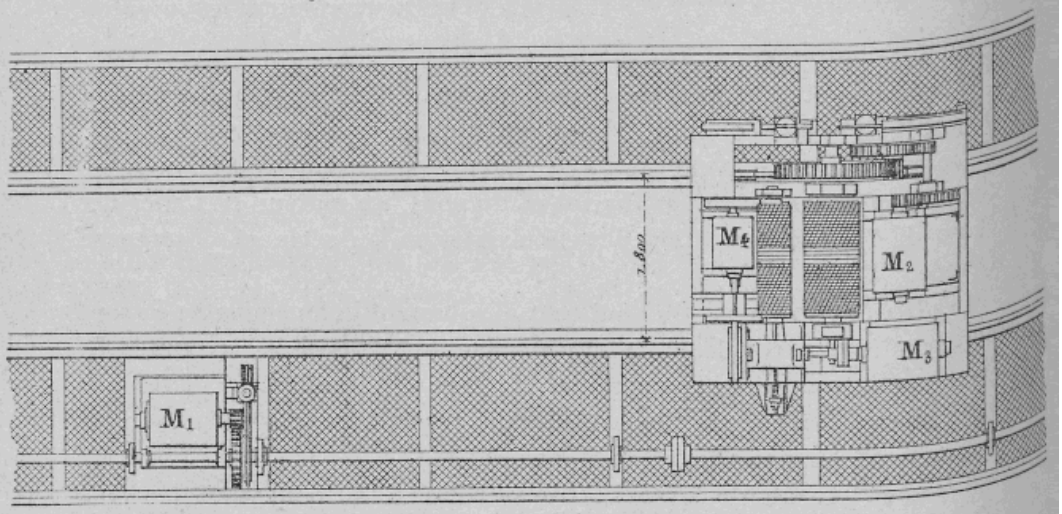


FIG. 120. — Pont roulant Stuckenholz.

Il peut porter 30 tonnes et comporte un appareil de levage auxiliaire de 5 tonnes monté sur le même chariot. Sa portée est de 24,15 m.

La charpente de ce pont roulant est constituée par deux poutres principales à membrure inférieure parabolique portant la plateforme, les galets de roulement et le chariot. Une balustrade entoure la plateforme.

L'équipement électrique aété fourni par la Société Siemens-Schuckert. Il comporte quatre moteurs électriques, dont trois sur le chariot. Le moteur de translation M_1 (*fig.* 120) est disposé sur la plateforme, à peu près au milieu de la portée, afin d'équilibrer les efforts de torsion s'exerçant sur l'arbre horizontal de transmission qui attaque les galets à chacune des extrémités du pont. Les pignons d'engrenages entraînant les galets sont en cuir vert et les paliers sont munis de coussinets en bronze à longue portée. Afin que le démarrage s'effectue sans secousses, le moteur est monté sur une suspension élastique.

L'arbre de transmission porte un frein, actionné par un électro-aimant,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui produit l'arrêt du pont presque instantanément à l'endroit voulu, aussitôt que le courant vient à être interrompu.

Le moteur a une puissance de 30 kilowatts; sa vitesse angulaire, de 400 t : m environ, imprime au pont roulant une vitesse de translation, à pleine charge, de 100 m par minute.

Le chariot (*fig.* 121) a deux tambours de levage actionnés chacun par un moteur. Chaque crochet, d'un type proportionné aux charges à soulever,

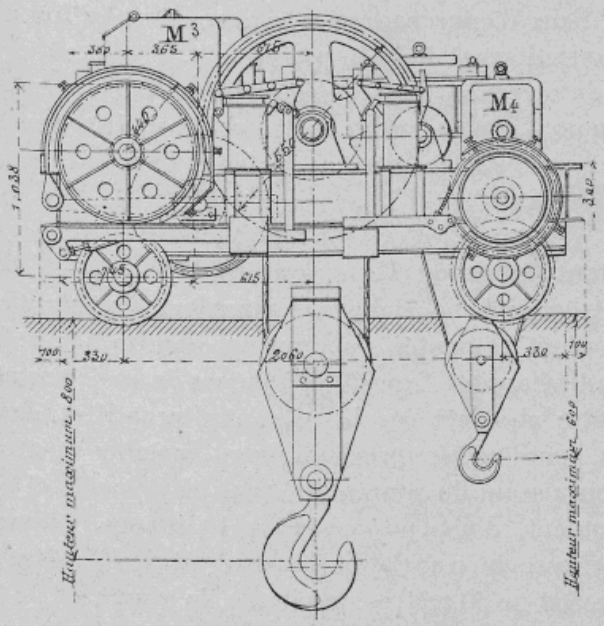


FIG. 121. — Chariot du pont roulant Stuckenholz.

est monté à billes sur son attache et est suspendu à un câble en acier galvanisé qui s'enroule sur le tambour. Les tambours portent deux gorges ayant le même pas, mais dirigées l'une à gauche, l'autre à droite, afin que, par suite de l'enroulement simultané des deux brins sur ces gorges, le crochet n'éprouve aucun déplacement dans le sens horizontal tant que le chariot ne se déplace pas lui-même.

Le moteur de levage principal M_2, de 30 kw, attaque le tambour par une série d'engrenages cylindriques. Un frein à bande, actionné par un électro-aimant, est placé sur le premier arbre intermédiaire. Lors de la descente de la charge, ce moteur fonctionne en génératrice sur les résistances de démarrage, de manière à former frein. La vitesse angulaire de ce moteur est de 400 t : m environ.

Le moteur secondaire M_3, d'une puissance de 30 kw comme le précédent et ayant même vitesse angulaire, attaque le petit tambour par l'intermédiaire d'une roue dentée et d'une vis sans fin, enfermées dans un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bain d'huile. L'effort de butée est supporté par une couronne de billes. L'axe du moteur et celui de la vis sans fin sont reliés par un manchon d'accouplement élastique; l'axe de la vis sans fin est muni d'un frein à bande.

Avec une charge de 5 tonnes, la vitesse de levage est de 25 m par minute et, pour une charge de 30 tonnes, de 4,35 m par minute.

Le mouvement de translation du chariot est obtenu par un moteur M_4 de 8 kilowatts. La transmission du mouvement du moteur s'effectue par l'intermédiaire d'engrenages droits avec interposition d'un frein. La vitesse de translation est de 50 m par minute.

La cabine du mécanicien est suspendue sous la charpente à l'une des extrémités du pont. Au-dessus de cette cabine se trouvent les prises de courant qui courent sur les fils conducteurs amenant le courant sous une tension de 440 volts.

Pont roulant Gilain de Tirlemont (Belgique). — Tous les ponts roulants électriques de la Halle des machines sont munis de moteurs à courant continu alimentés sous une tension de 440 volts. Celui de M. Gilain, destiné après l'Exposition à desservir un de ses ateliers, a été équipé pour être alimenté par du courant alternatif et, dans ces conditions, on a dû, pour l'utiliser provisoirement, installer un groupe moteur-générateur fournissant du courant alternatif à 190 volts et à 50 périodes.

Ce pont roulant, d'une puissance de 10 tonnes, a une portée de 14,23 m. La vitesse de translation du pont est de 80 mètres par minute et celle du chariot de 30 mètres; la vitesse de levage est de 6 mètres par minute.

Le moteur commandant la translation du pont est installé vers le milieu de la portée, au niveau de la passerelle, et son arbre longitudinal attaque deux galets de roulement. L'arrêt est obtenu au moyen d'un frein électromagnétique.

Le moteur de levage, d'une puissance de 20 chevaux, a une vitesse angulaire de 940 t : m. L'extrémité de son axe, opposée à celle qui porte les engrenages, est munie d'un volant serré par la bande d'un frein électromagnétique qui entre en action dès que le courant n'arrive plus dans le moteur. Un autre frein à lamelles multiples agit pour maintenir la charge sur l'un des axes intermédiaires de la commande.

Le tambour sur lequel s'enroule le câble de levage est de grand diamètre et est creusé de deux rainures en spirale, à pas opposés, dans lesquelles les brins viennent se placer. Ce câble est en acier galvanisé, a 15 mm de diamètre et résiste à un effort de traction de 180 kg par millimètre carré. Le crochet, monté sur billes, a une course utile de 10 m.

Le moteur de translation du chariot, d'une puissance de 4 chevaux,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est disposé auprès d'un essieu du chariot qu'il attaque par l'intermédiaire d'engrenages.

Des interrupteurs automatiques limitent la course du crochet et celle du chariot afin de prévenir tout accident.

Pont roulant Gustin. — M. Gustin fils aîné, de Deville (Ardennes), avait installé à l'Exposition un pont roulant électrique de 12 tonnes.

La portée de ce pont est de 14,23 m ; la vitesse de levage varie de

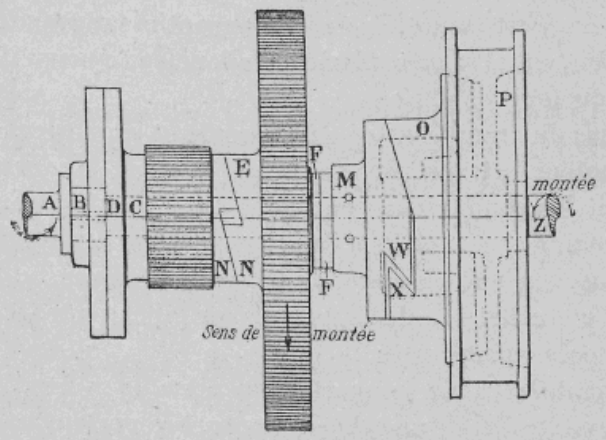


Fig. 122. — Appareil d'embrayage et de retenue système Gustin.

0,25 m à 3 mètres sous toutes charges et même à vide; la vitesse de translation du chariot atteint 30 m à la minute, et celle du pont, 50 m.

La charpente en acier est composée de deux poutres médianes et de deux poutrelles latérales en treillis entretoisées par un treillis horizontal rendant l'ensemble indéformable.

Le mécanisme de translation comporte un moteur électrique à chaque extrémité du pont, attaquant un des galets ; ceux-ci sont solidarisés par un arbre longitudinal.

Le treuil électrique, monté sur le chariot, comporte un dispositif tout nouveau : quand le moteur actionne la roue E (*fig.* 122) dans le sens qui correspond à la montée, les deux dentures N sont entraînées mutuellement ; le pignon C, qui commande l'arbre du tambour, est légèrement repoussé vers la gauche et comprime fortement les plateaux de friction D et B, de telle sorte que D entraîne B et, par suite, l'arbre A. En même temps, les ergots W attaquent les ergots X par leur plan incliné et les attirent à gauche, de façon à dégager le cône O de la poulie de frein P. Le mouvement reste entièrement libre, bien que la poulie P

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

reste serrée par le ruban de freinage. Au contraire, lors de l'arrêt du moteur, le retour en sens inverse des organes mobiles remet en prise le cône O avec la poulie, et le freinage se produit aussitôt.

La descente s'obtient en desserrant le ruban de la poulie P au moyen d'une chaîne ou d'une tringle quelconque qui soulève le contrepoids. Pour plus de sûreté, on a, de plus, installé sur le même levier un sabot de frein qui, normalement éloigné de la jante de la poulie P, vient s'y appliquer si l'on tire énergiquement sur la chaîne. On prévient ainsi tout emballement à la descente, même si la manœuvre est faite par une personne inexpérimentée : soit que l'on lâche, soit que l'on tire fortement, le freinage est assuré. Les surfaces sont assez grandes pour éviter tout échauffement, et le mécanisme est silencieux puisqu'il ne comporte aucun encliquetage.

Les flasques du treuil sont en acier moulé et supportent le moteur de levage, le moteur de translation, ainsi que la prise de courant à sept contacts qui suit les conducteurs d'un bout du pont à l'autre. Le levage se fait à l'aide d'une chaîne Galle à deux brins, dont l'extrémité libre vient s'emmagasiner sur une glissière, de façon à ne pas encombrer la partie inférieure. Le crochet double est monté sur billes pour faciliter l'orientation des pièces manœuvrées.

L'équipement électrique comporte : une prise de courant à articulation universelle avec trolleys ; un tableau de marbre portant un interrupteur général, un voltmètre, un ampèremètre, une lampe témoin et trois disjoncteurs à maximum d'une grande sensibilité ; un moteur de levage de 11 chevaux, un de 3 chevaux pour la direction du chariot et deux de 3 chevaux pour la translation du pont.

Les disjoncteurs à maximum constituent de véritables coupe-circuit automatiques. Chacun d'eux se compose d'un noyau de fer doux placé à l'intérieur d'une bobine montée en série avec le circuit à protéger. Lorsque l'intensité du courant dépasse la valeur déterminée, le noyau est attiré vers le haut, soulève le crochet de retenue et provoque ainsi le déclenchement de l'appareil. L'enclenchement se fait ensuite à la main avec la plus grande facilité.

L'absence de tout ressort permet un réglage très précis et invariable ; il suffit de manœuvrer une vis sur laquelle repose le noyau de l'électro-aimant. La rupture s'effectue brusquement sur des charbons à large surface éloignés des contacts principaux.

Le moteur de levage a une vitesse angulaire de 1 200 t : m ; il est réversible et est excité en série. Le rhéostat qui le dessert permet de produire le démarrage ainsi que l'inversion du sens de rotation. Il permet d'obtenir un réglage de vitesse très étendu, quelle que soit la valeur de la charge, c'est-à-dire depuis la marche à vide. La plus faible vitesse

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

réalisée est égale au dixième de la vitesse normale correspondant à la pleine charge.

Le moteur de translation du chariot est excité en série. Les deux moteurs de translation du pont sont à excitation compound ; ils démarrent très lentement, sont commandés par un seul rhéostat et, de plus, sont reliés mécaniquement pour éviter tout accident.

Tous ces moteurs sont établis pour être alimentés par du courant continu à 440 volts.

Treuil roulant électrique Gustin. — M. Gustin de Deville avait exposé un treuil de 10 tonnes de construction analogue à celle du pont roulant déjà décrit.

Treuil pour plan incliné L. Carton de Tournai (Belgique). — Ce treuil a été établi pour hâler des wagons, pesant environ 2 500 kg, sur un plan incliné ayant une pente de 30 cm par mètre, à la vitesse de 1 m par seconde. Il est commandé par un moteur électrique ; la réduction de vitesse s'effectue à l'aide de deux trains d'engrenages. Le pignon de l'un de ces trains d'engrenages se débraie pour la descente des wagons vides, descente réglée par l'action d'un frein à bande agissant sur une poulie de grand diamètre venue de fonte avec un des plateaux du treuil.

Ce treuil comporte, en outre, un frein électromagnétique de sûreté, agissant sur une poulie calée sur l'arbre prolongé du moteur électrique. Ce frein est normalement serré, mais, par la manœuvre du coupleur, il se desserre avant que le moteur ne se mette en marche. Il agit toutes les fois qu'il se produit une interruption de courant.

Transbordeurs électriques Gustin. — Ces transbordeurs sont exposés par M. Gustin de Deville (Ardennes). L'un d'eux peut porter une charge de 1 200 kg qu'il élève à la vitesse de 12 mètres par minute. Sa vitesse de translation est de 90 m par minute.

L'appareil de levage est identique à celui des palans du même constructeur. Ce treuil est muni d'une chaîne Galle dont l'extrémité libre vient s'emmagasiner en rideau pour ne pas encombrer la partie inférieure. Le moteur qui le commande a une puissance de 4 chevaux.

Ce transbordeur a été étudié pour circuler sur un chemin de roulement droit ou courbe. Deux des galets sont montés sur pivot et fonctionnent à la façon d'un avant-train ; les deux galets moteurs sont commandés par un mouvement différentiel, afin de leur permettre de passer sans patinage dans les courbes, soit à droite, soit à gauche. Le transbordeur exposé roulait sur un cercle fermé de 2 m de rayon.

Le mouvement de translation est commandé par un moteur de 1,5 cheval.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les deux moteurs sont commandés d'un point fixe par deux rhéostats inverseurs permettant d'obtenir un réglage de vitesse très étendu, quelle que soit la charge.

L'appareil comporte un frein automatique sans cliquet disposé pour fonctionner sans frottement aux plus grandes vitesses. Il est établi pour faire le levage et la descente par le moteur, la charge étant constamment retenue par le frein, à la montée comme à la descente, de manière que tout arrêt du moteur produise immédiatement l'arrêt du fardeau, quel que soit le sens de déplacement de ce dernier.

Le second transbordeur exposé, de construction analogue, peut porter une charge de 250 kg. Le frein est double, droite et gauche, automatique et sans cliquet. Le système de levage est à deux crochets et l'on peut alternativement monter et descendre la charge sur un brin ou sur l'autre. Ce transbordeur est appelé à rendre de grands services dans les magasins où l'on a à manutentionner de grandes quantités de sacs.

Monorail électrique Adolf Bleichert et Cie de Leipzig-Gohlis. — Ce transbordeur électrique se compose du chariot proprement dit et d'un treuil avec deux tambours à câble, le tout commandé électriquement. Aux câbles du treuil est suspendu une caisse en forte tôle d'acier destinée à recevoir la charge.

Le chariot est muni de roues en acier fondu montées sur essieu creux en bronze phosphoreux avec système de graissage automatique intérieur. Deux moteurs à courant continu, protégés contre la poussière, commandent ce chariot.

Le treuil disposé en dessous du chariot est également commandé par un moteur, semblable à ceux du chariot, au moyen d'un engrenage et d'une vis sans fin.

Un appareil spécial sert à effectuer les différentes manœuvres d'une manière automatique.

L'appareil comporte : un frein automatique pour le levage et la descente ; un coupleur pour les mouvements de levage et de translation ; un électro-aimant pour la commande du coupleur ; un interrupteur automatique pour limiter le mouvement de levage et de descente de la charge aux points extrêmes ; une prise de courant à trolley pour les moteurs ; une prise de courant auxiliaire à trolley pour l'électro-aimant de commande du coupleur.

Le frein automatique est un frein à ruban commandé par un électro-aimant qui le desserre et règle la vitesse de levage et de descente, évitant ainsi toute vitesse exagérée. Si le circuit du moteur vient à être interrompu, le frein arrête automatiquement la charge.

Le coupleur est un tambour cylindrique portant des contacts appro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

priés; il y en a un installé au point de départ et un autre au point d'arrivée. Ils servent à mettre en marche les moteurs de levage et de translation et la manœuvre de ces coupleurs est commandée par un électro-aimant.

L'interrupteur automatique limitant le mouvement de levage, ainsi que celui de descente, est actionné par une vis sans fin que porte l'axe du tambour du treuil.

Au point où s'effectue le chargement ainsi qu'à celui de déchargement sont installés un rhéostat de démarrage et un interrupteur placé dans le circuit de l'électro-aimant de commande du coupleur.

La caisse une fois chargée, on fait démarrer le moteur de levage, la caisse monte et, arrivée en haut, le moteur s'arrête ; aussitôt le chariot se met en marche et s'arrête dès qu'il est arrivé au point de déchargement. Le moteur du treuil se met alors en marche pour faire descendre la charge. Une fois la caisse vidée, on agit sur le rhéostat de démarrage, et les mêmes manœuvres s'effectuent dans l'ordre inverse.

Toutes les opérations se font successivement et automatiquement en manœuvrant simplement le rhéostat de démarrage à chacun des points terminus.

Grue roulante électrique de M. Gilain de Tirlemont (Belgique). — Cette grue, destinée à la future gare maritime de Bruxelles-État présente le même aspect que les grues automotrices à vapeur. Elle peut soulever 10 tonnes à la vitesse de 9 m par minute, se déplacer en palier et sous charge à la vitesse de 30 m et, enfin, tourner sur elle-même en 1 minute.

Son équipement électrique comporte deux moteurs à courant continu de 440 volts. Le moteur de levage, d'une puissance de 30 chevaux, est excité en série, tourne à la vitesse angulaire de 500 t : m et attaque le treuil par trois engrenages droits. Il est muni d'un frein électromagnétique. Le second moteur, commandant les mouvements de rotation et de translation, porte une vis sans fin attaquant une roue hélicoïdale horizontale, calée sur un arbre vertical et dont le pignon engrène avec la couronne dentée du chariot; ce moteur peut être également embrayé avec l'arbre central qui, au moyen d'engrenages coniques, transmet le mouvement à l'un des essieux du chariot.

La portée de cette grue est de 4,80 m, et la hauteur maximum du crochet est de 7 m au-dessus des rails.

La caisse du chariot peut recevoir 5000 kg de lest en fonte; elle repose sur quatre essieux reliés deux à deux par des balanciers de répartition des charges. La distance des essieux extrêmes est de 3 mètres et la largeur de voie de 1,80 m d'axe en axe des rails. Le chariot est muni

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de deux couronnes : l'une, servant de chemin de roulement à des galets de roulement; l'autre, munie d'une denture en vue du mouvement de rotation, à un axe creux qui donne passage à l'arbre vertical commandant la translation de la grue. Les deux moteurs sont installés sur la plateforme mobile.

Le tambour d'enroulement du câble porte une rainure hélicoïdale. Le câble, de 15 m de longueur et de 21 mm de diamètre, peut porter 30 tonnes.

Au-dessus de la cabine est un pylône servant de support aux prises de courant.

Palan électrique de la Compagnie internationale d'électricité de Liège. — Le palan exposé peut lever une charge de 1000 kg à la vitesse de 6 m par minute. Un seul homme peut, à l'aide de ce palan, manœuvrer sans effort et avec la plus grande sécurité d'assez lourdes charges.

La culasse du moteur sert en même temps de châssis et supporte la charge ; elle est en acier coulé d'une seule pièce avec la partie inférieure de la boîte à vis. Un pignon transmet le mouvement du moteur à une roue dentée calée sur l'axe de la vis sans fin ; la vis et la roue sont enfermées dans une boîte remplie de graisse.

Le dispositif de levage consiste en une chaîne de Galle, dont l'une des extrémités porte un crochet tournant sur billes, tandis que l'autre est suspendue à la carcasse du moteur. Un second crochet permet de suspendre le palan à n'importe quel endroit.

Un coupleur avec résistances métalliques, fixé contre le moteur, est muni d'une poulie à gorge sur laquelle est placée une cordelette qu'il suffit de tirer dans un sens ou dans l'autre pour provoquer la marche du moteur, tout en réglant à volonté la vitesse de levage ou de descente de la charge.

Un frein à friction à disques plats, appliqué sur l'axe de la vis sans fin permet de maintenir la charge suspendue à n'importe quelle hauteur.

En cas d'interruption du courant alimentant le moteur, le palan peut être manœuvré à la main à l'aide d'une roue commandée par une chaîne.

Palan électrique de la Société « La Française électrique ». — Le palan qui figurait dans le stand de cette Société (*fig.* 123) peut élever un charge de 2000 kg à la vitesse de 2,50 m par minute.

La construction de cet appareil de levage est très robuste. Le moteur qui le commande est à quatre pôles, avec balais en charbon et fonctionne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sans production d'étincelles, quels que soient le sens de rotation et la valeur de la charge.

L'appareil de démarrage est à changement de marche et comporte deux frotteurs : l'un, pour la marche dans un sens ; l'autre, pour la marche en sens inverse. Un enclenchement, immobilisant le frotteur inutilisé, empêche toute fausse manœuvre. De plus, le retour au point mort de l'appareil se produit automatiquement.

Cet appareil de démarrage, monté sur le palan même, est manœuvré du sol à l'aide de deux cordelettes.

Le palan est prêt à fonctionner dès que ses bornes ont été reliées au circuit de distribution électrique.

Les palans électriques permettent de transformer, d'une manière aussi pratique qu'économique, les anciens appareils à main en appareils mécaniques. Leur emploi augmente la rapidité des manœuvres ; en outre, la facilité avec laquelle on peut les transporter et les installer, permet de les utiliser dans tous les cas où un appareil de levage fixe ne saurait être utilisé.

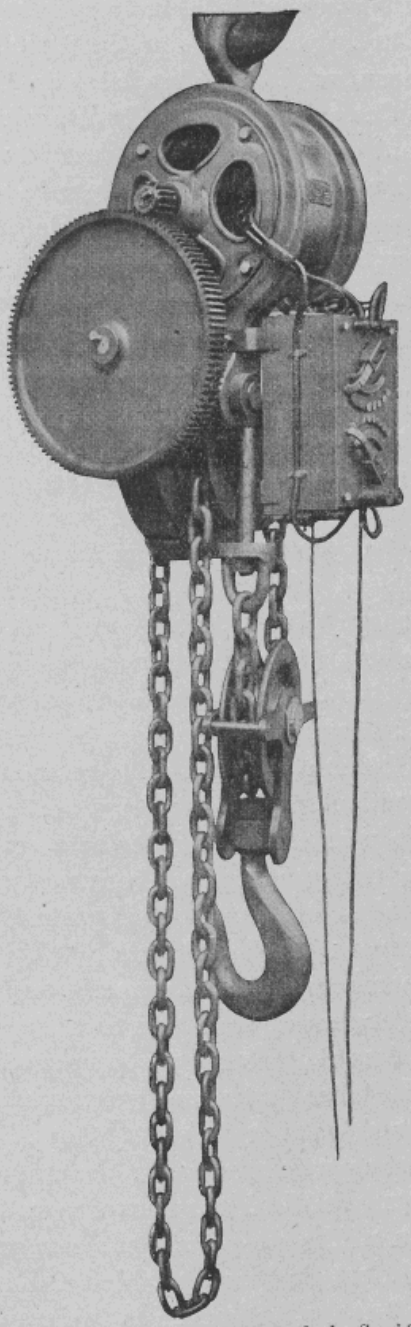


Fig. 123. — Palan électrique de la Société « La Française électrique ».

Palans électriques Gustin. — M. Gustin de Deville (Ardennes) exposait à Liège trois modèles de palans :

1° Un palan de 250 kg à deux brins, commandé par un moteur électrique de 0,5 cheval. La vitesse de levage est de 1,50 m par seconde ;

2° Un palan de 3000 kg à trois brins, avec dispositif permettant de moufler sur deux brins pour charges inférieures à 2000 kg et sur trois brins pour les charges supérieures. Il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est commandé par moteur de 4 chevaux, et la vitesse de levage est de 3,50 m par minute sur trois brins ;

3° Un palan de 1 200 kg à trois brins avec un moteur de 0,75 cheval, levant sa charge à la vitesse de 1 m par minute.

Ces palans ont été étudiés pour assurer un service continu et rapide, tout en ayant un rendement maximum. Ils évitent la perte de temps considérable nécessitée par la descente du crochet, car, dès qu'une charge est arrivée en haut de sa course, le crochet opposé est prêt à accrocher, disposition que l'on peut utiliser soit pour monter, soit pour descendre. On double ainsi le nombre de manœuvres possible avec les appareils similaires.

En ce qui concerne le rendement, on a constaté que le palan de 250 kg élève sa charge à la vitesse de 0,215 m par seconde, soit 13 m par minute, et que le moteur consomme 8 ampères sous 110 volts, ce qui donne un rendement de 70 0/0. Ce rendement élevé est dû à l'abandon de la vis sans fin et à l'emploi d'engrenages taillés.

Les palans Gustin sont munis chacun de deux freins à friction et sans cliquet, soustraits à l'action de la force centrifuge, qui maintiennent la charge à l'arrêt, quelle que soit sa position à la montée aussi bien qu'à la descente, soit sur un brin, soit sur l'autre.

Pour éviter tout accident provenant d'un défaut d'attention de la part du mécanicien, ces palans sont munis d'un *limiteur d'effort*. Ce dispositif à friction peut être réglé pour rattraper l'usure et rend le moteur indépendant. Si la charge est arrêtée dans son mouvement, soit par suite de la rencontre d'un obstacle, soit par suite de l'arrivée à fin de course, le moteur continue à tourner sans surcharge, la charge s'arrête et reste suspendue, tout en étant prête à reprendre sa course une fois l'obstacle disparu. Sur le palan de 250 kg, ce limiteur est réglé pour arrêter la marche au delà de 10 ampères ou pour toute surcharge supérieure à 300 kg.

Le moteur est excité en série et son rhéostat est fixé sur le moteur même et, dans ce cas, on le commande du bas à l'aide de cordes ; on peut l'installer également dans un endroit quelconque à portée de la main. Le rhéostat comporte 8, 10 ou 12 plots pour chaque sens de marche.

La partie supérieure de ce type de palan peut être munie de galets destinés à le faire mouvoir sur un chemin de roulement. Dans ce cas, on utilise un second moteur pour la translation de l'ensemble et on obtient ainsi un véritable treuil roulant.

Les applications de ces palans électriques sont très nombreuses.

Cabestan électrique de la Compagnie internationale d'électricité de Liège. — Ce cabestan est du même type que ceux qui sont en fonctionnement dans le port d'Anvers.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sur l'emplacement désigné et dans le but de mettre à l'abri les différents organes de l'appareil, on creuse une fosse d'environ 1,50 m de profondeur, destinée à recevoir une cuve en fonte servant de fondation; celle-ci porte en son point le plus bas une soupape permettant l'écoule-



Fig. 124. — Cabestan électrique Pieper. Vue extérieure.

ment de l'eau de pluie ou autre pénétrant par le jeu existant autour de la plaque supérieure ou couvercle, mais s'opposant à l'entrée de l'eau venant du sol.

La plaque supérieure ou couvercle, base de l'appareil, porte tout le mécanisme; on voit sur la figure 124 la poupée et la pédale de commande de l'interrupteur.

A l'intérieur de la cuve sont logés le moteur, l'interrupteur, les plombs fusibles et les résistances.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette plaque peut basculer autour d'un axe horizontal et se fixer dans la position normale au moyen de quatre verrous.

Si l'on désire visiter le système, soit pour le graissage, soit pour une autre cause, il suffit de retirer les verrous; l'appareil est équilibré au point qu'il suffit d'un effort des plus minimes pour faire basculer l'ensemble et amener tout le mécanisme hors de la cuve.

Les verrous, placés symétriquement dans le même plan horizontal

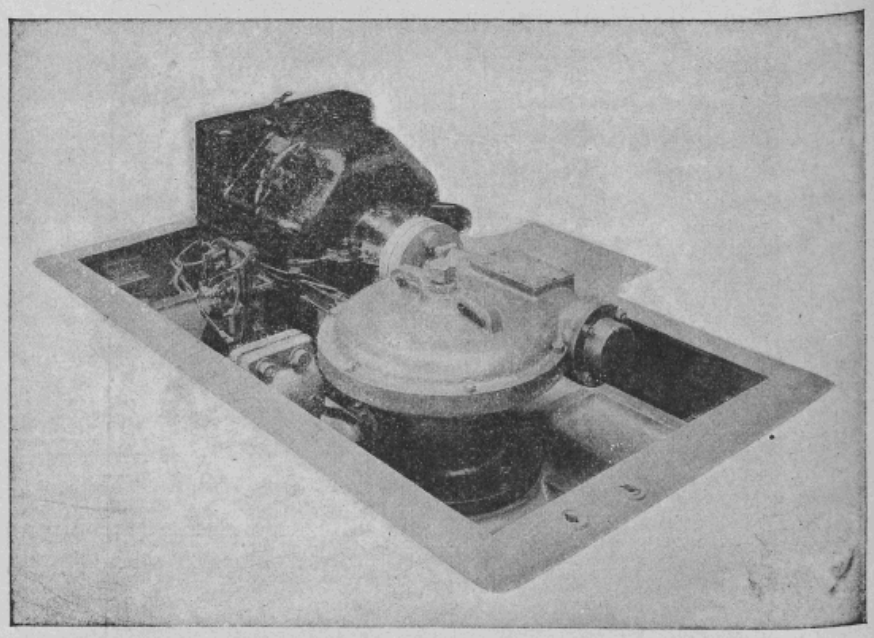


Fig. 125. — Cabestan Peiper. Appareil renversé.

que les pivots de rotation, maintiennent l'ensemble d'une façon parfaitement stable pendant l'examen.

Un des pivots de la plaque porte des bagues de prise de courant qui amènent le courant de la pédale aux appareils de démarrage et de là au moteur du cabestan ; ce dernier peut donc être mis en marche dans la position renversée (*fig.* 125).

Ce modèle réalise un programme qui a été dressé par la Direction des travaux communaux de la ville d'Anvers.

La réalisation du cabestan électrique exposé à Liège semble avoir répondu complètement aux conceptions des services techniques de la ville ; il a été adopté après des essais pratiques de tous genres, qui n'ont pas duré moins d'une année.

C'est dire que le choix du type présenté par la Compagnie internationale d'électricité n'a certes pas été fait à la légère.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Jusqu'à présent, vingt-sept de ces engins ont été fournis par cette dernière ; ils fonctionnent régulièrement sur les quais de la ville d'Anvers.

L'effort de traction de ces cabestans est de 1 250 kg ; la poupée tourne à la vitesse de 60 tours par minute, soit 1 m de déplacement pour le câble.

Le moteur, à courant continu, 220 volts, de la puissance de 27 chv, est logé dans une boîte en fonte. Son arbre porte à son extrémité une vis

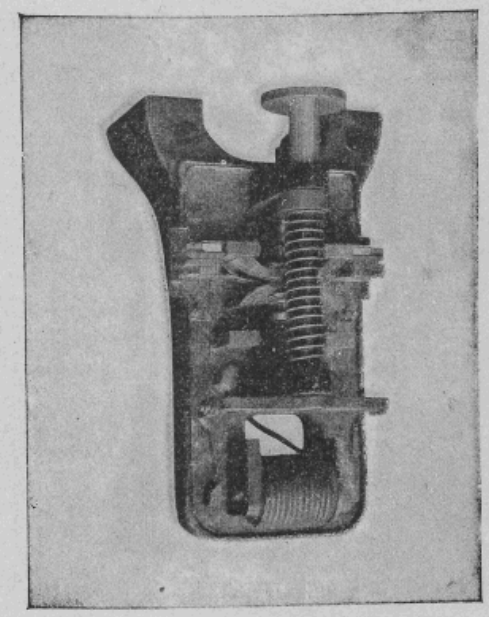


Fig. 126. — Pédale du cabestan Pieper.

sans fin, en acier forgé Siemens-Martin, actionnant une roue hélicoïdale en bronze phosphoreux placée directement sur l'arbre de la poupée du cabestan.

Ce moteur est du type compound permettant d'obtenir un couple assez élevé au démarrage et évitant tout emballement à vide.

Le compoundage est réglé pour une vitesse de 1,75 m par seconde à vide, de sorte que, pour les faibles charges, on obtient proportionnellement de plus grandes vitesses sans aucune surcharge du moteur.

Un cadre en fonte, vissé au couvercle, est muni d'une plaque en ardoise sur laquelle sont fixés les différents plots ainsi que la tige portant les balais. L'axe de la pédale porte deux balais (*fig.* 126) dont la course est limitée par deux séries de plots F, F′ et D, D′ (*fig.* 129).

A l'état de repos, un ressort ramène le balai supérieur en contact avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les plots F, F′ fermant le circuit de l'induit sur une résistance R^6, à l'effet d'obtenir le freinage.

L'effet de ce frein est tel que le cabestan s'arrête sur un cinquième de tour.

Par contre, une pression sur la pédale met en communication les plots D, D′, et met en fonction le démarreur.

Un dispositif spécial, consistant en un appareil dit revolver type C.I.E., a été prévu pour les plombs fusibles.

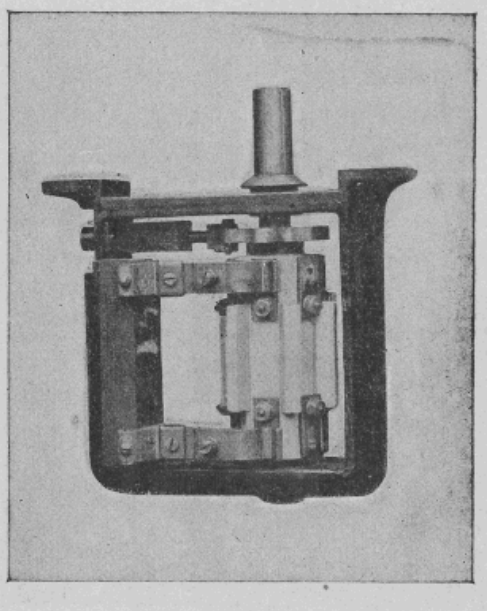


Fig. 127. — Plombs fusibles type « Revolver ».

Les plombs, au nombre de six, sont répartis d'une façon uniforme à la circonférence d'un cylindre en porcelaine; ce cylindre est supporté par un cadre en fonte fixé également au couvercle du cabestan.

La mise en circuit d'un nouveau plomb s'opère donc en faisant avancer l'appareil d'un cran.

Cette manœuvre se fait de l'extérieur au moyen d'une clé, ce qui évite de renverser chaque fois le cabestan.

Le démarreur est du type automatique à solénoïdes; il se compose d'un électro-aimant A et de cinq bobines B, B^1, B^2, B^3, B^4, actionnant les interrupteurs (*fig.* 128 et 129).

Chaque interrupteur, de même que celui de la pédale pour le freinage, comprend deux surfaces de contact : un balai métallique et un balai en graphite.

La fermeture et l'ouverture des circuits s'opèrent par l'intermédiaire

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des balais en graphite constituant le pare-étincelle; il s'ensuit que les pièces de contact et les balais métalliques présentent toujours des surfaces très propres.

La figure 129 représente le schéma des connexions complètes du cabestan.

Dès que l'on appuie sur la pédale, les plots D et D′ étant en relation, un courant traverse l'enroulement shunt de l'électro-aimant A et se rend au solénoïde B dont l'armature enclenche l'interrupteur.

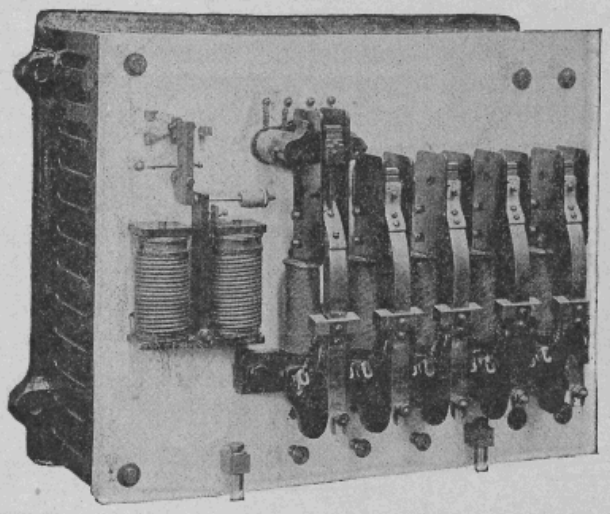


Fig. 128. — Démarreur du cabestan Pieper.

Le courant principal traverse alors l'enroulement-série de l'électro A, es résistances R, R^1, R^2, R^3, et fait démarrer les moteurs en même temps qu'une dérivation parcourt les solénoïdes B^1, B^2, B^3, B^4, dont le champ n'est pas suffisamment intense pour attirer l'armature.

Au fur et à mesure que la vitesse du moteur s'accélère, la tension augmente et le courant s'accroît proportionnellement à la vitesse de ce dernier.

Il s'ensuit que les solénoïdes enclenchent successivement leur interrupteur, mettant progressivement en court-circuit les résistances R, R^1, R^2, R^3, et permettent au moteur d'acquérir sa vitesse maximum.

Par le réglage de la tension des ressorts des interrupteurs automatiques, on arrive à faire succéder les fermetures à des intervalles plus ou moins rapprochés.

L'arrêt du moteur s'obtient en lâchant la pédale; les automatiques déclenchent; l'étincelle de rupture en B est atténuée par le souffleur magnétique branché en série sur le circuit d'excitation shunt.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En cas de surcharge, l'électro-aimant A, à intensité maximum, fonctionne, et l'armature agissant sur un levier met en court-circuit les enroulements des bobines, provoquant ainsi la rupture des interrupteurs ; le courant est alors interrompu et le moteur s'arrête.

Ces démarreurs donnent d'excellents résultats et ne nécessitent pas le moindre entretien ; ils sont, du reste, installés hors de portée, dans des endroits inaccessibles, enfermés dans une boîte à l'abri de la poussière.

Le cabestan peut donc être confié au premier venu, en ce sens que la

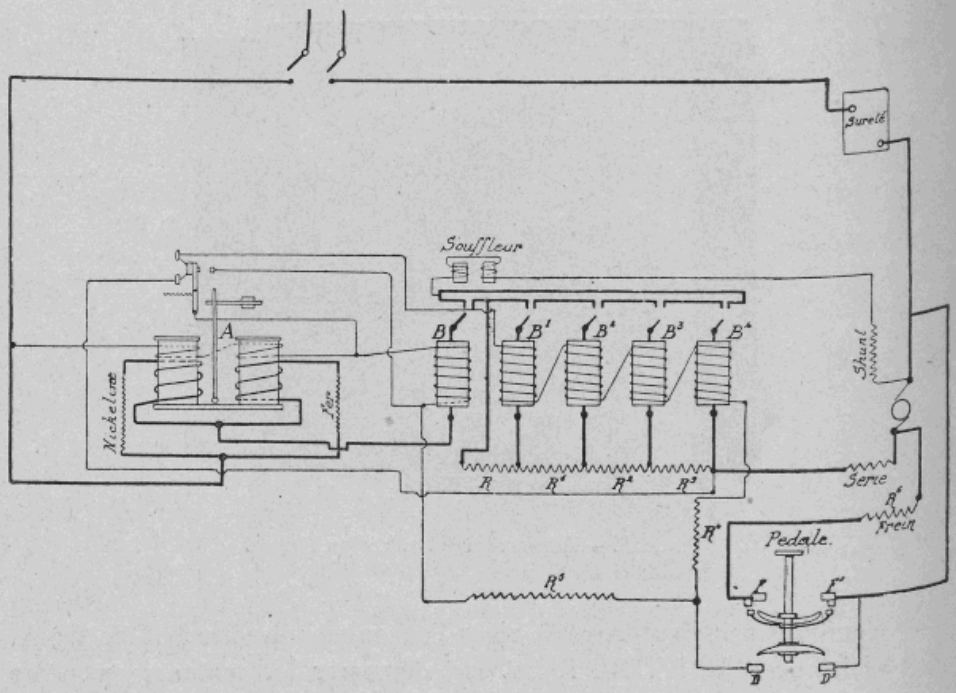


Fig. 129. — Schéma des connexions du cabestan Pieper.

mise en marche et l'arrêt s'obtiennent par la simple manœuvre de la pédale.

Ajoutons, en terminant, que les cabestans ne sont pas exclusivement réservés aux installations de ports de mer, mais peuvent être employés aussi très avantageusement dans les gares de chemins de fer ou les usines pour la manutention des wagons ou autres chariots.

Ils peuvent également rendre de grands services dans les établissements sidérurgiques, aciéries, etc., et pour divers travaux, entre autres pour le défournement des lingots placés dans des fours à réchauffer.

Cabestan électrique, système Hillairet-Huguet. — Ce type de cabestan électrique est en service sur le réseau des chemins de fer du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

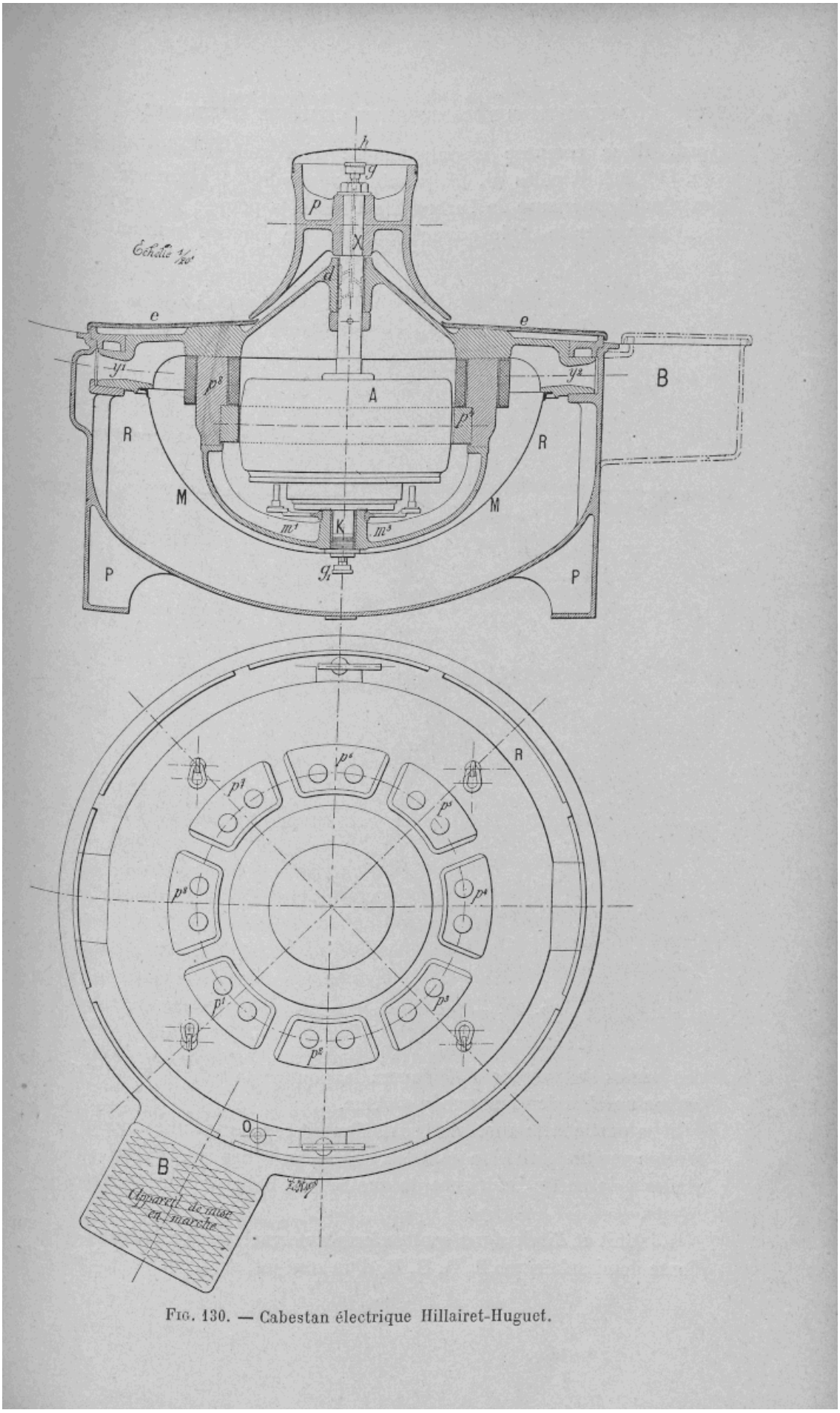


Fig. 130. — Cabestan électrique Hillairet-Huguet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nord. Il se compose essentiellement d'un moteur multipolaire A (*fig.* 130) à huit pôles p^1, p^2, p^3, etc., avec induit à arbre vertical ; à l'extrémité supérieure de l'arbre X est calée la poupée p, sur laquelle vient s'enrouler le câble qui actionne soit les plaques tournantes, soit

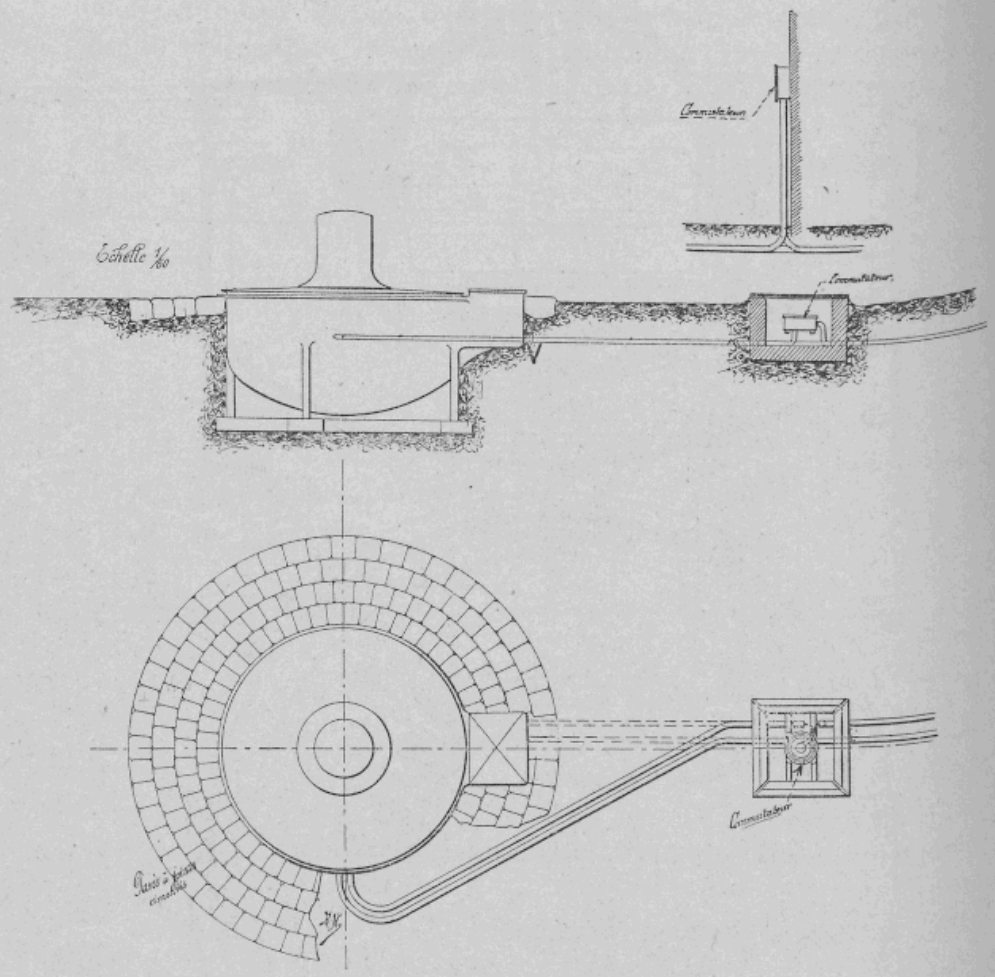


FIG. 131. — Ensemble de l'installation du cabestan.

les rames de wagons à déplacer ; la poupée fait donc exactement le même nombre de tours que le moteur.

A sa partie inférieure, l'arbre de l'induit repose sur une crapaudine K, portée par un croisillon dont les quatre branches m^1, m^2, m^3, m^4, sont fixées à la partie inférieure de quatre des bobines inductrices p^2, p^4, p^6, p^8.

L'induit et l'inducteur sont enfermés normalement dans une cuve en fonte demi-sphérique R, R, R, R, d'un seul jet, sans joint ni pièces rap-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

portées et pourvue de quatre pieds P, P, P, P, sur lesquels repose le cabestan. L'appareil électrique moteur est lui-même garanti par une enveloppe en tôle en deux pièces M, M.

La culasse mobile de toutes les bobines inductrices est formée par la plate-forme de l'appareil convenablement renforcée suivant la ligne moyenne du circuit magnétique.

La poupée, la plate-forme, les bobines inductrices, le croisillon, l'induit et son arbre forment un ensemble indépendant de la cuve.

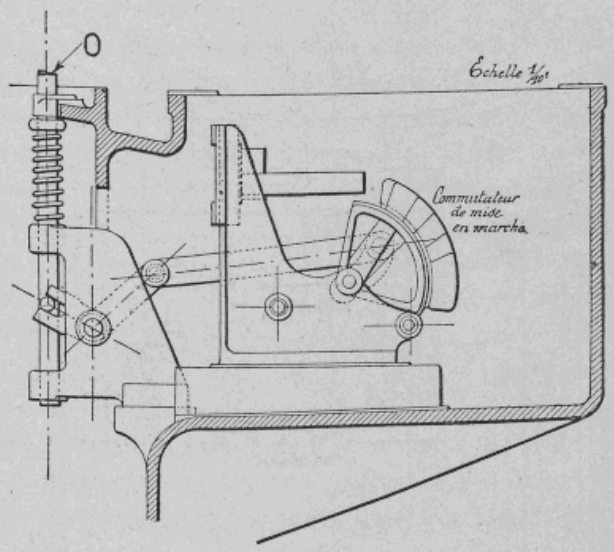


FIG. 132.

Cet ensemble peut basculer autour de deux tourillons y^1, y^2 horizontaux, tournant sur des coussinets venus de fonte avec la cuve. Le centre de gravité de cet ensemble se trouvant sensiblement sur l'axe de ces tourillons, le système est pratiquement équilibré; on peut donc sans aucune précaution faire basculer la poupée, renverser la plateforme et amener à la partie supérieure les organes électriques pour les visiter, les entretenir ou les réparer. Sur la plate-forme sont disposées des plaques de fonte e, e à emboîtement et à recouvrement, en forme de secteurs, qui viennent converger sous la base de la poupée et ont pour but d'empêcher l'eau de pénétrer dans la cuve.

Aucun joint n'est nécessaire et l'eau ne peut pénétrer dans la cuve; on n'a pas trouvé trace d'infiltrations après plusieurs mois d'exposition aux pluies et à la neige.

Un commutateur manœuvré par une pédale O, qui fait saillie au-dessus de la plate-forme du cabestan, permet de lancer le courant progres-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sivement dans le moteur au moyen d'un rhéostat disposé à côté du commutateur. Ces deux derniers appareils sont disposés dans une boîte B située sur le côté de la cuve et venue de fonte avec elle.

Des oreilles, également venues de fonte avec la cuve, portent des anneaux qui servent à élinguer l'ensemble pour charger ou mettre en place le cabestan.

Aucune maçonnerie n'est nécessaire pour recevoir cet appareil, une simple fouille suffit pour son établissement.

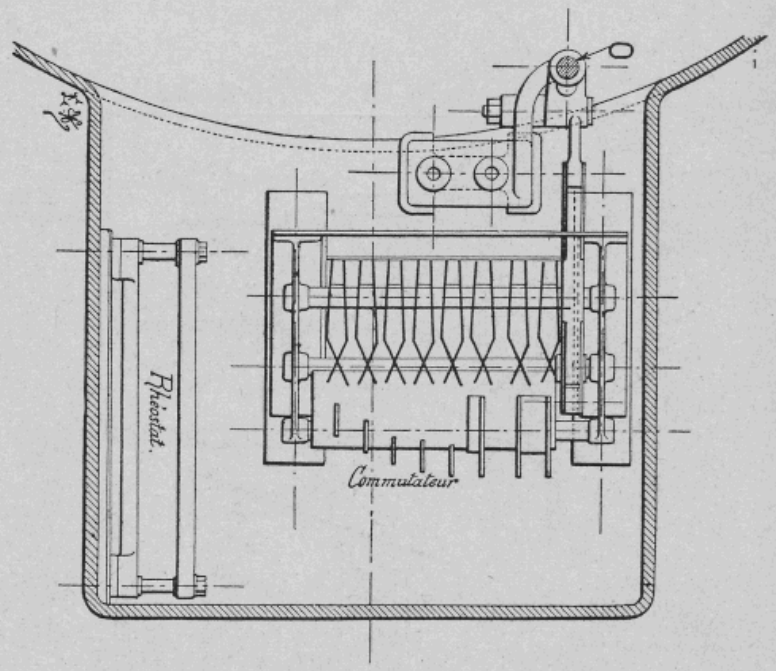


FIG. 133.

Partie mécanique. — La poupée a 0,38 m de diamètre à la gorge L'effort de traction qu'on peut opérer avec les cabestans varie entre 1 et 1 000 kg ; le groupement des bobines inductrices peut se faire de deux façons, selon qu'on veut obtenir un effort de 1 à 450 kg ou de 1 à 1 000 kg.

Le graissage du collier *d*, pris dans la plate-forme et qui maintient l'arbre de la poupée à sa partie supérieure, est fait à la graisse.

Le graisseur *g* se trouve à la partie supérieure de l'arbre sous le chapeau mobile *h* de la poupée ; un trou longitudinal vient apporter la graisse à des trous rayonnants qui aboutissent à des pattes d'araignée débouchant au droit du coussinet du collier.

Le graissage de la crapaudine K se fait également à la graisse par le graisseur *g* fixé en dessous.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les deux graisseurs du collier et de la crapaudine ne sont manœuvrés qu'à de rares intervalles. Un graissage minime suffit; il n'est pas nécessaire de visiter les godets plus d'une fois par jour pour les appareils les plus surchargés et qui ont à effectuer de 200 à 250 manœuvres par vingt-quatre heures.

Les organes mécaniques sont établis de façon à pouvoir résister à des efforts très supérieurs aux efforts normaux; l'absence d'engrenages et de cliquets permet, à la rigueur, de se servir de ces appareils pour dévirer; cette marche à vide en sens inverse ne présente aucun inconvénient pour atteindre la plaque à tourner.

Les conducteurs amenant le courant aux cabestans sont ou aériens ou souterrains. La partie aboutissant directement à l'appareil y pénètre en V (*fig.* 131), mais passe par l'intermédiaire d'un commutateur placé dans une boîte en fonte disposée dans un regard ou contre un mur au voisinage du cabestan. Cet appareil a pour but de permettre de couper le courant quand on veut faire une réparation ou l'entretien. — Il est prévu, de plus, pour être manœuvré en cas d'avarie survenant au cabestan en service ou à la canalisation. — Pour cette dernière raison, il convient de le placer à une certaine distance de la poupée de balage (en pratique à au moins 3 m) et dans une zone autant que possible non battue par le câble de manœuvre, de manière que l'agent de service au cabestan puisse l'atteindre rapidement sans être gêné par ce câble.

La figure 132 donne les détails du commutateur de mise en marche, et la figure 133 la disposition de l'appareil dans la cuve, la pédale se trouvant en O.

Pompe électrique des Ateliers de Charleroi (Belgique). — Cette pompe, destinée au service d'exploitation des mines, est commandée directement par un moteur asynchrone triphasé d'une puissance de 110 chevaux, ayant une vitesse angulaire de 163 t : m en charge, lorsqu'il est alimenté sous une tension de 1900 volts à la fréquence de 50 périodes par seconde.

Cette pompe à pistons a sa manivelle calée directement sur l'arbre du moteur; elle débite 1250 litres par minute et élève l'eau à une hauteur de 305 m.

Le stator du moteur est constitué par des tôles maintenues par des boulons dans une carcasse ronde en fonte, en deux pièces assemblées suivant un plan horizontal. La partie inférieure de la carcasse est munie de pattes, venues de fonte, servant à fixer le moteur sur le socle de la machine. Les tôles du stator ont 270 mm de longueur axiale et forment trois paquets séparés par des canaux de ventilation de 10 mm de largeur. Le diamètre extérieur de ce noyau est de 2,20 m, et le diamètre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'alésage de 1,90 m ; il porte à sa périphérie 324 encoches mi-fermées de 13 mm de largeur et 40 mm de profondeur. Chaque encoche contient 9 fils de 2,8 mm de diamètre, entourés d'un guipage et placés dans un caniveau en micanite. Cet enroulement forme 36 pôles, ce qui donne 3 encoches par pôle et par phase. Les trois phases sont montées en étoile, et l'intensité du courant, à pleine charge, est de 35 ampères.

L'entrefer simple est de 1,5 mm.

Le rotor, également à noyau feuilleté, a un diamètre extérieur de 1,897 m et un diamètre intérieur de 1,70 m ; sa longueur axiale est de 270 mm, y compris deux canaux de ventilation ayant chacun 10 mm de largeur. Il porte, sur sa périphérie, 540 encoches mi-fermées de 7,5 mm de largeur et de 23 mm de profondeur ; chaque encoche contient une barre de cuivre de 4 mm d'épaisseur sur 15 mm de largeur. Ces 540 barres, isolées par du carton comprimé, constituent un enroulement triphasé aboutissant à trois bagues de contact, enfermées dans un coffret en fonte. Un dispositif spécial permet de mettre les bagues en court-circuit.

Pompe électrique de la Société A. E. G., Union électrique de Bruxelles. — Cette pompe à plongeur, du système Riedler-Express, est commandée par un moteur de 7,5 chevaux et peut élever 30 m^3 d'eau à l'heure à 35 m de hauteur.

Les soupapes de cette pompe ont une faible levée ; elles s'ouvrent et se ferment automatiquement, la fermeture étant commandée par un ressort en spirale. Ces soupapes sont facilement accessibles ; en enlevant un premier couvercle, on trouve la soupape de refoulement disposée dans le fond du cylindre du plongeur ; en retirant ce fond lui-même, on démasque la soupape d'aspiration. La course du plongeur est de 15 cm seulement.

Les deux chambres d'aspiration et de refoulement sont surmontées chacune d'un réservoir à air. Une petite pompe, actionnée directement par la crosse du piston plongeur, envoie de l'air dans le réservoir de refoulement jusqu'à ce que le niveau de l'eau dans ce dernier descende au-dessous d'une certaine limite ; à ce moment, elle s'arrête et se remet automatiquement en marche quand le niveau de l'eau atteint sa hauteur maximum.

Le moteur électrique entraîne par courroie la poulie fixée sur l'arbre de la pompe.

Pompe triplex de L. Carton de Tournai (Belgique). — Cette pompe électrique a trois pistons plongeurs dont les manivelles font entre elles des angles de 120°. Le diamètre des pistons est de 150 mm, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leur course de 180 mm. A la vitesse angulaire de 100 t : m, cette pompe débite 50 m³ à l'heure.

Les soupapes d'aspiration et de refoulement sont multiples, ce qui procure une large section de passage, quoique la levée des soupapes soit faible ; il y a six séries indépendantes de soupapes.

Une chambre d'aspiration et une chambre de refoulement sont communes aux trois pistons plongeurs ; ces chambres forment cloches à air.

La pompe est attelée au moteur par l'intermédiaire d'une courroie.

Pompe de la Société des ateliers de construction de la Meuse de Sclessin (Belgique). — Cette pompe destinée à l'épuisement des mines est à mouvement alternatif et fonctionne à la vitesse très réduite de 90 t : m. Son débit normal est de 30 m³ à l'heure. La hauteur verticale de refoulement est de 600 mètres.

Elle est actionnée par un moteur à courant continu sous 440 volts.

Foreuses électriques de la Société A. E. G., Union électrique de Bruxelles. — Cette Société exposait une foreuse actionnée par un moteur à courant continu de 0,1 cheval et tournant aux vitesses angulaires de 300 t : m ou de 600 t : m, suivant le rapport des engrenages utilisés. Le moteur est entièrement cuirassé et est muni de deux poignées fixées à la carcasse. Dans la poignée de droite est placée une petite clé unipolaire qui permet de mettre le moteur en marche par une simple poussée du doigt et qui coupe le circuit en revenant automatiquement à sa position initiale dès que cesse cette poussée.

A signaler également une foreuse analogue avec moteur triphasé tournant à 600 t : m, avec réduction de vitesse unique et, aussi, plusieurs, foreuses verticales à courant continu et à courants triphasés.

Forge portative à soufflerie électrique. — La Société Gramme avait exposé une forge portative dont la soufflerie est actionnée par un moteur électrique consommant 4 ampères environ sous 110 à 120 volts.

La soufflerie, à pression réglable, consiste en un ventilateur à turbine, commandé directement par le moteur électrique qui fonctionne à la vitesse angulaire de 2500 t : m.

La tuyère débite 0,700 m³ d'air à la pression de 80 mm d'eau. Tous les organes mobiles, ainsi que le rhéostat de démarrage, sont installés à l'intérieur de la caisse inférieure de la forge, les mettant ainsi à l'abri de toutes projections de charbon et d'étincelles. Les portes de cette caisse facilitent la visite et l'entretien.

Facilement transportable, cette forge rend de grands services dans les ateliers de montage, les chantiers de construction, les arsenaux, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ventilateurs électriques. — Les ventilateurs électriques, exposés par la Société anonyme Westinghouse, sont construits pour fonctionner soit avec du courant continu, soit avec du courant alternatif.

Les ventilateurs sur pied, destinés à être placés sur un bureau ou sur une table, ont une vitesse angulaire de 1 000 à 1 550 t : m et consomment 44 watts avec du courant continu sous 100 à 120 volts; les ailettes ont un diamètre de 30 cm. Alimentés par du courant alternatif, sous 100 à 120 volts, avec une fréquence de 40 à 60 périodes par seconde, les ventilateurs à ailettes de 30 cm consomment 65 watts. et ceux de 40 cm, 103 watts.

Les ventilateurs appliques sont d'un modèle analogue et consomment pour leur fonctionnement la même quantité d'énergie électrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE IV

TRACTION ÉLECTRIQUE

Locomotive pour mines de la Société des ateliers de Charleroi (Belgique). — Cette Société exposait une des locomotives qu'elle a construites pour la Société des charbonnages d'Amercœur. Ces locomotives à accumulateurs sont destinées à remplacer les chevaux et ont été établies pour pouvoir circuler dans toutes les galeries où passent les wagonnets.

Cette locomotive peut remorquer, à la vitesse de 10 km à l'heure, des rames de 24 wagonnets, chaque rame pesant à vide 6,4 tonnes et, lorsque les wagonnets sont pleins, 16 tonnes.

La largeur de la voie, desservant une galerie de 1 200 m de longueur, est de 50 cm.

La locomotive est constituée par un châssis rigide surmonté, sur une partie de sa longueur, par une caisse contenant la batterie d'accumulateurs. Ce châssis est formé de deux longerons entretoisés qui se terminent, à l'avant et à l'arrière, par des traverses en acier coulé, de forme cintrée, portant des tampons de choc.

Cette locomotive a une longueur de 4,30 m, une largeur de 1,090 m et une hauteur de 1,185 m. L'écartement des essieux est de 1,20 m. Son poids total est de 6 000 kg, y compris 2 800 kg d'accumulateurs.

Les appareils de commande et de manœuvre sont placés à l'avant de la caisse.

Deux moteurs, chacun d'une puissance de 5 chevaux, actionnent la locomotive, attaquant par un système réducteur à engrenages les deux essieux en acier sur lesquels sont calées, à la presse hydraulique, les roues en acier coulé.

Ce type de moteur est formé d'une carcasse de forme parallélipipédique ayant 364 mm de longueur axiale, 370 mm de largeur et 530 mm de hauteur. Cette carcasse enveloppe entièrement toutes les parties du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moteur et est composée de deux parties assemblées à l'aide de charnières placées du côté opposé à l'essieu, afin de permettre la visite et le démontage faciles du moteur.

Quatre pôles inducteurs, dont deux pôles conséquents, sont rapportés sur cette carcasse ; les noyaux sont feuilletés, et les épanouissements polaires de forme ovale sont alésés à l'intérieur de la carcasse et fixés à l'aide de forts goujons.

Les noyaux supérieur et inférieur portent chacun une bobine inductrice en série, maintenue par l'épanouissement polaire.

L'entrefer est de 2 mm, et l'induit est bobiné en anneau Gramme sur un noyau feuilleté claveté sur une lanterne en bronze. L'enroulement est réparti dans 48 encoches rectangulaires.

La batterie d'accumulateurs comprend 36 éléments répartis dans 3 caisses en bois doublées de plomb. Chaque élément, du type mixte, comprend 7 plaques positives et 8 plaques négatives. Les plaques positives sont du type « Union », et les négatives sont formées d'une grille empâtée avec la matière active composée de 80 parties de litharge, 10 de minium, 10 de sulfate de magnésie et d'acide sulfurique à 15° Baumé. Les bacs sont en ébonite. La hauteur totale d'un élément, y compris les bornes, est de 460 mm, la largeur de 240 mm, et la longueur de 305 mm. Au régime de décharge en 5 heures, la capacité est de 350 ampères-heure.

Le coupleur est du type parallèle à freinage rhéostatique et à soufflage magnétique, permettant la marche en avant et en arrière. Les câbles servant à établir les connexions ainsi que le coupleur sont placés dans une gaine en chanvre imprégnée de vernis isolant ; à proximité des roues, cette gaine est logée dans un tube en fer.

Un frein à sabot, placé à l'extérieur des essieux, agit sur chacune des roues. Ce frein est commandé par une manivelle à cliquet.

Une lampe à incandescence munie d'un puissant réflecteur est placée à l'avant ainsi qu'à l'arrière de la locomotive ; une lampe applique éclaire les instruments de mesure.

Chaque locomotive peut, avec la charge de ses accumulateurs, effectuer 16 voyages aller et retour par 10 heures. Avec deux locomotives en service, on remorque pendant ce temps 768 wagonnets, soit 307 tonnes de charbon.

Voiture automotrice pour trains à unités multiples, système Sprague, de la Société parisienne électrique. — La Société parisienne pour l'industrie des chemins de fer et tramways électriques avait exposé à Liège, en commun avec la Compagnie du Métropolitain de Paris, une voiture automotrice du type entrant dans la composition des trains

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à unités multiples, ainsi qu'une série de photographies représentant les organes de ces voitures, équipées d'après le système Sprague.

Chaque voiture automotrice est munie d'un coupleur et d'un inverseur actionnés chacun par un servo-moteur dont le mécanicien commande la manœuvre, depuis la cabine de tête du train, au moyen d'un commutateur multiple ou manipulateur et d'une ligne à cinq conducteurs longeant la totalité du train.

Le servo-moteur du coupleur est constitué par un petit moteur série bipolaire; celui de l'inverseur consiste en deux solénoïdes à noyau plongeur.

Les circuits de commande du coupleur sont fermés au moyen de relais actionnés par les courants qu'émet le manipulateur; quant aux solénoïdes commandant l'inverseur, ils sont actionnés directement par le manipulateur.

Dans la voiture exposée à Liège et qui comporte toutes les modifications et perfectionnements apportés au système Sprague, le coupleur et l'inverseur sont placés l'un au-dessus de l'autre avec un intervalle suffisant autour de ces appareils pour que l'on puisse y accéder facilement, et les résistances sont placées à la partie supérieure comme dans les équipements Thomson ; les jonctions entre les appareils et les résistances sont établies à l'aide de fils de cuivre nus. Ces résistances sont du modèle ordinaire à grilles en fonte, maintenues dans des cadres de même métal.

Les circuits principaux sont séparés en deux portions absolument distinctes : chaque moteur est monté en série avec les résistances qui lui sont affectées ; ces deux ensembles de résistances se trouvent reliés en série ou en parallèle en même temps que leurs moteurs.

L'inverseur, qui effectue entre les induits et les inducteurs des deux moteurs les connexions convenables, sert en même temps d'interrupteur et remplit ainsi un double rôle. Pour cela il comporte, outre les positions de marche avant et arrière, une troisième position intermédiaire pour laquelle aucun courant ne passe dans les circuits principaux.

La rupture du courant est toujours effectuée, en fonctionnement normal, par l'inverseur qui porte à cet effet deux touches supplémentaires et une puissante bobine de soufflage : malgré cela il est également possible d'effectuer cette rupture au moyen du coupleur. L'inverseur est constitué par un cylindre qui peut occuper trois positions : celle du milieu, à laquelle le rappellent des ressorts énergiques combinés avec un dispositif limitant exactement le rappel du cylindre, est la position neutre où le courant est coupé ; le passage aux deux autres positions — marche avant ou marche arrière — est déterminé par l'action de l'un des deux solénoïdes dont les noyaux sont reliés à l'axe du cylindre par des bielles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'ensemble de l'inverseur est contenu dans une caisse en tôle à l'extérieur de laquelle sont placés les deux électro-aimants.

Le coupleur en lui-même n'offre rien de particulier : il est placé dans une caisse en tôle dont le fond est en ardoise et en bronze ; il est manœuvré par un petit moteur muni de deux bobines inductrices enroulées de telle sorte que le servo-moteur tourne dans un sens ou dans l'autre, suivant que le courant, après avoir traversé l'induit, passe dans l'une ou l'autre de ces bobines. Ce servo-moteur, dont la vitesse de rotation est assez élevée, entraîne, par l'intermédiaire d'une vis sans fin, une roue dentée clavetée sur un arbre auxiliaire. Celui-ci est accouplé au moyen d'un ressort en hélice à l'arbre du coupleur qui porte une roue à plusieurs encoches dont chacune correspond à une position nettement déterminée. Un galet, porté par une chape sollicitée par un ressort, tombe dans les encoches de cette roue et empêche tout mouvement du cylindre, si l'effort exercé sur son arbre n'est pas suffisant pour vaincre la résistance du ressort de la chape. De la sorte, quand le servo-moteur tourne, il a pour effet de bander le ressort en hélice qui réunit les deux arbres jusqu'à ce que, la tension de ce ressort devenant suffisante pour faire sortir le galet de l'encoche, le cylindre avance brusquement d'un cran. Afin que tout mouvement prenne fin aussitôt après l'ouverture du circuit du servo-moteur, celui-ci est muni d'un frein magnétique dont la bobine, traversée par le courant de commande, attire deux leviers et écarte ainsi les mâchoires situées de part et d'autre d'une poulie clavetée sur l'axe : aussitôt que le courant cesse, un ressort applique les deux mâchoires contre celle-ci et provoque l'arrêt immédiat de tout le système.

Les quatre positions dans lesquelles le cylindre du coupleur doit pouvoir s'arrêter et se maintenir, au gré du mécanicien sont : la position zéro ; la position de manœuvre, qui correspond à la marche en série avec la majeure partie des résistances et permet une marche très ralentie et des démarrages doux ; la position série et la position parallèle (moteurs en série ou en parallèle sans résistances). Le dispositif adopté pour atteindre ce but est le suivant (*fig.* 134) : le circuit du servo-moteur relié au conducteur positif par le fil 3-30-31 traverse l'induit, puis se bifurque, chacune des deux branches traversant l'un des inducteurs et arrivant en un point 33 ou 36 à deux petits frotteurs spéciaux disposés le long du cylindre du coupleur où les circuits de commande secondaire, circuits locaux, sont figurés par un trait plein et fin.

A ces frotteurs, ainsi qu'aux quatre frotteurs intermédiaires 37, 38, 39 et 40 correspondent des touches placées sur le cylindre. Sur le schéma (*fig.* 134) les connexions entre touches n'ont pas été figurées, mais on a groupé en sections limitées par des lignes pointillées les différentes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

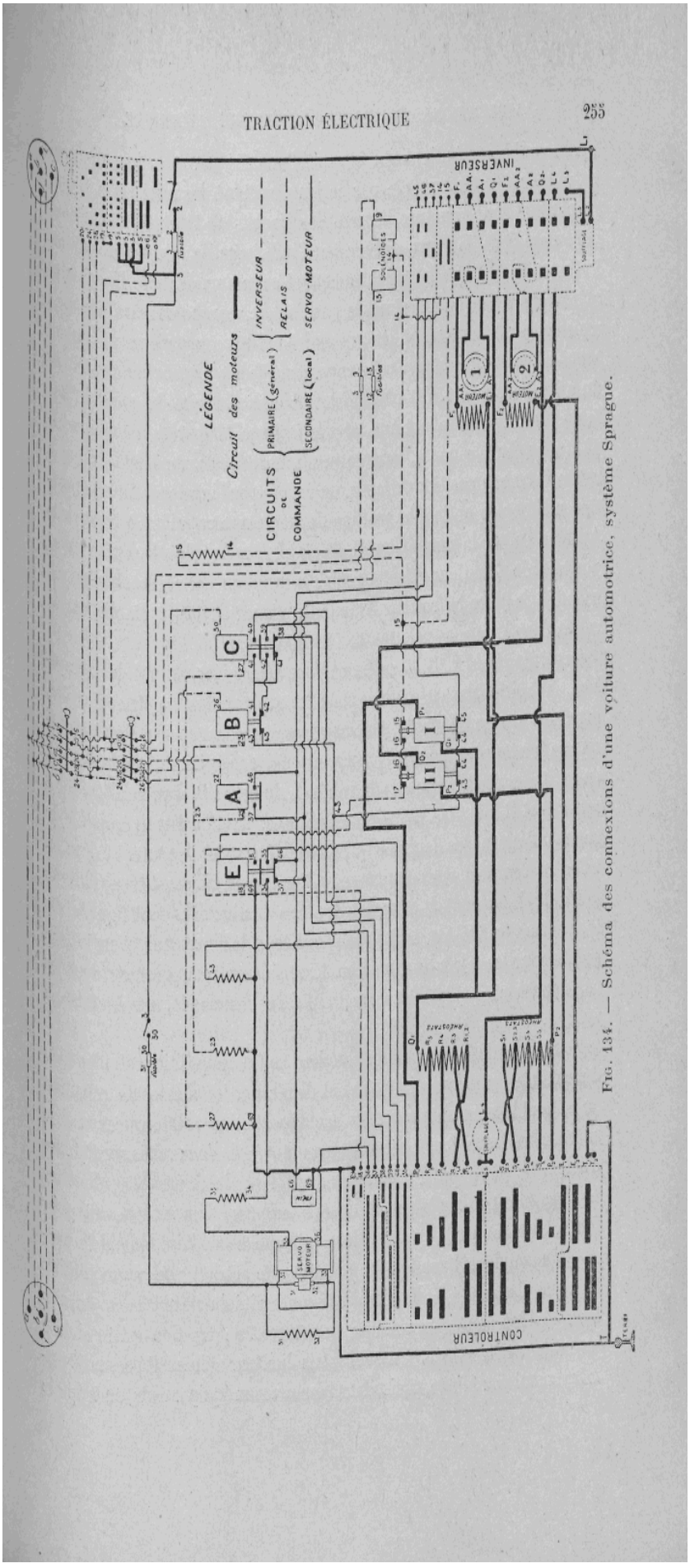


Fig. 134. — Schéma des connexions d'une voiture automotrice, système Sprague.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

touches qui sont réunies entre elles. Si l'on relie aux rails de roulement le frotteur 40 (par exemple par le jeu simultané des relais B et C qui, ayant attiré leur armature, ferment les circuits 43-41 et 41-40), le courant passe dans le servo-moteur par l'inducteur de gauche et par les frotteurs 35 et 40 que les touches mettent en communication. Le cylindre tourne jusqu'à ce qu'il arrive à la position de marche en parallèle sans résistances : à ce moment, les frotteurs 35 et 40 cessant d'être en contact avec la touche, le courant est rompu dans le moteur, et le mouvement du cylindre s'arrête. On obtiendrait de même la mise du coupleur sur la position zéro en reliant à la terre le frotteur 37 (par la connexion 37-46 établie par le relais A, dans sa position de fonctionnement, ou par le relais E dans sa position de repos, ou encore par l'inverseur dans sa position neutre); on obtient la position de manœuvre en reliant à la terre le frotteur 38 (par la connexion 41-43 établie par le relais B seul, dans sa position de fonctionnement); enfin, la position série est obtenue en reliant à la terre le frotteur 39 (par la connexion 39-42 établie par le relais C seul, dans sa position de fonctionnement).

Les trois relais A, B, C suffisent pour déterminer, au gré du mécanicien, la position dans laquelle se place le coupleur : l'automotrice s'arrête, marche à vitesse très lente, à demi-vitesse (moteurs en série) ou à pleine vitesse (moteurs en parallèle), suivant que, par le jeu du manipulateur, on excite les électro-aimants du relais A, du relais B, du relais C ou des relais B et C à la fois. Dans ces conditions, il suffit d'avoir trois fils de commande; avec les deux fils qui servent à envoyer le courant à l'un ou à l'autre des solénoïdes commandant l'inverseur, ils constituent la ligne générale de commande primaire dont les conducteurs sont figurés sur le schéma (*fig.* 134), en petits traits pour ceux de l'inverseur, et en traits et points pour les relais du coupleur. Les relais sont tous groupés, avec les résistances et les fusibles des circuits de commande, sur un tableau spécial.

Le réglage de la rotation du coupleur entre ces positions stables bien déterminées, rotation qui a pour but de réaliser les vitesses de transition en mettant hors circuit progressivement les résistances intercalées en série sur chacun des moteurs, est obtenu au moyen de deux relais régulateurs d'intensité. Ces appareils (marqués I et II sur la figure 134), dont les bobines sont traversées par le courant principal d'un moteur, ont pour fonction de couper le courant de commande secondaire, quand le passage du coupleur d'une touche à la suivante produit une augmentation brusque d'intensité, et de rétablir la continuité du circuit de commande lorsque l'intensité décroissante du courant de traction est tombée à une valeur déterminée. Un seul relais limiteur d'intensité assurait primitivement ce réglage, mais, dans les nouveaux équipements, on emploie

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un second relais dont la fonction est de retarder le passage de la marche en série à la marche en parallèle. On sait qu'un passage trop brusque, outre qu'il ne correspond pas à la meilleure utilisation du courant, produit des à-coups violents : le nouveau limiteur « série parallèle » est donc réglé pour ne permettre le passage en parallèle que quand l'intensité est descendue à une valeur déterminée, inférieure à celle pour laquelle est réglé le limiteur ordinaire. Les plateaux des deux régulateurs-limiteurs sont en série sur le courant de commande. Pour que le régulateur « série parallèle » soit sans effet au moment où il est inutile, on a branché sa bobine de façon qu'elle ne soit parcourue par le courant de traction qu'au moment où le coupleur est à la position de marche sans résistances.

Un autre perfectionnement des régulateurs d'intensité a été de les munir d'un second jeu de contacts 15-16, 16-17 intercalés dans le circuit de commande de l'inverseur. Ces contacts sont rompus par le soulèvement des noyaux quand, pour une cause absolument anormale, l'intensité du courant de traction atteint une valeur exagérée ; une fois soulevés jusqu'à ce point, les noyaux restent enclenchés par de petits loquets et ne peuvent plus retomber. La rupture des contacts 15-16 et 16-17 a pour effet de couper le courant qui maintient l'inverseur dans la position de marche avant ou de marche arrière : cet appareil revient brusquement à la position neutre sous l'effet des ressorts et rompt le courant de traction; l'ensemble se comporte donc comme un disjoncteur. Le réglage des régulateurs pour une intensité déterminée peut se faire au moyen de plaques de plomb placées sur les plateaux.

Il est à remarquer que, dans le système Sprague à unités multiples, les mouvements des coupleurs des différentes voitures motrices ne sont pas forcément synchrones : chaque voiture motrice est indépendante à ce point de vue et obéit exclusivement à ses régulateurs d'intensité en ce qui concerne les vitesses auxquelles le coupleur doit passer successivement. Ce point est important, car les différentes voitures motrices d'un train ne sont pas dans les mêmes conditions à beaucoup d'égards (différence de diamètre des roues motrices, par exemple) : lorsque plusieurs motrices d'un train, placées ainsi dans des conditions différentes, sont commandées avec une simultanéité absolue, un certain nombre de moteurs sont surchargés, et les autres ne donnent pas l'effort qu'ils pourraient fournir. Le système Sprague assure, sur chaque voiture, le réglage complet de l'intensité d'après les conditions dans lesquelles elle se trouve : on a pu, en Amérique, constituer avec succès des trains, dont les voitures équipées avec les appareils Sprague différaient comme poids, puissance, type de moteurs, diamètre des roues, etc. En pratique, lors du démarrage d'un train Sprague, il y a un léger

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

décalage entre le passage des différents coupleurs aux touches successives. Ce décalage régularise et adoucit beaucoup le démarrage ; en outre, il diminue la valeur des surcharges d'intensité absorbées par le train. L'avantage de cette non-concordance est tel, surtout pour le passage de la marche en parallèle qui correspond à un brusque changement dans l'accélération, que l'on règle les régulateurs « série-parallèle » pour qu'ils n'agissent pas exactement au même moment sur toutes les voitures.

Le manipulateur est construit comme un petit coupleur ordinaire : il comporte onze doigts de contact ou frotteurs s'appuyant sur des secteurs en bronze, clavetés sur un arbre en acier dont ils sont isolés. Étant donnée la faible intensité du courant de commande (4 ampères environ pour trois motrices), il n'y a pas de soufflage magnétique. Un fort ressort ramène la manette au zéro aussitôt que le mécanicien abandonne la poignée. A droite du point neutre, il y a quatre positions possibles pour la marche avant : zéro, manœuvre, demi-vitesse, pleine vitesse. A gauche du point neutre, il y a trois positions possibles pour la marche arrière : zéro, manœuvre, demi-vitesse. En temps normal, au départ, le mécanicien place la poignée à la position de manœuvre ; dès que le train a bougé, il la place directement sur la dernière position (pleine vitesse) ou éventuellement sur la position de demi-vitesse. Le démarrage du train s'effectue automatiquement et régulièrement par le jeu des régulateurs-limiteurs.

Outre les appareils et les connexions qui viennent d'être indiqués, les équipements Sprague comprennent encore un certain nombre de dispositifs et d'interconnexions accessoires destinés à assurer une sécurité automatique absolue : s'il arrive une avarie à l'un quelconque des appareils constituant l'équipement ou aux circuits de commande, tout le système revient de lui-même au zéro. Le relais E remplit ce rôle. Sa bobine est intercalée dans le circuit des solénoïdes de l'inverseur : en outre, le coupleur comporte deux doigts 18 et 69 que deux contacts relient ensemble lorsque le cylindre est à la position du zéro. Le courant ne peut être envoyé à l'inverseur que si le coupleur est au zéro. Dès que le courant a été établi dans l'un des deux solénoïdes avec cette condition, le circuit de l'inverseur et de la bobine E est fermé par les contacts 18-69 du relais E ; le coupleur peut alors tourner sans que le courant de commande de l'inverseur soit coupé. Si ce circuit est rompu pour une cause quelconque, il ne peut plus être refermé sans que le coupleur ait été préalablement ramené au zéro.

En outre, le coupleur ne peut pas avancer sans que le relais E soit excité et l'inverseur placé dans l'une ou l'autre des positions de marche, car le circuit de commande du servo-moteur est fermé, d'une part, par ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

relais E en 34-35 et, d'autre part, par deux contacts, placés sur le cylindre de l'inverseur, qui réunissent ensemble les frotteurs 45-46.

Enfin le coupleur revient automatiquement au zéro dès que l'inverseur est au zéro, par le jeu du relais E qui, en s'abaissant, ferme les contacts 47-46 ou par la jonction des frotteurs 37-46 de l'inverseur qu'établit la touche correspondante au moment où l'appareil revient au zéro.

Tous ces dispositifs d'enclenchement entre le coupleur et l'inverseur assurent au système Sprague un fonctionnement d'une sécurité absolue, quelles que soient les fausses manœuvres que peut exécuter un mécanicien maladroit ou inexpérimenté.

L'équipement est complété par un certain nombre de détails secondaires, tels que le shuntage de l'induit du servo-moteur, l'intercalation, par le mouvement même de l'inverseur, d'une résistance 14-15 qui diminue l'intensité du courant dans les solénoïdes et la disposition de résistances accessoires 33, 27, 23, 43 intercalées dans les différents circuits de commande.

Appareillage Westinghouse pour trains à unités multiples. — La Société Westinghouse avait exposé les appareils en service sur les trains à unités multiples du chemin de fer métropolitain de Paris.

Les trains circulant sur la ligne n° 1 du métropolitain sont composés chacun de trois automotrices à bogies de 12 mètres de longueur et de quatre voitures de remorque ordinaires de 9 mètres environ. Les trains circulant sur la ligne n° 3 sont composés chacun de trois automotrices à bogies de 15 mètres et de deux voitures de remorque à bogies de même longueur. Deux automotrices sont placées en tête du train, et la troisième en queue. Le bogie avant de chacune d'elles porte deux moteurs de 100 chevaux sur la ligne n° 1 et de 180 chevaux sur la ligne n° 3. Ces moteurs sont commandés par un coupleur électro-pneumatique Westinghouse, appelé « controller-tourelle » à cause de sa forme particulière, actionné de la cabine de tête au moyen d'un circuit à sept fils parcouru par un courant à basse tension.

L'ensemble des appareils est placé dans une cabine en tôle de 2,40 m de longueur. La partie gauche de la cabine est occupée par des coffres métalliques contenant les résistances, l'inverseur double et l'interrupteur disjoncteur automatique : ces coffres sont fermés vers l'extérieur par des persiennes ajourées. Au-dessus de ces coffres sont placés, vers l'arrière, le *controller-tourelle* soutenu par un bâti en fer à U et, vers l'avant, un panneau de marbre disposé parallèlement à l'axe de la cabine : ce tableau porte un disjoncteur pneumatique, un disjoncteur de tension, un régulateur-limiteur d'intensité, deux interrupteurs placés sur les circuits des bobines de commande de l'interrupteur-disjoncteur à maxi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mum, l'interrupteur du compresseur d'air, les interrupteurs et les fusibles des deux circuits d'éclairage. A droite de la cabine sont placés : vers l'avant, le coupleur de commande et le frein à air comprimé ; au milieu, deux caisses d'accumulateurs avec un panneau portant deux commutateurs pour la charge et la décharge et un petit tableau d'éclairage ; en arrière, le compresseur d'air avec le relais actionnant son interrupteur automatique. L'équipement est complété par un réservoir à air avec valve réductrice, deux coupleurs fixes à sept contacts pour les circuits de commande et trois boîtes de jonction. Chaque voiture de remorque porte deux coupleurs fixes à sept contacts, un coupleur mobile à sept fils et deux boîtes de jonction.

Le système de commande électro-pneumatique comprend essentiellement un petit commutateur multiple, nommé par les Américains *maître-controller*, qui envoie le courant d'une batterie de sept accumulateurs (14 volts) dans un jeu de soupapes électro-magnétiques commandant des cylindres à air comprimé dont les pistons actionnent des *contacteurs* ou un inverseur : ceux-ci effectuent les connexions nécessaires pour le réglage des moteurs aux différentes vitesses. L'air servant à la commande est pris sur une canalisation qui parcourt tout le train et à laquelle est relié, sur chaque voiture, un réservoir à pression constante. Ce réservoir offre une certaine réserve capable d'alimenter le train au cas où une avarie surviendrait aux compresseurs.

Les treize cylindres dont se compose un *controller-tourelle* sont disposés circulairement autour d'un réservoir dans lequel l'air comprimé est amené au moyen d'un tuyau relié à la canalisation par l'intermédiaire d'une valve réductrice. Ces cylindres font corps avec le réservoir, ce qui supprime tout joint : chacun d'eux contient un piston avec tige relié au bras mobile du contacteur qu'il actionne. L'admission de l'air comprimé dans le cylindre pneumatique est réglée par des valves ou soupapes à aiguilles : quelques-unes d'entre elles commandant plusieurs cylindres dont les *contacteurs* fonctionnent ensemble, leur nombre est réduit à huit. Ces valves sont manœuvrées par des électro-aimants à faible course : les ouvertures et les surfaces d'obturation sont disposées de façon à rendre l'usure presque nulle et à supprimer toute fuite. Les électro-aimants blindés actionnent une armature en forme de disque placée dans une boîte métallique : les bobines de l'électro-aimant sont complètement enfermées dans une enveloppe en fer sur laquelle sont fixées différentes bornes isolées, reliées aux extrémités des enroulements. Le tout forme une seule pièce très robuste et parfaitement protégée, que l'on peut démonter facilement : cette pièce est fixée par deux boulons à la partie principale du coupleur contenant les cylindres. Le type d'électro-aimants et de valves adoptés pour la construction des *control-*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lers-tourelle est employé depuis longtemps en Amérique et en Angleterre pour la manœuvre des signaux électro-pneumatiques du block-system.

Les pistons qui, dans leur mouvement, entraînent les bras mobiles des contacteurs, sont maintenus normalement levés par de puissants ressorts en hélice. Leurs dimensions sont telles qu'ils peuvent effectuer la fermeture du contact lorsque la pression de l'air que laisse pénétrer la soupape électro-pneumatique est de 2 kg : cm²; toutefois, la pression normale employée est de 5 kg : cm². Les bras mobiles des *contacteurs* sont articulés et contiennent un ressort : grâce à cette disposition, il se produit, lors de la fermeture, un contact élastique et un mouvement de glissement qui maintient les surfaces métalliques en bon état et les empêche de se souder ou d'être brûlées. Chaque piston, en s'abaissant, bute contre un arrêt placé dans le cylindre avant que le ressort ne soit entièrement comprimé : cela assure entre les pièces de contact une pression uniforme ; celles-ci, facilement remplaçables, ont une large surface. Les cylindres sont surmontés par de petits interrupteurs secondaires, dont les parties mobiles suivent les mouvements des pistons et établissent, sur les circuits de commande, des contacts auxiliaires dont nous parlerons plus loin.

Quand l'orifice de décharge d'un cylindre est ouvert, le ressort, comprimé sous le piston, relève ce dernier et provoque une rupture brusque du *contacteur :* la longueur de rupture est 75 mm. En outre, une puissante bobine de soufflage magnétique est placée au centre du dispositif. Les pièces de contact sont placées dans des boîtes isolantes amovibles, disposées radialement et ouvertes vers l'extérieur ; chacune d'elles est traversée dans une direction perpendiculaire à la ligne de rupture du contact par les lignes de force magnétique allant du pôle supérieur au pôle inférieur de la bobine; ce dispositif de soufflage magnétique permet de couper, sans aucune détérioration, un courant de plus de 1000 ampères.

L'emploi d'une seule bobine centrale de soufflage permet d'obtenir des effets puissants pour un poids et des dimensions relativement faibles. Le câblage et les connexions, dont l'isolement doit être maintenu en bon état, sont réduits à leur minimum. Si, au lieu d'employer une bobine centrale, on avait muni chaque interrupteur d'une bobine spéciale, celle-ci aurait forcément de très faibles dimensions et serait peu efficace.

Chaque contacteur est fixé sur la base du coupleur par quatre tiges en bronze sur la partie intérieure desquelles sont boulonnées les connexions : les tiges et les bornes sont isolées au moyen de plaques et de canons en vulcabeston : les revêtements protecteurs qui entourent les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contacts sont également en vulcabeston moulé. Les circuits à haute et à basse tension sont très éloignés l'un de l'autre et complètement séparés.

Le coupleur de commande, désigné sous le nom de manipulateur, est un simple commutateur multiple effectuant les connexions nécessaires pour relier le pôle positif de la batterie aux différents circuits de commande : sa construction est extrêmement simple, et ses dimensions réduites. Toutes les manœuvres sont obtenues à l'aide d'une seule manette que l'on déplace vers la droite pour la marche avant et vers la gauche pour la marche arrière. Cette manette est ramenée à sa position neutre par un ressort puissant aussitôt que le conducteur l'abandonne. A cette position neutre, tous les circuits de commande des contacteurs sont coupés. L'appareil lui-même consiste en un tambour tournant sur lequel frottent sept doigts fixes : grâce à la très basse tension employée et à la faible intensité de courant nécessaire à la commande des soupapes électromagnétiques, il n'y a à craindre aucune détérioration des contacts et on a pu supprimer tous les organes compliqués tels que bobine de soufflage, séparations isolantes, etc. Le tambour consiste en un secteur de bronze fixé sur un arbre carré en acier dont il est soigneusement isolé. Ce tambour porte deux goujons auxquels sont attachées les extrémités d'un ressort spiral dont le milieu est fixé au bâti. Les doigts de contact à ressort qui frottent sur le tambour sont en bronze phosphoreux et sont montés sur une base en fibre très robuste.

Le régulateur limiteur d'intensité est destiné à régler le fonctionnement successif des contacteurs au moment du démarrage et au moment du passage de la marche en série des moteurs à la marche en parallèle. Avec le système à unités multiples, la mise hors circuit des résistances successives n'est pas effectuée au gré du mécanicien, mais automatiquement, de façon à assurer au démarrage le maximum de rapidité sans que l'intensité du courant de traction atteigne une valeur exagérée. Le régulateur-limiteur est constitué par un électro-aimant parcouru par le courant de l'un des moteurs et actionnant un interrupteur intercalé dans le circuit de commande des *contacteurs*. Aussitôt que le courant dans le moteur atteint une intensité déterminée, l'électro-aimant manœuvre l'interrupteur qui rompt le circuit et empêche la fermeture d'un nouveau *contacteur* tant que l'intensité n'est pas redescendue à une valeur normale. L'appareil peut être réglé pour une intensité quelconque du courant principal au moyen d'un shunt dont la valeur est déterminée une fois pour toutes.

Un interrupteur-disjoncteur principal, à commande électro-pneumatique, est placé dans chaque cabine d'automotrice sur le câble venant des frotteurs et permet d'isoler complètement du circuit à 500 volts tous les appareils qui se trouvent dans la cabine. La fermeture de cet appa-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

reil est provoquée par le fonctionnement d'une valve électropneumatique que commande le manipulateur. Son ouverture automatique est pro-

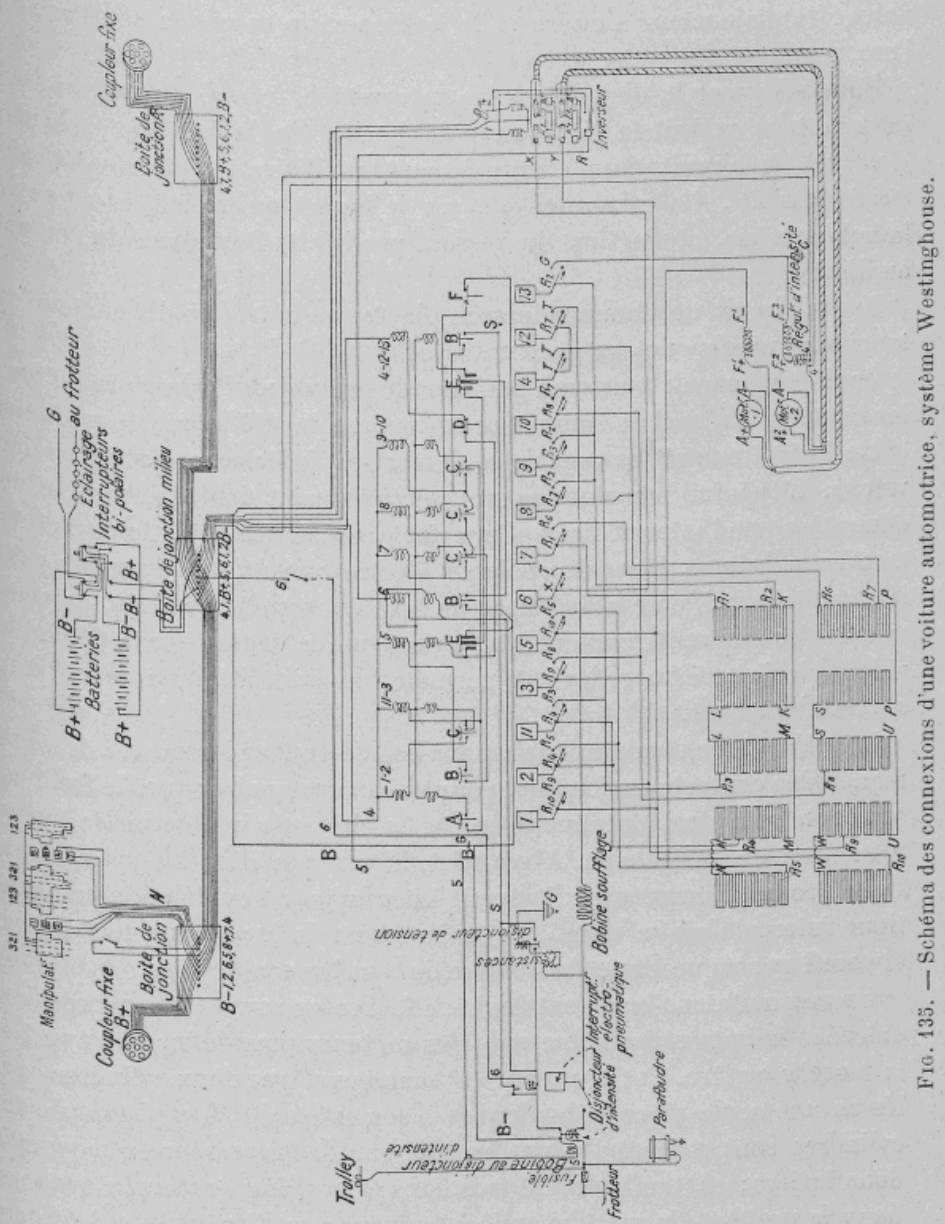


Fig. 135. — Schéma des connexions d'une voiture automotrice, système Westinghouse.

duite par l'action d'une bobine que parcourt le courant total de traction et dont le noyau, rappelé par un ressort, porte un interrupteur auxiliaire (schéma de la figure 135 : *disjoncteur d'intensité*).

Quand l'intensité du courant est supérieure à une certaine valeur, le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

noyau de la bobine-série dépasse une position déterminée et reste enclenché par un petit loquet : l'interrupteur auxiliaire porté par ce noyau rompt le circuit de commande de l'électro-aimant qui actionne la valve : le disjoncteur s'ouvre et la bobine-série assure le soufflage de l'arc.

Pour refermer le disjoncteur, le mécanicien ferme, au moyen d'un interrupteur reliant le fil 5 au pôle positif de la batterie (schéma, *fig.* 135), le circuit d'un électro-aimant auxiliaire (*bobine du disjoncteur d'intensité*, *fil* 5) : celui-ci agit sur le loquet qui retient le noyau de la bobine-série, et l'action du ressort produit la fermeture du contact auxiliaire.

Sur le circuit de commande sont placés, en outre, un disjoncteur de tension et un disjoncteur pneumatique.

Le disjoncteur de tension a pour but de provoquer l'ouverture de tous les contacteurs, sauf le contacteur 6, lorsque la différence de potentiel entre le frotteur et les rails de roulement est inférieure à une certaine valeur. L'appareil consiste en un électro-aimant à fil fin, branché en dérivation par l'intermédiaire d'une forte résistance entre le circuit de traction et la terre. L'armature de cet électro-aimant manœuvre un petit interrupteur qui, en cas de baisse de tension, rompt le circuit de commande des différents contacteurs, autres que le contacteur 6. Quand la valeur de la tension redevient normale, le train démarre à nouveau automatiquement.

Le disjoncteur pneumatique a pour but de couper le courant de commande des contacteurs lorsque, pour une cause quelconque, le frein est serré : on évite ainsi toute avarie en cas de bloquage inopiné ou de fausse manœuvre du mécanicien. A cet effet, la pression d'air du cylindre de frein produit l'ouverture d'un petit interrupteur à commande pneumatique intercalé sur le circuit de la batterie : le fonctionnement de cet appareil provoque donc l'ouverture de tous les contacteurs.

Un commutateur-inverseur double effectue les connexions nécessaires entre les induits et les inducteurs des moteurs pour la marche avant et la marche arrière. Cet inverseur est manœuvré par deux cylindres coulés en une seule pièce et boulonnés à son extrémité. Les pistons de ces cylindres sont reliés à l'arbre du tambour de l'inverseur au moyen de deux leviers ; ce tambour est mis dans la position de marche avant ou dans la position de marche arrière, suivant que l'air est introduit dans l'un ou l'autre des deux cylindres, par le jeu de valves électromagnétiques actionnées par le coupleur de commande. Les dimensions des cylindres sont suffisantes pour que la manœuvre s'effectue pour une pression d'air de 2 kg : cm² ; la pression normale employée est de 5 kg : cm². Le mouvement de l'inverseur, dans l'un ou l'autre sens, ferme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le circuit de commande du contacteur-disjoncteur principal, de sorte que le courant de traction ne peut pas être envoyé aux moteurs avant que les circuits soient reliés convenablement pour la marche en avant ou en arrière.

Chaque automotrice est munie de deux caisses d'accumulateurs de 7 éléments chacune. Les éléments sont contenus dans des bacs en ébonite maintenus dans la caisse en bois par de la paraffine coulée. L'une des deux batteries est chargée en série sur le circuit d'éclairage pendant que l'autre assure le service. Deux commutateurs à deux directions permettent de renverser chaque jour le rôle des deux batteries ; à cet effet chacun d'eux porte l'inscription « jour pair » ou « jour impair ». L'énergie absorbée pour la commande des électro-aimants est si faible que l'usure de la batterie est peu considérable.

Les résistances sont formées par des grilles métalliques montées par groupes de vingt-quatre sur des cadres en fonte : ces grilles sont en métal de composition spéciale, ayant un très faible coefficient de température et sont couvertes d'un enduit empêchant la corrosion. L'isolement entre les cadres et les grilles est en mica. Les connexions entre les grilles contiguës sont formées par des plaques en bronze fixées au moyen de vis. L'équipement d'une automotrice comporte dix groupes de résistances.

Les connecteurs servent à établir les connexions nécessaires entre les circuits auxiliaires des différentes voitures d'un train : ils se composent, pour chaque voiture, de deux coupleurs fixes et d'un coupleur mobile. Ce dernier consiste en deux jeux de sept fiches entrant dans les coupleurs fixes et reliés entre eux par un câble flexible à sept conducteurs protégés par un tuyau en caoutchouc de forte section. Les différents fils qui constituent le câble flexible portent tous un guipage de couleur différente pour permettre une facile vérification des circuits : il est à remarquer que, l'automotrice placée en queue étant orientée en sens inverse des automotrices de tête (cabine vers l'arrière), les fils 1 et 2 des coupleurs mobiles sont croisés de façon que les inverseurs assurent le même sens de marche. Les coupleurs fixes sont munis chacun de 7 contacts fendus montés sur un disque isolant : le bout des coupleurs mobiles consiste en un cylindre de matière isolante entouré d'un tube de fonte et dans lequel se trouvent sept fiches creuses correspondant aux contacts fendus des récepteurs fixés sur les voitures. Un cran de repère assure la correspondance exacte des contacts. Les coupleurs fixes sont munis de couvercles à charnières qui se ferment aussitôt que la pièce mobile est enlevée. Les conducteurs des circuits de commande ont 3 mm² de section et sont enfermés dans une enveloppe très solide ; leur guipage est de différentes couleurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les câbles des circuits principaux ont un isolement extrêmement fort au caoutchouc revêtu d'une double enveloppe d'amiante et d'une enveloppe en coton tissé silicaté : la section de ces câbles a été très largement prévue.

Les différentes parties de l'équipement d'une automotrice étant connues, il est facile de comprendre le fonctionnement du système électro-pneumatique en suivant le schéma de la figure 135, sur lequel les enroulements des soupapes électro-magnétiques et les pistons des cylindres pneumatiques sont numérotés pour faciliter la lecture. Les doigts fixes du manipulateur sont reliés à six fils marqués B +, 1, 2, 4, 6, 7. Quand le tambour, entraîné par la manette, est placé sur la première position avant ou arrière, vers la droite ou vers la gauche, le pôle positif de la batterie d'accumulateurs B + est relié d'abord à l'une des bobines (1 ou 2) de l'inverseur dont le circuit se referme par le conducteur B — puis au fil 6 [1], aboutissant à la bobine de commande de l'interrupteur électro-pneumatique qui se ferme. L'une des soupapes électro-magnétiques de l'inverseur est donc actionnée, et l'appareil se place dans la position correspondant au sens de marche. Son fonctionnement détermine la fermeture de l'interrupteur R qui est solidaire de la partie mobile et qui envoie le courant de la batterie à l'électro-aimant 6 du contacteur 6. Cet appareil ferme en TX le circuit des moteurs qu'il relie au câble venant du frotteur ; il ne peut pas se fermer si l'inverseur n'a pas préalablement fonctionné et s'ouvrirait si, pour une cause quelconque, la partie mobile de ce dernier se déplaçait.

Le passage du manipulateur à la deuxième position détermine le démarrage automatique du train commandé par le régulateur d'intensité. Dans cette position, le circuit 4 est relié au pôle positif de la batterie. Sur ce circuit sont branchés les électro-aimants de toutes les soupapes électro-magnétiques, sauf la soupape 6 et la soupape 4-12-13 : le courant de commande, amené par le fil 4, passe par la bobine 7 et retourne au pôle négatif de la batterie par les contacts F (piston 13 levé), E (piston 5 levé), E (piston 4 levé), B (piston 6 baissé) et le fil B_. L'électro 7 actionne la soupape et le contacteur 7 ferme le circuit R_1, R_7. A ce moment les deux moteurs sont en série sur le courant principal par l'intermédiaire de toutes les résistances. Le circuit formé est le suivant : *Frotteur*, TX (*contacteur* 6), XA_+ (*inverseur*), A_+A_- (*induit du premier moteur*), $A_-F^1_+$ (*inverseur*), $F^1_+F^1_-$ (*inducteurs du premier moteur*), RM_3LKR_1 (*résistances*), R_1, R_6 (*contacteur* 7), R_6, P, S, U, W, R_{10} (*résistances*), Y, A^2_+

1. Avec la forme de touche figurée sur le schéma, le courant de commande serait d'abord envoyé au fil 6, puis au fil 1 ou 2 : dans les derniers manipulateurs employés, on a fait une encoche dans les touches du manipulateur placées en face du doigt 6, de façon à ce que l'ordre d'établissement des contacts soit celui que nous avons indiqué.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(*inverseur*), A^2_+, A^2_- (*induit du deuxième moteur*), A^2_-, F^2_+ (*inverseur*), F^2_+, F^2_- (*inducteurs du deuxième moteur*) *et* G (*rails de roulements*).

La manœuvre du piston 7 ayant abaissé le contact C, le circuit de l'électro-aimant 8 se trouve fermé ; celui-ci actionne la soupape du piston 8 qui s'abaisse et le contacteur établit le court-circuit R_7, R_2 qui supprime du circuit des moteurs les portions de résistance R_1, R_2 et R_6, R_7. Le fonctionnement du piston 8 abaisse également le contact C de ce piston qui ferme le circuit de l'électro-aimant 9-10. Celui-ci actionne la soupape des deux cylindres 9 et 10 dont les pistons provoquent la fermeture des contacts R_3, R_2 et R_8, R_7 qui mettent en court-circuit les résistances comprises entre ces points. Le fonctionnement du piston 9 provoque en C la fermeture du circuit de l'électro-aimant 11-3 qui entre en jeu et fait abaisser les pistons 11 et 3 : les contacteurs de ceux-ci mettent en court-circuit les résistances comprises entre R_4 et R_3 et entre R_9 et R_8. Enfin la fermeture du contact C, porté par le piston 11, ferme le circuit de l'électro-aimant 1-2 dont les contacteurs 1 et 2 mettent en court-circuit les deux dernières résistances R_{10}, R_9 et R_5, R_4 : les deux moteurs sont alors en série sur la différence de potentiel totale sans interposition de résistances. A ce moment, pour éviter que le courant passe par une série de contacteurs, on a prévu un contacteur unique 5 : l'électro-aimant 5, dont le circuit a été fermé par le contact B solidaire du piston 2, agit et provoque la fermeture du contacteur 5 qui relie directement ensemble les points R_5 et R_{10} : le fonctionnement du piston 5 ouvre le contact E par l'intermédiaire duquel se refermaient les circuits des électro-aimants 7, 8, 9-10, 11-3, 1-2. Ces circuits se trouvent donc tous coupés ; les contacteurs qu'ils commandent déclenchent, et il ne reste plus en circuit que les contacteurs 6 (interrupteur disjoncteur) et 5 (connexion en série des moteurs).

Le fonctionnement successif des différents contacteurs est commandé par le régulateur d'intensité dont la bobine est placée en série sur le circuit du second moteur : chaque fois que l'intensité dépasse, dans le circuit principal, une valeur déterminée, ce régulateur coupe en 44 le circuit 4 sur lequel sont branchés les électro-aimants des contacteurs et supprime, par suite, le courant dans tous ces appareils. Pour éviter que son fonctionnement ne fasse déclencher les contacteurs déjà fermés, son rôle devant se borner à prévenir la fermeture d'un nouvel interrupteur, on a employé un circuit auxiliaire sur lequel est branchée une seconde série de bobines des électro-aimants. Le circuit de chacune de ces bobines est fermé, au moment où le contacteur auquel elles se rapportent fonctionne, par le contact auxiliaire C porté par le piston. De la sorte, quand le régulateur d'intensité coupe le courant dans le circuit 4, les valves électromagnétiques des contacteurs déjà fermés restent en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

position sous l'action des secondes bobines, et les contacteurs ne peuvent s'ouvrir malgré le fonctionnement du régulateur d'intensité.

Les valeurs des résistances en circuit avec les deux moteurs reliés en série sont les suivantes :

Résistance totale : 2,455 + 2 + 1,4 + 0,64 = 6,495 ohms.

Résistance court-circuitée par le contacteur 8.....	2,455	ohms
— restant en circuit.....	4,04	—
Résistance court-circuitée par les contacteurs 9-10....	2,00	—
— restant en circuit.....	2,04	—
Résistance court-circuitée par les contacteurs 11-3....	1,40	—
— restant en circuit.....	0,64	—
Résistance court-circuitée par les contacteurs 1-2.....	0,64	—
— restant en circuit.....	0,00	—

Quand on place la manette du manipulateur sur la troisième position, le pôle positif de la batterie est relié avec le fil 7. Le circuit de l'électro-aimant 4-12-13 est fermé en D (piston 10 levé), en E (piston 5 baissé, contact de gauche établi), en E (piston 4 levé), en B (piston 6 baissé) sur le fil B_ relié au pôle négatif. Les pistons 4-12 et 13 s'abaissent donc en entraînant leurs contacteurs. Le mouvement du piston 4 provoque l'ouverture du contact de gauche de l'interrupteur auxiliaire E et rompt ainsi le circuit de la bobine du contacteur 5 qui déclenche. En même temps, le contact de droite de l'interrupteur E (piston 4) est établi et donne le courant à la bobine auxiliaire 4-12-13 du circuit 5. La fermeture des contacteurs établit les jonctions TT, TR_7 et R_2G. Les moteurs se trouvent groupés en parallèle, chacun d'eux étant relié au réseau par l'intermédiaire d'un jeu des résistances R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 ou R_6, R_7, R_8, R_9, R_{10}. Les circuits formés sont les suivants :

Frotteur, TX (*contacteur* 6), XA^1_+ (*inverseur*), $A^1_+A^1_-$ (*induit du premier moteur*), $A^1_-F^1_+$ (*inverseur*), $F^1_+F^1_-$ (*inducteur du premier moteur*), $F^1_-R_5$, NN, MM, LL, KK, R_2 (*résistances*), R_2G (*contacteur* 12), G *rails de roulement*.

Frotteur, TT (*contacteur* 4), TR_7 (*contacteur* 12), R_7, PP, SS, UU, WW, R_{10} (*résistances*), $R_{10}Y$, YA^2_+ (*inverseur*), A^2_+, A^2_- (*induit du deuxième moteur*), A^2_-, F^2_+ (*inverseur*), F^2_+, F^2_- (*inducteur du deuxième moteur*), F^2_- G, *rails du roulement*.

Les résistances sont mises progressivement hors circuit par le jeu des différents contacteurs. L'abaissement du piston 12 ferme, par le contact B, le circuit de la bobine 9-10 ; les contacteurs 9 et 10, qui fonctionnent alors, court-circuitent les deux portions des résistances comprises entre R_7 et R_8 et entre R_2 et R_3. Le fonctionnement du piston 10 ouvre le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contact D et celui du piston 9 abaisse le contact C qui ferme le circuit de la bobine 11-3. Celle-ci provoque le fonctionnement des pistons 11 et 3 et la fermeture de ces contacteurs qui court-circuitent les deux portions de résistances comprises entre R_3, R_4 et R_8, R_9. L'abaissement du piston 11 ferme, par le contact C, le circuit de la bobine 1-2 qui provoque l'enclenchement des contacteurs 1 et 2 dont le rôle est de court-circuiter les dernières portions de résistances R_1, R_5 et R_9, R_{10}. Les moteurs en parallèle sont alors branchés directement entre le frotteur et les rails de roulement.

Pour la mise hors circuit successive de résistances, le régulateur d'intensité agit, comme nous l'avons expliqué, en interrompant le courant dans le circuit de commande numéroté 4, chaque fois que l'intensité absorbée par le moteur 2 dépasse une certaine valeur.

Les valeurs des résistances en circuit avec chacun des deux moteurs sont les suivantes :

Résistance totale : 0,50 + 0,35 + 0,16 = 1,01 ohm.

Résistance court-circuitée par les contacteurs 9-10.....	0,50	ohm
— restant en circuit.....	0,51	—
Résistance court-circuitée par les contacteurs 11-3.....	0,35	—
— restant en circuit.....	0,16	—
Résistance court-circuitée par les contacteurs 1-2.....	0,16	—
— restant en circuit.....	0,00	—

Truck à deux moteurs de 20 chevaux de la Société Parisienne électrique. — Afin de montrer l'installation normale des moteurs de traction qu'elle construit, la Société Parisienne électrique avait exposé un truck de voiture à deux essieux, pour voie de 1,44 m, portant deux moteurs de 20 chevaux.

Ce truck, du type Brill, à longerons forgés et à double suspension de la caisse de la voiture, supporte les deux moteurs par l'intermédiaire d'une barre transversale sur laquelle vient reposer le chaînon du moteur. Cette barre s'appuie, par chacune de ses extrémités, sur les longerons du truck par l'intermédiaire d'un double système de ressorts, amortissant les mouvements du moteur tendant à le déplacer autour de l'axe des essieux de suspension, et cela quel que soit le sens des mouvements du moteur. Celui-ci n'étant pas fixé invariablement à la barre transversale, mais simplement suspendu à l'aide d'un chaînon pouvant se déplacer légèrement dans le sens transversal, ce mode de suspension permet d'obtenir une grande élasticité et d'éviter tout choc nuisible à la bonne conservation du truck et du moteur, que ces chocs proviennent de défectuosités de la voie ou de démarrages et freinages trop rapides.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On voit également sur ce truck pour voie de 1,44 m une bague de butée à écartement réglable qui permet d'installer des moteurs normalement construits pour être placés sur des trucks établis pour voie de 1 mètre.

Coupleur de la Société Parisienne électrique. — Ce coupleur est du type série parallèle à soufflage magnétique; il est établi pour pouvoir utiliser le freinage électrique.

Il comporte deux cylindres verticaux munis de plots, formés de bagues sectionnées frottant contre des balais fixes; ces cylindres sont commandés chacun par une manette munie d'un index se déplaçant devant une série de crans disposés sur le couvercle de l'enveloppe du coupleur.

Le grand cylindre, ou commutateur, permet de réaliser les diverses combinaisons de démarrage et de marche avec les deux moteurs en série et en parallèle; le petit cylindre, ou inverseur, permet d'obtenir la marche avant ou arrière par le renversement du sens du courant dans les induits des moteurs.

Les différents plots sont très soigneusement isolés les uns des autres ainsi que de l'arbre du cylindre sur lequel ils sont montés.

L'action destructive des étincelles de rupture est complètement évitée grâce aux deux dispositifs suivants :

1° Subdivision du courant par la multiplication des points de rupture;

2° Soufflage magnétique se produisant simultanément sur tous les points de rupture.

Ce soufflage magnétique est rendu très efficace, grâce à l'emploi d'une bobine magnétisante placée au milieu du circuit magnétique d'extinction dont la réluctance est ainsi réduite au minimum.

Des plaques de fibre, intercalées entre les différentes touches, empêchent la production d'arcs entre contacts voisins.

Les bornes du coupleur portent l'indication des connexions à établir avec les moteurs et les résistances, ce qui rend son montage très facile.

Le coupleur, établi pour une voiture actionnée par deux moteurs, permet de réaliser les combinaisons suivantes :

a) *Marche avant ou arrière :*

1° Les 2 moteurs en série avec 3 groupes de résistances,
2° — 2 — —
3° — 1 groupe de résistances.
4° — sans résistance,
5° Les 2 moteurs en parallèle avec 2 groupes de résistances,
6° — 1 groupe de résistance.
7° — sans résistance.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Deux combinaisons intermédiaires entre les combinaisons 4 et 5 permettent de passer de la marche en série à la marche en parallèle sans à-coups.

b) *Freinage électrique pour marche en avant ou en arrière :*

1° Les deux moteurs, n'étant plus reliés au trolley, fonctionnent comme génératrices couplées en parallèle sur un circuit constitué par 4 groupes de résistances ;

2° Même combinaison, mais le circuit ne comporte que 3 groupes de résistances ;

3° Même combinaison, mais le circuit ne comporte que 2 groupes de résistances ;

4° Même combinaison, mais le circuit ne comporte qu'un seul groupe de résistances ;

5° Même combinaison, mais les moteurs sont en court-circuit.

L'avantage de pouvoir utiliser le frein électrique, lors de la marche en arrière, présente une grande importance sur les lignes de tramways à fortes pentes, sur lesquelles il peut arriver qu'au moment où la voiture monte une pente, le courant vienne à manquer et que le frein mécanique ne fonctionne pas.

Indépendamment des conditions normales de marche et de freinage électrique, le coupleur permet d'actionner la voiture avec un seul des deux moteurs, lorsque l'un d'eux a subi une avarie. La mise hors circuit du moteur défectueux s'effectue par le simple déplacement de la manette du cylindre inverseur ; il est, par conséquent, inutile d'ouvrir le coupleur pour faire cette manœuvre. Le freinage électrique peut être également utilisé dans le cas où un seul des moteurs est en service.

Dans le cas particulier de marche avec un seul moteur, le coupleur permet de réaliser les combinaisons suivantes :

a) *Marche en avant ou en arrière :*

1° Un des moteurs avec 3 groupes de résistances ;

2° Un des moteurs avec 2 groupes de résistances ;

3° Un des moteurs avec 1 groupe de résistances ;

4° Un des moteurs sans résistance.

b) *Freinage électrique pour la marche en avant ou en arrière :*

1° Le moteur utilisé, n'étant plus relié au trolley, fonctionne comme génératrice sur un circuit constitué par 4 groupes de résistances ;

2° Même combinaison, mais le circuit ne comporte que 3 groupes de résistances ;

3° Même combinaison, mais le circuit ne comporte que 2 groupes de résistances ;

4° Même combinaison, mais le circuit ne comporte qu'un groupe de résistances ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

5° Même combinaison avec le moteur mis en court-circuit.

Dans tous les cas, la manœuvre des deux cylindres est rendue solidaire au moyen d'un enclenchement combiné de telle façon qu'il n'est pas possible de déplacer la manette du grand cylindre, si ce n'est lorsque l'index de la manette de l'inverseur se trouve sur l'un des repères correspondant à l'une ou à l'autre des combinaisons que permet d'obtenir le petit cylindre. En outre, on ne peut déplacer la manette du cylindre inverseur lorsque la manette du cylindre commutateur se trouve dans toute autre position.

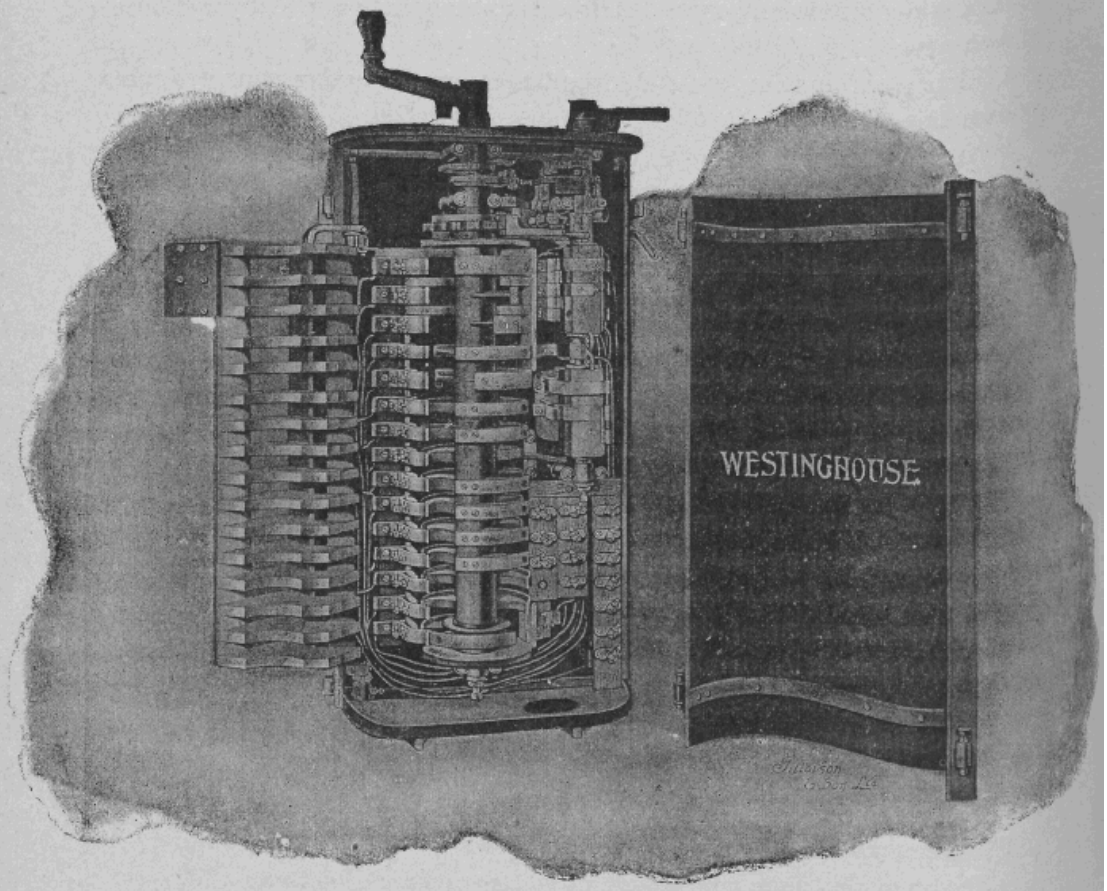


Fig. 136. — Coupleur série parallèle, système Westinghouse.

Coupleur série-parallèle, système Westinghouse. — Ce coupleur (*fig.* 136) série-parallèle est à soufflage magnétique et à freinage électrique. Il est disposé de manière à mettre le moteur en marche dès que l'on déplace la manette de sa position d'arrêt et à arrêter le fonctionnement du moteur en amenant cette manette dans une direction opposée.

L'arrêt obtenu par le freinage électrique, c'est-à-dire en faisant fonc-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tionner les moteurs comme génératrices, est obtenu par une méthode qui diffère de celle employée dans les autres systèmes de coupleurs : on n'utilise ni contacts ni bornes supplémentaires; une simple manœuvre de la manette suffit pour faire fonctionner automatiquement l'inverseur.

Ce coupleur fonctionne de la manière suivante :

Lorsque la manette se trouve dans la position d'arrêt, le tambour du commutateur inverseur s'y trouve également. En amenant la manette sur le premier contact de marche, on provoque la mise en route du moteur en avant ou en arrière, suivant la position donnée au levier du commutateur inverseur. Si l'on amène alors la manette à la première position d'arrêt, le tambour du commutateur inverseur est aussi renversé automatiquement, grâce à un dispositif placé entre le tambour principal et celui du commutateur inverseur.

Ce système présente le grand avantage de diminuer considérablement le nombre des contacts du coupleur. Le commutateur inverseur et le disjoncteur sont disposés de manière à ne pas exiger plus de contacts que ceux que nécessite le commutateur inverseur seul.

En plaçant la manette du coupleur au-delà de la position d'arrêt dans la direction opposée à celle de la mise en marche, on provoque l'arrêt de la voiture, cette manœuvre ayant pour effet de coupler en parallèle les deux induits des moteurs au moyen d'une résistance extérieure. L'énergie avec laquelle s'effectue l'arrêt peut être augmenté, en cas d'urgence, en déplaçant plus loin encore le levier, au-delà de la position d'arrêt, manœuvre qui supprime progressivement la résistance des circuits de l'induit du moteur fonctionnant alors comme génératrice.

La course complète de la manette dans la direction de la mise en route permet d'effectuer dix modifications différentes des connexions; sept donnent des positions de marche différentes, trois donnent des positions intermédiaires. La course complète dans la direction de l'arrêt produit cinq degrés différents d'arrêt.

Appareillage Westinghouse pour voitures automotrices. — La Société anonyme Westinghouse exposait les divers modèles d'appareils accessoires utilisés sur les voitures automotrices.

Le rhéostat normal destiné au démarrage des moteurs (*fig.* 137) est entièrement construit en matières incombustibles. Sa forme permet de l'adapter à toutes les installations et on peut le diviser en plusieurs sections si les conditions du montage l'exigent. Ces rhéostats sont protégés par une enveloppe en tôle et il n'entre dans leur construction aucune substance susceptible d'absorber l'humidité.

L'interrupteur à manette (*fig.* 137) sert à interrompre le circuit d'alimentation. Il est de construction très robuste, sans production possible

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'étincelles, et toutes les parties accessibles sont parfaitement isolées pour que le wattman ne soit exposé à aucun danger de contact. Il n'entre que de l'ardoise et du métal dans la construction de cet interrupteur; ses différents organes sont fixés sur un socle en ardoise et recouverts d'une boîte en métal d'où sort le levier à manette.

Le coupe-circuit fusible de sûreté (*fig.* 137) est unipolaire pour tous les circuits aériens d'alimentation; il est enfermé dans une boîte en fer munie d'un évent. En ouvrant le couvercle, on isole les bornes portant le fil fusible qui est en cuivre; dans ces conditions, on peut procéder à son remplacement sans danger et sans interrompre le circuit d'alimentation. Pour placer ce fil fusible, il suffit d'ouvrir la boîte en fer, d'y laisser tomber le fil et de la refermer; cette dernière opération amène le fil dans la position qu'il doit occuper et l'intercale dans le circuit d'alimentation.

Le disjoncteur automatique de courant (*fig.* 137) sert à protéger l'installation de la voiture contre toute surcharge; il remplace à la fois l'interrupteur à manette et le coupe-circuit fusible. C'est, en réalité, un interrupteur automatique de courant, muni d'une manette supplémentaire qui permet de le faire fonctionner à la main. Cet appareil est réglé pour qu'il ouvre automatiquement le circuit sous l'action d'une tension minimum préalablement déterminée; il est muni de pare-étincelles et est pourvu également d'un souffleur magnétique. Cet appareil constitue une protection efficace contre tous les courts-circuits.

Le parafoudre, muni d'une bobine de self (*fig.* 137), est installé sur toutes les voitures à prise de courant aérienne. En cas de décharge atmosphérique, ce parafoudre présente une résistance moindre que celle de toute autre partie du circuit; en outre, il est construit de manière que la rupture d'isolement produite ne soit que momentanée, afin d'éviter une mise à la terre permanente et, à cet effet, il est accompagné d'une bobine de self spéciale qui a pour objet d'arrêter le courant d'alimentation et d'empêcher sa déperdition dans le sol.

Compresseur d'air à commande électrique, système Westinghouse. — L'air comprimé nécessaire au fonctionnement de l'équipement de contrôle électro-pneumatique pour trains à unités multiples est fourni par un petit compresseur susceptible, du fait de ses faibles dimensions, de recevoir de nombreuses applications.

Ce compresseur, d'une puissance de 1,5 cheval, débite de l'air comprimé à des pressions pouvant varier de 0 à 6 kg : cm².

Il se compose du compresseur proprement dit et d'un moteur électrique, montés sur un socle unique; l'induit du moteur est calé directement sur un prolongement de l'arbre des manivelles du compresseur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

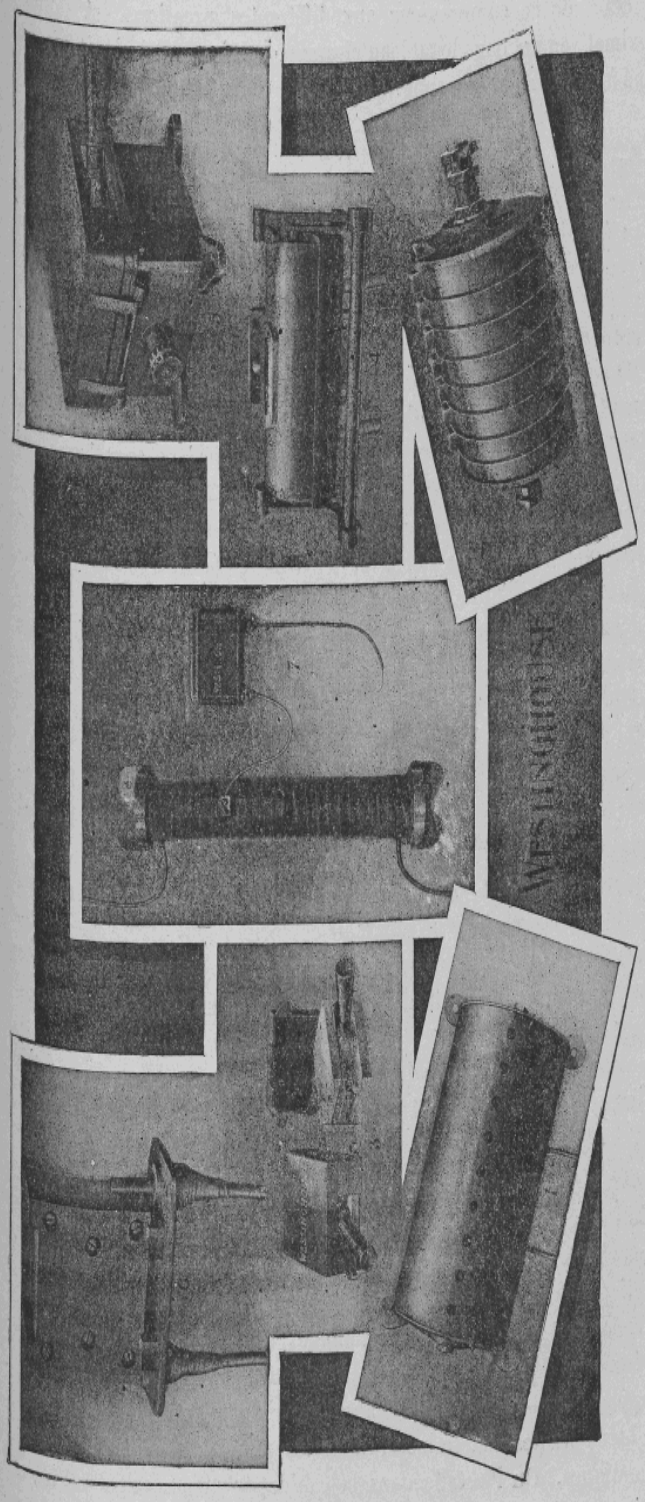


Fig. 137. — Appareillage Westinghouse pour voitures de tramways électriques.
1. Rhéostat normal avec son enveloppe. — 2. Rhéostat normal sans enveloppe. — 3. Interrupteur à manette. — 4. Coupe circuit fusible. — 5. Disjoncteur automatique. — 6. Parafoudre. — 7. Parafoudre avec bobine de self.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le débit de ce compresseur aux différentes pressions est donné approximativement dans le tableau ci-après, le volume d'air débité étant ramené à la pression atmosphérique :

Pression.	Volume en litres.	t : m	Puissance absorbée en kw.
0	300	1000	1,03 environ
2	240	890	1,18 —
4	185	840	1,32 —
6	140	815	1,49 —

Ce compresseur est à simple effet et à deux cylindres horizontaux de 60 × 60 mm. Les cylindres sont munis d'ailettes pour faciliter le refroidissement, et les soupapes d'aspiration et d'échappement sont à commande automatique. Les deux manivelles sont calées à 180° sur l'arbre en acier.

Les paliers du compresseur sont à graissage automatique ; le graissage des pistons, tiges de piston et têtes de bielle se fait par barbotage dans un bain d'huile.

Le moteur est à courant continu, du type normal Westinghouse et peut être établi pour fonctionner sous une tension de 110, 220 ou 550 volts. Il est excité en série et peut démarrer automatiquement sans rhéostat par la simple fermeture d'un interrupteur.

Son emploi est tout indiqué sur les voitures de tramways ou de chemins de fer électriques munies de freins à air ou du contrôleur électro-pneumatique.

Ce compresseur est généralement complété par un appareil, mis en communication avec le réservoir d'air comprimé, qui arrête automatiquement le compresseur dès que la pression dépasse une certaine limite et le met de nouveau en route dès que cette pression s'abaisse au-dessous d'un minimum déterminé.

Il se construit également des compresseurs de 7 chevaux pour des pressions comprises entre 0 et 7 kg : cm².

Contrôleur électro-pneumatique, système Bouscot. — M. Bouscot, de Paris, avait exposé un contrôleur électro-pneumatique destiné à commander à distance les compresseurs d'air utilisés dans les voitures à traction électrique. Cet appareil est également applicable à la commande des moteurs électriques actionnant les pompes qui alimentent des réservoirs à pression et à niveau constants.

L'appareil exposé est destiné à maintenir une pression constante, entre deux limites déterminées, dans les réservoirs à air des freins pneumatiques. On l'installe dans la cabine de manœuvre d'un train électrique et il fonctionne, sans nécessiter aucune surveillance, pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

commander le compresseur où il maintient une pression constante dans le réservoir.

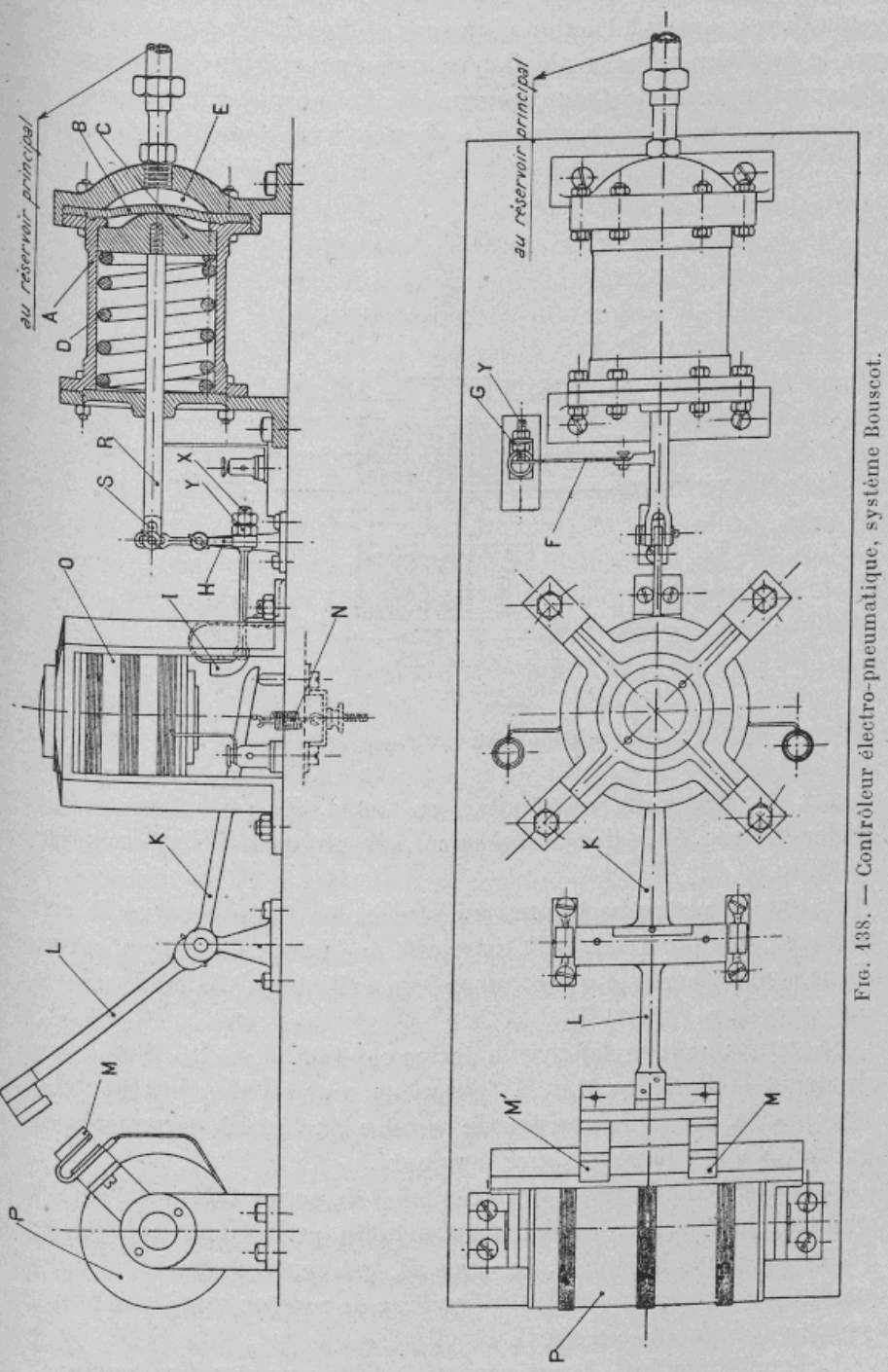


Fig. 138. — Contrôleur électro-pneumatique, système Bouscot.

Cet appareil (*fig.* 138) se compose essentiellement d'un cylindre en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

communication constante avec le réservoir principal ; à l'intérieur de ce cylindre se trouve un diaphragme élastique B qui, par l'intermédiaire du piston C, est soumis à l'action d'un ressort taré D tendant à le pousser vers le fond du cylindre. Ce diaphragme a pour objet de séparer complètement le réservoir d'air comprimé de l'atmosphère extérieure, sans qu'il soit nécessaire d'avoir un cylindre parfaitement tourné et de

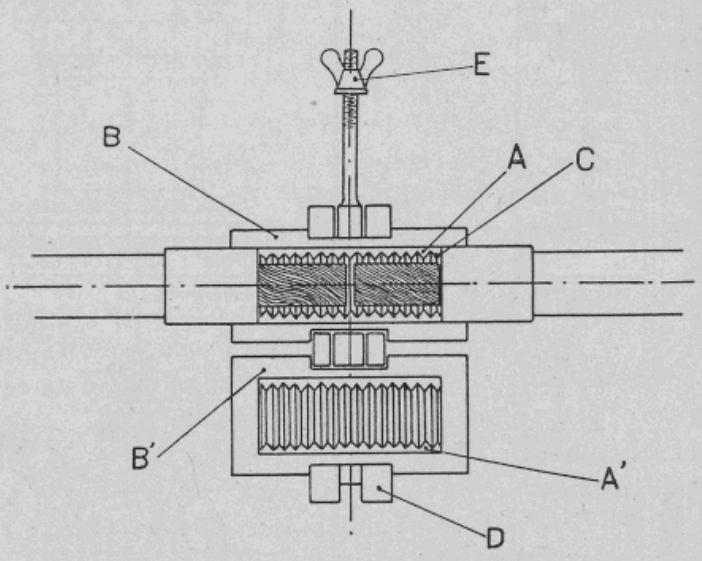


FIG. 139. — Connexion électrique, système Bouscot.

garnir le piston de segments ; en outre, le piston peut ainsi se déplacer avec plus de facilité que s'il obturait hermétiquement le cylindre.

La tige du piston porte une paillette isolée F qui peut venir en contact avec une butée fixe G. L'extrémité de la tige du piston est munie d'une chape à coulisse qui commande, par l'intermédiaire d'un levier H, un verrou I.

Ce verrou peut enclencher le levier coudé K dont le bras L, pourvu de contacts flexibles M et M', constitue un véritable interrupteur. Le levier est rappelé à la position de rupture du circuit par un ressort en boudin N que l'on peut régler à volonté.

L'appareil comporte un électro-aimant O, servant de relais électromagnétique et ayant un enroulement en fil fin qui présente une très grande résistance ; une bobine P, en gros fil, est fermée sur le circuit d'un moteur électrique et sert à souffler l'arc de rupture ainsi qu'à shunter la bobine de l'électro-aimant O.

Le fonctionnement de cet appareil est le suivant : En supposant que le réservoir d'air soit vide, la pression exercée sur le diaphragme B est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nulle, et le ressort D applique le piston C sur le fond du cylindre. Dans cette position, la paillette F que porte la tige du piston appuie sur la butée G, ce qui a pour effet de fermer le circuit de la bobine O qui attire son armature K. Cette armature est alors enclenchée par le verrou I et maintenue dans la position d'attraction, tandis que son extrémité opposée L ferme le circuit du moteur électrique actionnant le compresseur qui envoie de l'air comprimé dans le réservoir.

La pression de l'air contenu dans le réservoir s'exerçant sur la face arrière du diaphragme B, le piston C est chassé en avant, et le ressort est, par suite, comprimé. Dans son mouvement, la tige du piston entraîne avec elle la paillette F qui abandonne le contact fixe G, interrompant ainsi le circuit de l'électro-aimant O. A partir de ce moment, l'attraction exercée par l'électro-aimant O sur l'armature K cesse complètement, mais l'armature reste enclenchée mécaniquement. Comme la bobine de l'électro-aimant O est shuntée par celle de P, l'intensité du courant au moment de la rupture est très faible et il ne se produit pas d'étincelle ; il n'en serait pas de même si l'intensité, lors de la rupture, avait la valeur primitive nécessaire pour déterminer l'attraction de l'armature, au moment de la fermeture du circuit. Grâce à cette disposition, la densité du courant passant dans la bobine O n'est assez élevée que pendant un instant très court, suffisant pour déterminer l'attraction de l'armature.

La pression continuant à augmenter dans le réservoir, la tige du piston continue son mouvement et, arrivée à fond de course, la coulisse S, par l'intermédiaire du levier H, actionne la tête du verrou I qui laisse alors échapper l'armature K. Cette dernière est rappelée par le ressort N, et les contacts M et M′, se relevant, coupent le circuit du moteur actionnant le compresseur. L'arc de rupture est soufflé magnétiquement par la bobine P disposée à cet effet.

L'arrêt du compresseur dépend du réglage de l'écrou V sur la tige filetée X. Si une baisse de pression vient à se produire dans le réservoir, le piston cédant à l'action du ressort rétablit le contact en G, le circuit est fermé de nouveau et le compresseur fonctionne. Il est facile de régler la valeur désirée de la pression minimum à l'aide de la vis y du contact fixe G.

Connexion électrique « Rapide » pour moteurs de traction. — M. Bouscot de Paris avait exposé un petit appareil destiné à remplacer les épissures ordinaires, difficiles et longues à faire, pour relier rapidement deux conducteurs isolés, tels que ceux qui servent à établir les connexions du moteur avec le coupleur dans les voitures de tramways ou de chemins de fer électriques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cet appareil se compose (*fig.* 139) de deux demi-cylindres en laiton A et A', formant mâchoires, et disposés dans une boîte rectangulaire, en fibre vulcanisée, de manière à assurer un bon isolement. La partie intérieure de ces mâchoires est munie de rainures circulaires à profil triangulaire. Extérieurement, la boîte en fibre, munie de charnières, porte une bride à charnière D qui se verrouille au moyen d'une tige filetée et d'un écrou à oreilles E.

Pour faire une jonction, il suffit de dénuder les extrémités des deux câbles à relier, de les rapprocher bout à bout dans les mâchoires et de serrer ces dernières à l'aide de la bride et de l'écrou ; on obtient ainsi un bon contact très solide.

Matériel pour lignes aériennes de tramways. — MM. E. H. Cadiot et Cie de Paris, représentants pour la France de l'*Ohio Brass C^o^*, exposaient une série complète de pièces accessoires pour l'équipement des lignes aériennes de traction électrique, telles que : suspensions pour double courbe, pour simple courbe et pour ligne droite; suspensions pour consoles à simple et à double isolement; suspensions pour traversée de ponts ; tendeurs à vis ; isolateurs-tendeurs ; oreilles de suspension avec pince, d'ancrage, à gouttière latérale, de jonction, etc. ; isolateur de section ; flûte de raccord en cuivre étamé ; consoles pour poteaux en fer et pour poteaux en bois.

Indépendamment de ce matériel de ligne, cette exposition comportait une lanterne électrique « Syracuse », un interrupteur « Perkins », un interrupteur de section, un coupe-circuit unipolaire, un parafoudre Garton, etc.

Tableaux graphiques relatifs au démarrage série-parallèle. — Ces tableaux graphiques, exposés par M. Jean de Traz, ingénieur à Paris, représentent des courbes ayant pour but principal de montrer l'influence importante que peut avoir sur la consommation d'énergie, dans un service de traction, le choix judicieux du moment où il convient d'abandonner le groupement en série des moteurs, pour grouper ces derniers en dérivation.

De précédentes recherches théoriques, inspirées notamment par les études qui ont été publiées en Amérique sur ces sujets, et un certain nombre d'essais et de mesures effectués par l'auteur sur des trains électriques en service normal, ont montré que le fonctionnement des voitures munies de moteurs électriques se prêtait admirablement à des calculs relativement rigoureux, et que la stricte observation des enseignements tirés de ces calculs aurait pour conséquence de sérieux avantages, et notamment de réaliser d'importantes économies dans les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entreprises de traction installées et équipées trop souvent d'après des considérations purement empiriques.

Des méthodes semblables à celles qui ont permis de déterminer l'avantage économique résultant de l'emploi de moteurs de puissance plus ou moins grande, appliqués à un train de poids donné, suivant un horaire établi, ont permis de comparer, au même point de vue économique, les effets de la durée de la marche en série, pour un parcours donné, effectué dans un temps donné.

Il est admis, d'une façon à peu près générale, que le passage immédiat en parallèle, aussitôt après l'élimination des résistances utilisées lors de la marche en série, n'est pas avantageuse. On a déclaré, en se fondant sur le résultat de certains essais d'ailleurs très limités, que cette manœuvre ne permettait pas de profiter suffisamment du groupement série.

Les wattmen ne se font pas faute de retarder le passage d'un groupement à un autre, surtout quand leurs voitures sont munies d'appareils disjoncteurs automatiques qui ne déclenchent, pour des excès de courant dus à des manœuvres trop brutales, que lors de la marche en parallèle.

Mais il est certain que, d'ordinaire, les wattmen retardent d'une façon exagérée le moment du passage.

Pour comparer les diverses façons d'opérer la manœuvre, on a recherché quelles étaient les dépenses d'énergie respectives nécessaires pour amener un train à sa vitesse normale, suivant la durée plus ou moins longue de la marche en série.

On ne considérait ainsi qu'une partie du problème. Il est intéressant de comparer aussi les temps qui s'écoulent entre le départ et le moment où cette vitesse normale est atteinte, car ces temps entrent doublement en compte dans la durée totale du trajet, et rien ne sert d'atteindre économiquement une vitesse donnée, s'il faut ensuite l'entretenir plus longtemps, au prix d'une dépense plus grande, que si on l'avait atteinte plus vite.

M. de Traz, encouragé par les conseils qu'a bien voulu lui donner le regretté Potier, a voulu comparer entre elles les dépenses totales d'énergie, du départ d'une station à l'arrêt dans la station suivante, pour des durées différentes de la marche en série.

Il a pris comme exemple un train à unités multiples comportant une charge de 23,3 tonnes pour chacun de ses moteurs (série) de 125 chevaux. Les appareils de commande de ce train étaient soumis aux régulateurs automatiques, maintenant universellement adoptés pour les équipements à unités multiples, qui rendent absolument identiques entre eux, au point de vue des variations relatives de l'intensité et de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vitesse, les périodes d'élimination de résistances dans le groupement série comme dans le groupement parallèle.

On a tracé la série des courbes représentant les variations de la vitesse et de l'intensité du courant consommé par rapport au temps, pour les périodes d'accélération relatives aux diverses combinaisons de circuit et pour les périodes de course sur l'aire et de freinage, en palier et en rampe de 20 millièmes, en partant de la connaissance du poids du train et de la caractéristique des moteurs considérés, et en prenant comme valeurs de la résistance passive aux diverses vitesses celles données par une formule à trois termes appropriée.

On a ensuite établi séparément pour les deux profils considérés, et par des procédés graphiques et algébriques combinés, les valeurs correspondantes de la consommation totale, de la durée du trajet, de la durée de la marche en série et de la longueur du trajet.

Ces valeurs convenablement reportées ont donné les cinq tableaux qui ont été réunis sur les graphiques exposés.

Pour le service d'une ligne, la considération isolée de tableaux correspondant chacun à un des intervalles de stations ne suffirait évidemment pas pour permettre de déterminer les instants de passage les plus avantageux. En effet, il résulte, de la façon la plus absolue, des diverses études faites sur la consommation d'énergie dans la traction électrique, que les différentes marches à prescrire pour les divers parcours partiels (entre arrêts consécutifs) doivent faire l'objet d'une étude générale unique : la marche la plus avantageuse pour un des parcours partiels ne peut être considérée isolément ; elle dépend des conditions du service sur toute la ligne.

La méthode reconnue la meilleure pour des recherches analogues s'appliquera parfaitement si l'on veut établir les instants de passage les plus avantageux pour les divers parcours partiels. Ayant établi pour chacun d'eux un tableau, on en déduira la courbe de la variation de la consommation totale en fonction de la durée totale du trajet. Les courbes consommation-durée étant toutes portées sur la même feuille, on cherchera les points de chacune d'elles pour lesquels, les tangentes à toutes les courbes étant *parallèles*, la somme des abscisses de ces points, c'est-à-dire la somme des durées de parcours partiels sera égale au temps alloué pour le trajet entier, défalcation faite des arrêts. Ces points reportés sur les tableaux, grâce à la connaissance de la durée du parcours et de la consommation, donneront (en abscisse) la durée de la marche en série la plus avantageuse.

Ces diverses considérations théoriques peuvent sembler bien éloignées des conditions dans lesquelles s'effectue, en pratique, la traction électrique : des expériences permettent d'affirmer que l'on peut suffisam-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment tenir compte des éléments les plus importants du problème pour ne s'éloigner qu'assez peu de la réalité des faits.

De semblables études permettraient de réaliser, sur des lignes importantes, des économies très considérables dans la dépense d'énergie.

Une application, d'ailleurs restreinte, des enseignements de cette étude sur la variation de consommation dans le démarrage série-parallèle en fonction de la durée du groupement série a été introduite par M. de Traz dans les équipements à unités multiples Sprague, sous forme d'un régulateur spécial, agissant seulement pour rendre automatique le passage du groupement en série au groupement en parallèle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE V

TÉLÉGRAPHIE

Exposition rétrospective du Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes de France. — Cette intéressante exposition rétrospective comportait surtout des appareils inventés ou perfectionnés par le personnel de l'Administration.

Les appareils exposés étaient les suivants :

Appareil télégraphique aérien, système Chappe. — L'appareil présenté est une réduction des appareils à bras, imaginés par Claude Chappe en 1780, mis en service par la Convention française en 1793 et utilisés en France jusqu'en 1842. Les signaux étaient obtenus dans cet appareil en faisant varier la position respective de deux indicateurs et d'un régulateur. La lecture de ces signaux, au nombre de 196, se faisait à l'aide d'une lunette.

Appareil Foy-Breguet (1842). — C'est l'un des premiers appareils électriques utilisés en France. Il reproduit aussi fidèlement que possible les dispositions extérieures et les manœuvres du télégraphe aérien. Deux fils de ligne sont nécessaires pour son emploi. Le récepteur comporte deux indicateurs dont les combinaisons de position permettent de réaliser 64 signaux. Chacun de ces indicateurs est commandé par un mouvement d'horlogerie dont le déclenchement est produit par le fonctionnement d'un électro-aimant. Le manipulateur est constitué par deux manettes, correspondant chacune à un des conducteurs de la ligne et, par suite, à un des électro-aimants de réception. L'appareil Foy-Breguet a fonctionné en service régulier jusqu'en 1858.

Appareil à cadran Breguet (1842). — Cet appareil, contemporain de celui de Foy-Breguet, fut mis en service sur les lignes de chemins de fer, dès la création de ces nouvelles voies de communication. Il ne diffère des appareils à cadran encore en usage que par la disposition de son mouvement d'horlogerie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Appareil à cadran Digney. — C'est un appareil à courants alternatifs et sans réglage. Le manipulateur comporte, indépendamment du cadran habituel, une couronne sinueuse et une couronne dentée. La couronne sinueuse commande le déplacement simultané de deux leviers inverseurs de pile orientés à angle droit, permettant ainsi d'envoyer sur la ligne une série d'émissions de courant alternatives. La couronne dentée commande un troisième levier qui met la ligne en relation avec le récepteur dans l'intervalle des émissions. Le récepteur est semblable à celui des appareils à cadran ordinaires; toutefois, l'électro-aimant récepteur est polarisé et du type Siemens.

Appareil à cadran avec transmetteur à clavier, système Froment. — Le transmetteur comporte autant de touches que de signaux. En regard de ces touches est un axe horizontal portant autant de goupilles qu'il y a de touches; ces goupilles sont disposées suivant une hélice. L'axe porte, en outre, deux roues dentées : l'une remplit la fonction de la roue sinueuse du cadran ordinaire et commande la manœuvre du levier de transmission; l'autre permet à l'axe d'obéir ou non à l'action du mouvement d'horlogerie, suivant qu'elle est ou non arrêtée par un cliquet.

L'abaissement d'une touche provoque automatiquement la mise en route de l'axe, en dégageant le cliquet, puis l'arrêt, également automatique de cet axe, après un nombre convenable d'émissions, lorsque la goupille correspondant à la touche se trouve en regard d'elle.

Le récepteur est du type ordinaire.

Cet appareil comporte un dispositif de sonnerie permettant de transformer le mouvement discontinu de l'armature, sous l'action des émissions d'appel, en un mouvement circulaire continu commandant la manœuvre du marteau.

Appareil imprimeur Dujardin (1867). — Cet appareil se compose d'un manipulateur à cadran à inversion de courant et d'un récepteur muni d'un électro-aimant en relation avec la ligne. Cet électro-aimant comporte deux armatures : l'une, polarisée, produit l'échappement du premier mouvement d'horlogerie destiné à faire tourner une roue des types; l'autre, très légère, demeure collée tant que les émissions de courant sont très rapprochées et se détache dès que ces émissions cessent. Ce dernier mouvement est alors utilisé pour fermer un circuit local à travers un second électro-aimant qui libère un mouvement d'horlogerie commandant l'impression du signal et la progression du papier.

Appareil Morse à pointe sèche avec relais et moteur à poids (1838-1845). — Cet appareil est l'un des premiers du type Morse qui aient été construits en France. Les systèmes d'encrage n'étant pas encore découverts, l'inscription des signaux était obtenue par gaufrage, ce qui nécessitait l'emploi d'un relais.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Manipulateur Morse, système Ailhaud. — Le manipulateur très ingénieux se compose d'un crayon ou d'une plume, montés sur un système à pompe. Chaque fois qu'on appuie l'appareil sur une feuille pour tracer un signal Morse, la pompe refoulée agit sur un commutateur et celui-ci relie, pendant le même temps, la ligne à la pile. Au repos, le même commutateur relie automatiquement la ligne au récepteur, du modèle ordinaire. Il suffit donc d'écrire les signaux pour effectuer en même temps leur transmission.

Appareil Morse électromagnétique, système Digney. — Le transmetteur est une petite machine magnéto-électrique du type Siemens : l'abaissement du manipulateur provoque un déplacement angulaire de la bobine et, par suite, l'émission d'un courant; le relèvement consécutif provoque l'émission d'un courant de sens inverse. Le récepteur est muni d'un électro-aimant polarisé, type Siemens, avec armature réglée à l'indifférence.

Appareil Morse rapide, système Chauvassaignes et Lambrigot (1867). — Cet appareil est à composition préalable faite, au poste de départ, à l'aide d'un récepteur Morse transformé dans lequel l'encreur est remplacé par un réservoir contenant de la résine maintenue en fusion à l'aide d'un brûleur. La bande étamée reçoit ainsi à la place des signaux des dépôts de résine. A la transmission, cette bande préparée est entraînée par un laminoir mis à la terre et passe sous un stylet relié à la pile et à la ligne; dans ces conditions il se produit une émission de courant sur la ligne chaque fois que le stylet passe sur la résine. A la réception, un laminoir semblable au précédent entraîne automatiquement une bande de papier sensibilisé à l'aide de ferrocyanure de potassium; la bande passe également sous un stylet en communication avec la ligne et, à chaque émission reçue, le stylet imprime une marque de couleur sur la bande.

Appareil Morse à clavier, système Ailhaud (1862). — Le transmetteur de cet appareil comporte autant de touches qu'il y a de lettres ou de signaux. En regard de chaque touche et porté par un axe commun, sont placés des disques portant des saillies et des creux représentant les différentes lettres ou signaux du code Morse. Lorsqu'on abaisse une touche, son prolongement s'accroche à une tringle à bascule et elle reste dans cette position; en même temps, le mouvement d'horlogerie libéré fait tourner l'axe portant les disques. Un ressort, faisant corps avec la touche, frotte sur les saillies du disque correspondant et effectue la transmission. L'abaissement d'une autre touche provoque le relèvement de celle qui était abaissée. Au récepteur, un mécanisme local fort ingénieux fait qu'après la réception d'un signal la bande continue à progresser d'une quantité fixe et s'arrête.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Appareil Meyer automatique (1890). — C'est un appareil Morse fonctionnant avec les deux sens du courant et nécessitant une composition préalable. La bande préparée à l'avance présente deux rangées de perforations correspondant respectivement aux traits et aux points. En passant sous deux styles placés sur le transmetteur, il se produit sur la ligne des émissions positives ou négatives, suivant que les perforations appartiennent à une des rangées ou à l'autre.

Les émissions de courant sont reçues par deux relais polarisés qui actionnent chacun un électro-aimant local. La bande du récepteur est perforée de la même manière que la bande de transmission et ce résultat est obtenu par le fonctionnement respectif des deux électro-aimants locaux. En même temps, les signaux sont imprimés sur une autre bande par le jeu du perforateur de réception.

Cet appareil est caractérisé par cette particularité que la bande perforée à la réception peut être utilisée pour une nouvelle transmission, dispositif qui a été appliqué à plusieurs autres appareils télégraphiques.

Appareil autographique Meyer. — Cet appareil est caractérisé par ce fait que le télégramme est imprimé avec de l'encre ordinaire sur le récepteur. Son principe est identique à celui de l'appareil Caselli.

Le transmetteur est constitué par un cylindre sur lequel est placé le télégramme à transmettre, écrit avec une encre isolante sur un papier d'étain. Parallèlement à ce cylindre se trouve une vis sans fin servant de guide à un petit chariot portant un style métallique; à chaque révolution de la vis, le chariot avance d'un pas, et le style décrit sur le papier une hélice de même pas. Chaque fois que le style rencontre l'encre isolante, le courant passe sur la ligne.

Le récepteur est muni d'un cylindre tournant sur lequel est gravée en relief une nervure hélicoïdale constamment encrée et dont le pas est égal à la longueur de ce cylindre. Si ce cylindre tourne d'une manière continue, les différents points de l'hélice viennent toucher une feuille parallèle à l'axe, et ce point de contact se déplace sur la feuille en traçant une ligne droite également parallèle à cet axe. Ce cylindre et l'axe du transmetteur tournent avec la même vitesse angulaire. Par suite, à chaque instant, l'hélice du récepteur présente, vis-à-vis du papier, un point correspondant à la position du style sur le cylindre du transmetteur.

Un relais polarisé local, du système de l'inventeur, est actionné par le relais d'arrivée ; il sert à approcher le papier de l'hélice quand le courant passe et à l'éloigner quand il ne passe plus.

Le synchronisme est assuré par un régulateur pendulaire à boules.

Appareil multiple Meyer (1872). — Cet appareil est le premier appareil multiple à division du temps qui ait été mis en service en Europe. Les lettres sont transmises en signaux Morse ; deux distributeurs en syn-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chronisme mettent la ligne en communication avec chacun des appareils que comporte le poste pendant le temps qui correspond au signal le plus long.

A chaque poste, correspondent sur les distributeurs douze plots permettant de faire 4 émissions de courant brèves ou longues, séparées chacune par une mise à la terre de la ligne.

Le mécanisme du récepteur est un dispositif à hélice, identique à celui employé par le même inventeur dans son appareil autographique. L'inscription des signaux Morse sur la bande est faite transversalement à celle-ci.

Le synchronisme est obtenu par un régulateur pendulaire à boules. L'appareil comporte, en outre, un système de correction électrique très remarquable.

Appareil Hughes adapté à la transmission sur les câbles sous-marins, système Ailhaud et Mandroux (1882). — Le transmetteur Hughes est disposé pour faire suivre chaque émission de courant d'une émission de sens opposé sur le câble et d'une décharge graduée à la terre. A cet effet, le levier de transmission ordinaire est utilisé simplement pour provoquer le déclenchement de l'appareil et la mise en route de l'axe imprimeur. Cet axe porte un bras en relation avec le câble; il se déplace sur un distributeur comprenant cinq secteurs et un secteur de repos isolé.

Le passage sur le premier secteur provoque l'envoi sur le câble d'un courant de travail par un levier transmetteur; le passage sur le secteur n° 2 provoque l'envoi sur le câble d'un courant de sens inverse au précédent; enfin, pendant le passage sur les trois autres secteurs, le câble est successivement relié à la terre à travers une résistance, puis sans résistance, puis à travers un galvanomètre, ce dernier étant destiné à vérifier si la décharge est bien complète. Le bras du distributeur s'arrête ensuite sur un secteur de repos.

Le récepteur Hughes est disposé pour que chaque réception de courant de travail soit suivie d'une décharge progressive du câble. A cet effet, le câble est relié normalement à un relais polarisé. Dès la réception d'un courant, ce relais fait fonctionner l'électro Hughes et met en marche l'axe imprimeur. Cet axe porte un bras, relié au câble, qui se déplace sur un distributeur comprenant cinq secteurs et un secteur de repos isolé.

Le passage du bras sur le secteur n° 1 met le câble à la terre; le passage sur le secteur n° 2 provoque l'envoi d'un courant de décharge; le passage sur les secteurs n°s 3, 4 et 5 met de nouveau le câble à la terre directement, puis à travers un galvanomètre, puis enfin directement. Le passage du frotteur sur le secteur n° 4 permet de vérifier l'état élec-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trique du conducteur pour modifier au besoin les éléments de réglage (capacité et résistance).

Cet appareil a fonctionné en service régulier sur le câble Marseille-Alger.

Appareil imprimeur quintuple Baudot à combinateur électrique avec relais, premier type. — Inventé en 1874 par Émile Baudot et construit en 1875-1876 par Dumoulin-Froment, cet appareil a fait le service entre Paris et Bordeaux en 1877 et a figuré à l'Exposition de 1878 où il a obtenu un grand prix. A partir de cette époque, il a été remplacé par une succession d'appareils du même inventeur, réalisant diverses améliorations sur le premier type, mais fondés sur les mêmes principes, savoir :

1° Formation des lettres au moyen de combinaisons de cinq signaux élémentaires ;

2° Transmission successive de ces cinq signaux sous forme d'émissions positives ;

3° Emmagasinage de cette combinaison à l'arrivée ;

4° Traduction automatique par un télégraphe imprimeur ;

7° Multiplicité, par utilisation de la ligne, pour d'autres transmissions pendant la traduction et l'impression d'une combinaison ;

6° Maintien de la concordance mécanique entre les appareils correspondants par la subordination des organes d'une même station à son propre distributeur et par la subordination d'un distributeur à l'autre ;

7° Sécurité de la transmission électrique par l'emploi d'un courant de repos.

Distributeur de l'appareil multiple Baudot. — L'appareil exposé, datant de 1879, est le premier type de distributeur pour combinateur mécanique. Depuis, il a reçu plusieurs perfectionnements et de notables modifications.

Exposition du Ministère des Chemins de fer, Postes et Télégraphes (Direction technique de l'Administration des Télégraphes de Belgique). — L'Administration des Télégraphes belges exposait les trois types d'installations télégraphiques employés dans ses bureaux.

Le premier type est celui d'un petit bureau à deux directions, comportant un commutateur-parafoudre d'entrée, un tableau indicateur d'appel à deux numéros avec jacks et fiches, un parleur à tambour pour les communications directes à établir par le bureau et un poste Morse.

Le deuxième type se rapporte à un bureau d'importance secondaire. Il comporte un commutateur à lames combiné avec les indicateurs d'appel et l'appareil pour communications directes qui est un parleur à relais. Le récepteur Morse, monté avec un relais, répète les signaux reçus dans le parleur et constitue ainsi un poste mixte de réception au son ou enregistrée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le troisième type d'installation est celui d'un bureau principal, caractérisé par l'emploi d'un commutateur à lames pour 48 fils. Ce commutateur est muni d'indicateurs d'appel et d'indicateurs de fin. Devant ce commutateur sont disposées quatre tables de manipulation, installées exclusivement pour la réception au son et pourvues d'un bouton d'indication de fin et d'un manipulateur du système américain légèrement modifié.

Le mode d'exploitation usité en Belgique est celui connu sous le nom de « **concentration des appels** » dû à M. Buels, fonctionnaire des Télégraphes belges.

Le stand de l'Administration belge contenait aussi des postes Hughes montés en duplex. Ces Hughes sont mus par de petits moteurs électriques et sont munis de régulateurs du système Siemens et Halske.

La compagnie des Télégraphistes militaires avait également exposé les postes portatifs de télégraphie de campagne.

Enfin, on remarquait dans le même stand les appareils anti-inducteurs du système de télégraphie et de téléphonie simultanées de Van Rysselberghe.

Tableau de distribution de MM. Richez et Cie de Bruxelles. — Le mode d'exploitation télégraphique par système de *concentration des appels* nécessite l'emploi d'un tableau spécial. C'est un de ces tableaux qui était exposé par MM. Richez et Cie; il se compose en principe d'un commutateur à lames, de disposition analogue aux commutateurs suisses, c'est-à-dire comportant une série de lames verticales et une série de lames horizontales, disposées de manière à pouvoir mettre en communication, à l'aide d'une fiche, l'une quelconque des lames verticales correspondant aux différentes lignes avec l'une quelconque des lames horizontales reliées aux différents appareils Morse que comporte l'installation.

Le commutateur est complété par un tableau d'annonciateurs d'appel en nombre égal à celui des lignes aboutissant au bureau. Les connexions vers les indicateurs d'appel partent des plots placés sur les lames verticales et dans chacune de ces connexions se trouvent intercalés deux jacks affectés respectivement, pour chaque ligne, à la réception d'un appel sur un poste auditif et, éventuellement, au raccordement de la ligne appelante à un appareil intermédiaire, parleur à relais ou translateur, permettant d'établir la communication directe avec une autre ligne, évitant ainsi au bureau intermédiaire d'effectuer la réception et la transmission d'un télégramme de transit. Si le télégramme est destiné au bureau même, une fois l'appel reçu au poste auditif, l'agent chargé du commutateur met en communication la ligne d'où provient l'appel avec un des postes Morse disponible.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'installation est complétée par un tableau d'annonciateurs de fin correspondant aux différents Morse, permettant à l'opérateur de chaque poste de faire connaître s'il est disponible ou non.

Appareils télégraphiques. — Des appareils télégraphiques des systèmes Morse et Hughes, ainsi que des appareils accessoires étaient exposés par plusieurs constructeurs, notamment par MM. Émile Gérard et Cie de Liège, par l'Association des Ouvriers en instruments de précision de Paris, par la Société industrielle des Téléphones de Paris, par l'usine Frédéric Nyst de Liège.

M. Alph. Darras de Paris exposait plusieurs appareils et notamment les suivants :

1° Un relais, système Pierre Picard, pour télégraphie sous-marine, en service sur les câbles français reliant la France à l'Algérie ; ce relais fait partie du système de transmission Pierre Picard et est caractérisé par une extrême sensibilité ; il ne comporte pas de ressort antagoniste pour le rappel au repos de la bobine oscillante ;

2° Un relais Claude, à double bobine, en service sur les chemins de fer français ; ce relais fait partie du système de communication connu sous le nom de rappel général Claude ;

3° Un relais Claude-Darras à simple bobine, modèle spécial pour la télégraphie sans fil ; cet appareil a une grande sensibilité et son réglage est facile et rapide. Ce modèle de relais est employé dans les installations des services de la marine et de la télégraphie militaire ;

4° Un relais Darras à simple bobine et à double contact permettant la fermeture d'un circuit local sous l'action d'un courant de réception positif ou négatif ;

5° Un manipulateur Morse du modèle de l'Administration française ;

6° Un commutateur à trois manettes et un manipulateur à deux touches, disposés pour l'installation des postes d'intercommunication du système Claude ;

7° Un commutateur gradué pour condensateurs, utilisé dans les installations de télégraphie sous-marine du système Pierre Picard ;

8° Un récepteur Morse et son rouet, modèle de la Compagnie des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, et un récepteur Morse, modèle de l'Administration française ;

9° Le rappel général, système Claude, à 23 divisions ; cet appareil est employé par les Compagnies de chemins de fer français de l'Ouest, d'Orléans, de l'Est, du Paris-Lyon-Méditerranée, du Midi, ainsi que par la Compagnie générale des bateaux parisiens. Ces appareils, dont plus de 600 sont en service, sont caractérisés par leur simplicité et leur construction robuste.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Max Kotyra de Paris exposait un transmetteur à clavier pour signaux Morse. Le clavier est disposé comme celui des machines à écrire, et il suffit d'abaisser une des touches pour produire automatiquement les émissions de courant brèves ou longues correspondant au signal dont elle porte l'indication. En appuyant sur une touche, on provoque son embrayage avec un axe denté, animé d'un mouvement de rotation; la tige prolongeant cette touche est entraînée, et le frotteur dont elle est munie glisse successivement sur le groupe de contacts composant le signal à transmettre et ferme le circuit de la pile sur la ligne. Cela fait, la touche se dégage et revient à sa position normale. Le mouvement de l'axe est commandé par un petit moteur électrique ou, à défaut, par deux pédales actionnées par l'opérateur.

M. J. Carpentier de Paris exposait un traducteur de l'appareil multiple Baudot, comportant les derniers perfectionnements dont cet appareil a été l'objet.

MM. G. Mambret et Cie présentaient divers modèles de relais, des parleurs du type *Sounder* et de nombreux appareils accessoires.

Sonneries. — Un grand nombre de constructeurs exposaient des types de sonneries de leur fabrication. Ces appareils sont suffisamment connus pour qu'il soit utile de les décrire. Il convient néanmoins de citer :

La Société « Deutsche Telephonwerke » de Berlin qui avait dans son stand :

1° Des sonneries destinées à être installées en plein air et montées, à cet effet, sur un socle en fonte sur lequel est ajusté un couvercle de métal, mettant ainsi les organes à l'abri des intempéries et de l'humidité. Pour plus de sûreté, les bobines de l'électro-aimant ont été au préalable plongées dans un bain de paraffine fondue;

2° Des sonneries magnétiques étanches renfermées dans une boîte imperméable aux gaz ; les noyaux de l'électro-aimant sont feuilletés ;

3° Des boutons d'appel étanches, pouvant fonctionner sous l'eau avec la plus grande sécurité;

4° Des sonneries étanches à un coup, produisant des coups très puissants, tout en ne nécessitant qu'un courant relativement faible ;

5° Des sonneries étanches à membrane dans lesquelles l'armature et le marteau sont réunis par l'intermédiaire des deux assiettes à ressort et ne nécessitant qu'une faible intensité de courant pour leur fonctionnement.

Tous ces appareils étanches sont destinés à transmettre des signaux dans les mines et dans les tunnels.

M. Woittequand-Sablon de Charleville exposait des sonneries à mon-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ture entièrement métallique et dont toutes les pièces sont interchangeables.

Presque tous les constructeurs de matériel télégraphique et téléphonique exposaient des sonneries électriques de tous modèles.

Tableau lumineux, indicateur de sonnerie, système Mildé. — Ce nouveau système de tableau indicateur, exposé par MM. Ch. Mildé fils et Cie, présente la particularité de donner en même temps un signal lumineux indiquant la provenance de l'appel et un signal acoustique produit par une sonnerie ordinaire.

Le bouton d'appel est constitué par un électro-aimant boiteux qui, lorsqu'on appuie sur la touche extérieure, ferme automatiquement le circuit de la pile, des accumulateurs ou d'une canalisation électrique sur la sonnerie, ainsi que sur la lampe correspondante du tableau, par l'intermédiaire d'une armature disposée au-dessus des deux pôles de l'électro; cette armature vient au contact des noyaux de l'électro et reste appliquée tant que le circuit électrique n'est pas interrompu par suite du fonctionnement du bouton de rupture spécial disposé en un point quelconque de la canalisation électrique.

Le tableau d'indicateur comporte des cases contenant des lampes à incandescence, en nombre égal à celui des indications à fournir. Ce tableau est combiné avec une sonnerie ordinaire.

Le bouton de rupture est de forme analogue aux boutons de sonnerie; il suffit d'appuyer sur ce bouton pour interrompre le circuit, et alors l'aimantation cesse dans l'électro du bouton d'appel dont l'armature revient au repos, et la lampe du tableau s'éteint. Le bouton de rupture peut être placé sur le tableau ou en tout autre endroit.

Station de télégraphie sans fil de la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — La Compagnie française Thomson-Houston avait exposé un poste complet de télégraphie sans fil du système *Telefunken* dont elle est concessionnaire pour la France.

Ce système a été déjà l'objet de nombreuses applications en tous pays pour des stations normales de côte ou de navire.

L'installation extérieure d'une station comporte l'antenne et la prise de terre.

L'antenne est constituée par un certain nombre de conducteurs, formés chacun par un câble de 7 fils de 0,8 mm de diamètre, disposés entre les mâts ou pylônes qui leur servent de support. Selon la puissance de la station, ces conducteurs sont disposés soit en simple réseau tendu entre les sommets des mâts, soit en ligne droite, soit en zig-zag, en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

éventail ou en pyramide renversée. L'ensemble est soigneusement isolé des supports; à leur partie inférieure, les différents conducteurs sont reliés en un seul, isolé par une couche de caoutchouc de 10 mm d'épaisseur. Le câble terminus est relié à un commutateur de parafoudre et pénètre ensuite dans la station à travers un fourreau en ébonite. En temps d'orage, l'antenne est mise directement à la terre au moyen du commutateur de parafoudre, protégeant ainsi la station contre les décharges atmosphériques.

La prise de terre doit être soigneusement établie et, lorsque le sol

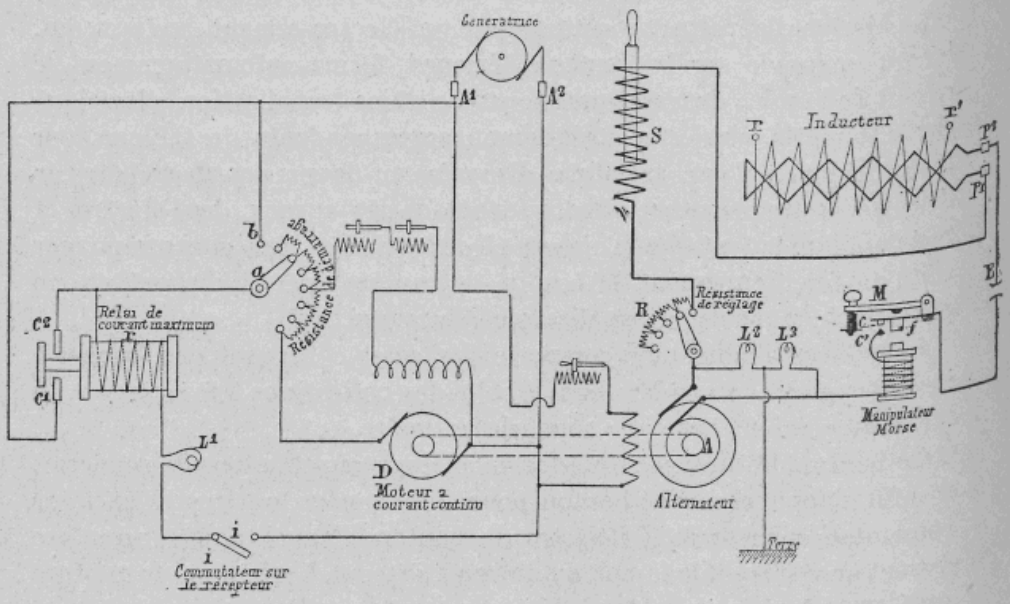


FIG. 140.

n'est point suffisamment humide pour constituer une bonne terre, on utilise un réseau isolé, tendu à 1 m ou 1,50 m du sol et ayant une capacité égale ou supérieure à celle de l'antenne.

L'installation intérieure comprend l'appareil de transmission et celui de réception.

L'appareil de transmission (*fig.* 140 et 141) est alimenté par du courant continu interrompu périodiquement pour les stations de portée inférieure à 300 km et par du courant alternatif pour les autres.

La bobine d'induction est munie, suivant la puissance de la station, soit d'un interrupteur ordinaire à marteau, soit d'un interrupteur à mercure genre turbine.

Le manipulateur est d'un modèle spécial permettant d'interrompre le courant sans production d'étincelles. A cet effet, le levier du manipulateur porte une lame de ressort sur laquelle sont fixés un contact de pla-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tine c et une armature en fer f (Voir *fig.* 140). Quand on abaisse le manipulateur, on abaisse le ressort, et le courant alternatif passe dans une bobine d'électro m, puis, par les contacts c et c', se rend à la bobine d'induction. Au moment où l'on abandonne le levier, l'armature f reste attirée par l'électro, tant que l'intensité du courant est suffisante; lorsque cette intensité est nulle, le ressort est libéré et rompt le contact en cc', sans étincelle appréciable.

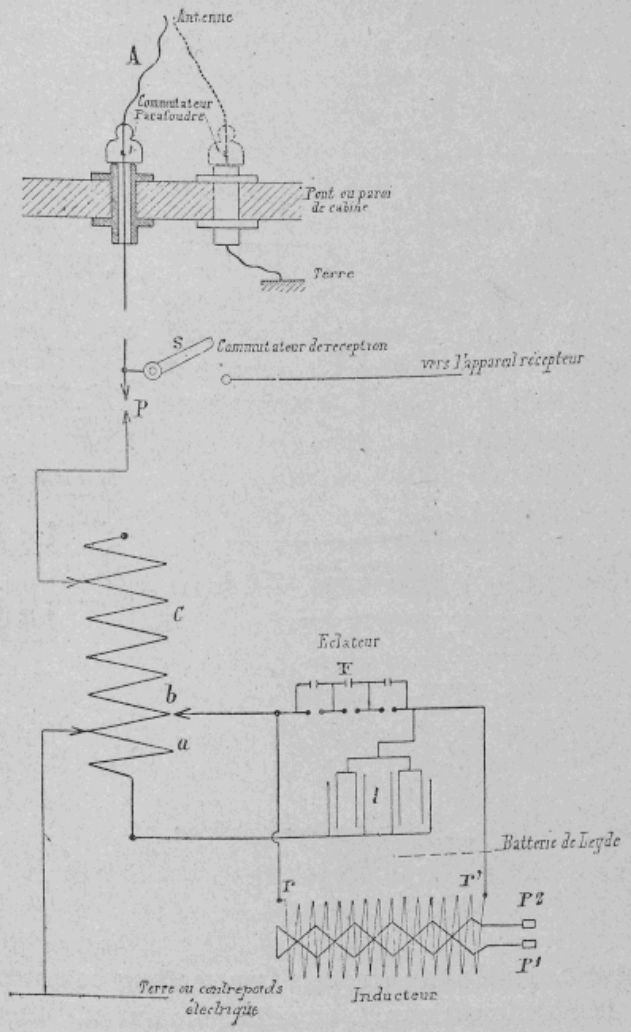


FIG. 141.

Le courant à basse tension est transformé en courant à haute tension dans la bobine d'induction ou transformateur spécial. Le secondaire du transformateur, à galettes juxtaposées et isolées, est en résonance à la fréquence de 50 avec les bouteilles de Leyde qu'il charge. Une résistance R et une self-induction S, placées en avant du circuit primaire, per-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mettent de régler le secondaire et de diminuer le nombre d'étincelles par seconde éclatant dans l'oscillateur, afin d'obtenir exactement le nombre nécessaire. Deux lampes L^3, L^2, mises à la terre, servent à protéger le circuit à basse tension des courants à haute tension. Pour éviter les effets d'une fausse manœuvre, les appareils récepteurs comportent un interrupteur du circuit de transmission qui s'ouvre automatiquement lors de la réception. Cet interrupteur *i* ouvre le circuit du moteur de la turbine à mercure ou celui d'un relais de sûreté *r*.

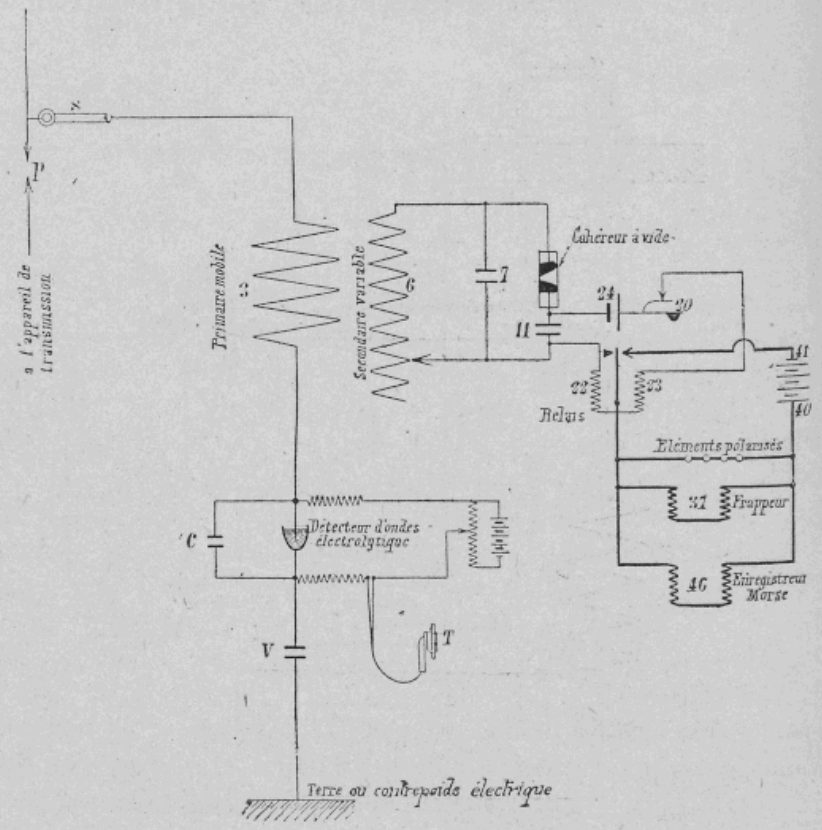


FIG. 142.

Le circuit à haute tension du poste transmetteur comprend le circuit secondaire du transformateur, le circuit excitateur et l'antenne.

Le circuit excitateur se compose d'une batterie de bouteilles de Leyde L, enfermées dans une caisse en ébonite autour de laquelle s'enroule une self variable qui forme, avec les bouteilles, un circuit oscillant variable à volonté. L'oscillateur à étincelles multiples E, qui ferme le circuit, est placé à la partie supérieure de l'appareil. L'emploi de l'étincelle divisée, avec répartiteurs de tension, diminue l'amortissement des oscillations et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

augmente la puissance des ondes produites. De plus, la longueur d'étincelle est réglable, ce qui permet de faire varier la puissance mise en jeu suivant la distance à franchir.

Les appareils du poste de transmission permettent de faire varier la longueur d'onde suivant le poste avec lequel on veut communiquer, de faire varier l'intensité des signaux émis suivant la distance à franchir et, enfin, d'employer le couplage convenant le mieux à l'antenne utilisée.

Dans le poste de réception, on peut utiliser à volonté deux appareils : l'un enregistreur, l'autre, constitué par un récepteur téléphonique, servant principalement à effectuer le réglage, les mesures de longueur d'onde et constituant aussi un appareil de contrôle et de secours.

La figure 142 donne le schéma de cette installation.

Afin d'éviter les perturbations dues à l'électricité atmosphérique, on emploie des bobines de self montées en dérivation sur l'ensemble des appareils récepteurs.

L'appareil enregistreur utilise comme détecteur un cohéreur à limaille. Il y a, dans le dispositif de réception, trois circuits à considérer : le circuit à haute fréquence, le circuit à courant continu du cohéreur et du relais et le circuit local de l'appareil Morse et du frappeur.

Le circuit à haute fréquence se compose de l'antenne et du commutateur principal destiné à relier cette dernière au dispositif de réception, en l'isolant de celui de transmission et du circuit primaire du transformateur de réception.

Le circuit du cohéreur comprend le secondaire du transformateur, le cohéreur à vide et le relais.

Quand on ne connaît pas la longueur des ondes envoyées par le poste correspondant, on peut très rapidement la mesurer et faire ensuite le réglage de l'appareil au moyen du récepteur téléphonique composé, comme on le voit sur le schéma (*fig.* 142), d'un détecteur électrolytique et d'un téléphone.

Poste de télégraphie sans fil, système Marconi. — La *Marconi's Wireless Telegraph C°* de Londres exposait un poste de télégraphie sans fil destiné à un paquebot.

Le poste transmetteur comporte une antenne du modèle employé dans la marine, une bobine d'induction avec interrupteur à marteau alimentée avec du courant continu, un éclateur et un circuit oscillant formé d'une batterie de bouteilles de Leyde et d'un solénoïde.

Le poste de réception comporte un appareil Morse enregistreur actionné par l'intermédiaire d'un cohéreur à limaille, ainsi qu'un récepteur téléphonique monté sur un détecteur magnétique.

La Compagnie ne donnant aucun renseignement, il n'est guère possible

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de donner une description des appareils employés. Le poste installé à Liège correspondait avec un autre poste placé à 3 km de distance.

Appareils de télégraphie sans fil Popof-Ducretet. — M. Ducretet de Paris exposait des appareils de télégraphie sans fil pouvant assurer des communications régulières entre une station côtière et un navire en mer ou entre navires à une distance pouvant atteindre de 280 à 340 km.

Les principaux appareils exposés sont les suivants :

Un récepteur à relais dans lequel l'électro-frappeur est monté sur un socle indépendant; il possède tous les organes permettant d'obtenir un réglage rapide et fixe, assurant le meilleur rendement du tube à limaille pendant le fonctionnement du récepteur. Le tube à limaille est en écaille et les électrodes intérieures sont à l'abri de l'humidité.

Un relais petit modèle de grande sensibilité dont tous les organes sont facilement accessibles pour le réglage pendant le fonctionnement. Ce relais est constitué par un cadre mobile monté sur pivots dans le champ magnétique d'un puissant aimant permanent et muni d'un levier de contact venant appuyer sur des ressorts recourbés.

Un relais grand modèle, destiné aux stations fixes de télégraphie sans fil. Il possède les mêmes organes de réglage et de contact que le petit modèle, mais le cadre mobile est suspendu par des fils fins métalliques.

Un récepteur Morse automatique qui permet l'enregistrement des radiotélégrammes sans nécessiter la présence de l'opérateur. Cet appareil fait dérouler sa bande de papier dès que les ondes arrivent à l'antenne, et la bande s'arrête d'elle-même dès que les ondes cessent d'arriver.

Un radiotéléphone Popoff-Ducretet avec détecteur à aiguilles reposant librement sur leurs supports en charbon dur et un autre avec détecteur à aiguilles fixes et grains de charbon dur mobiles dont le réglage est rapide. La réception se fait au son au moyen de deux téléphones.

Des dispositifs d'accord composés d'abord d'un transmetteur formé de deux solénoïdes à gros fil agissant par induction l'un sur l'autre. Le premier circuit comporte un grand nombre de spires disposées sur un cylindre; elles peuvent être utilisées seules et des curseurs à contact permettent de faire varier le nombre de spires utilisées. Le deuxième circuit, isolé du premier, ne comprend que quelques spires. Cet appareil permet de réaliser différents dispositifs de transmission avec condensateurs variables. Ces dispositifs d'accord comportent, en outre, un récepteur, composé d'un grand nombre de spires disposées sur un cylindre en bois; des curseurs permettent de prendre un nombre quelconque de spires. Ce récepteur se prête à la mise en expérience des différents dispositifs de réception pour le réglage des récepteurs. Ce dispositif d'accord comporte aussi un transformateur-condensateur à trois circuits

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

parallèles isolés entre eux et qui, intercalé dans le circuit de l'antenne, permet d'augmenter la tension du courant actionnant le récepteur. Enfin, l'installation est complétée par des spirales radio-inductrices permettant d'assurer le maximum de portée entre les postes de télégraphie sans fil.

Un radiateur d'essai servant à régler le radioconducteur hermétique et à réglage, en permettant de l'amener à la sensibilité requise lorsqu'il est monté sur le récepteur à relais. Cet appareil est muni d'un bouton de contact qui ferme le circuit d'une pile, contenue dans la boîte, sur un vibrateur qui entre en mouvement; les étincelles, presque invisibles qui éclatent entre les contacts de rupture agissent à distance sur le tube à limaille. Une petite antenne est fixée sur la boîte de l'appareil.

Un réducteur de potentiel utilisé dans le cas d'un service de longue durée aux grandes distances, car il est alors nécessaire d'avoir, dans le circuit du radioconducteur à limaille du poste à relais, une source d'énergie très constante dont on puisse faire varier à volonté la tension pour l'amener à la valeur nécessaire, variable suivant les conditions réalisées par le radioconducteur.

Un micromètre à étincelles servant à contrôler l'intensité des oscillations dans l'antenne et permettant de déterminer les conditions dans lesquelles elles atteignent leur maximum d'intensité.

Un indicateur thermique, appareil fondé sur la dilatation d'un gaz sous l'action de l'échauffement d'un fil de platine traversé par une dérivation du courant pris sur l'antenne-terre. Il permet de déterminer le maximum de l'effet produit par les oscillations dans un temps donné.

Un petit appareil de démonstration du principe de la télégraphie sans fil destiné à l'enseignement. Il comprend un petit poste transmetteur avec éclateur, antenne, pile et manipulateur et un poste récepteur avec tube radioconducteur Branly à réglage, relais et frappeur automatique.

Poste de télégraphie sans fil, système Rochefort. — Ce poste était exposé par la Société anonyme d'électricité et d'automobiles Mors de Paris.

Le dispositif de transmission se compose des appareils suivants :

1° Manipulateur-verrou à métronome et interrupteur asservi ;
2° Transformateur unipolaire ;
3° Oscillateur ;
4° Condensateur réglable ;
5° Résonateur bipolaire d'accord ;
6° Batterie de bouteilles de Leyde ;
7° Rhéostat pour accumulateur ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8° Ampèremètre.

Si l'on utilise du courant alternatif, le condensateur réglable devient inutile et le rhéostat est remplacé par une bobine de self réglable.

Le manipulateur se compose d'une clé Morse, dont le levier est muni en dessous d'une armature placée en regard du noyau d'un électro-aimant. Sur le socle de ce manipulateur est installé une sorte de métronome à ressort, mis en marche par le choc d'un balancier relié à l'armature d'un électro-aimant spécial. Le balancier et le métronome ont leurs mouvements régularisés par de petites palettes immergées dans la glycérine. Un condensateur est utilisé pour absorber les étincelles de rupture.

Le transformateur unipolaire Rochefort, de forme cylindrique et vertical, a été spécialement étudié pour le service de la télégraphie sans fil. Il est dit *unipolaire*, la tension produite aux deux bornes ayant une valeur différente; la borne à haute tension a une valeur environ 50 fois plus grande que celle de la borne à basse tension. C'est cette dernière qui est mise à la terre, suivant le mode d'émission employé. Ce transformateur fonctionne aussi bien avec du courant continu qu'avec du courant alternatif; dans certains cas, on peut associer plusieurs transformateurs en mettant les primaires en série, et les secondaires en quantité, afin d'obtenir une plus grande puissance d'émission.

L'oscillateur est porté par le transformateur et est muni de boules d'aluminium ou d'étain.

Le dispositif de réception est constitué par :

1° Un récepteur Rochefort ;
2° Un cohéreur-condensateur ;
3° Des résistances réglables ;
4° Un relais Rochefort à réglage électrique ;
5° Un récepteur Morse ;
6° Un milliampèremètre ;
7° Un commutateur d'antenne,
8° Un radiateur d'essai ;
9° Une petite batterie d'accumulateurs.

Le nouveau modèle de récepteur ne nécessite plus l'obligation d'enlever le cohéreur lors de la transmission ; il suffit de manœuvrer le commutateur d'antenne, qui est combiné avec le récepteur, pour que le cohéreur se trouve automatiquement enfermé dans une enceinte métallique.

Le cohéreur-condensateur est à trois prises de contact, sans fils extérieurs. Les électrodes affectent la forme de disques. Les deux prises extrêmes de contact s'effectuent au moyen de calottes en laiton prises dans des pinces et le contact avec la limaille, au centre du tube, s'établit par l'intermédiaire d'un tube doré fixé au tube extérieur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le relais Rochefort à réglage électrique est constitué par un cadre mobile oscillant entre les deux pièces polaires réunissant quatre à quatre les pôles de quatre puissants aimants permanents. Le cadre mobile porte deux enroulements de résistances différentes et ayant un nombre de spires différent. L'enroulement ayant le plus grand nombre de spires est affecté au circuit du tube à limaille ; l'autre circuit sert de couple antagoniste. La caractéristique de ce relais est d'avoir un double enroulement sur un cadre mobile, sans aucun ressort, ce qui fait qu'une fois réglé il ne se dérègle plus. Sa sensibilité dépend du réglage que l'on obtient avec les deux courants antagonistes.

Le commutateur d'antenne est un triangle d'ébonite, porté sur trois pieds de même matière, et que l'on fixe soit contre un mur, soit horizontalement. Il est muni d'une grande poignée. Un petit interrupteur, disposé sur le côté réception, enferme automatiquement, par l'intermédiaire d'un électro, le cohéreur dans sa boîte quand on met le commutateur d'antenne dans la position de transmission.

Le radiateur d'essai est un trembleur muni d'une petite antenne permettant de régler les appareils dans le poste et de vérifier leur fonctionnement.

Appareils de télégraphie sans fil de J. Carpentier de Paris. — M. J. Carpentier exposait un poste de télégraphie sans fil ainsi qu'un manipulateur du système G. Ferrié.

Ce poste de télégraphie sans fil est caractérisé par un transformateur du genre *jigger*, un cohéreur à limaille d'or et électrodes d'acier dont on règle la sensibilité en faisant varier la quantité de limaille, un dispositif potentiométrique permettant d'appliquer une différence de potentiel plus ou moins élevée aux bornes du cohéreur et un relais Claude. Tous ces appareils sont enfermés dans une boîte en aluminium que l'on ferme au moment de la transmission.

Le manipulateur est du type Morse, mais de plus grandes dimensions que le modèle télégraphique. Les ruptures de contact se font dans le pétrole.

Appareils de démonstration de télégraphie sans fil. — Ces appareils destinés à l'enseignement conviennent tout particulièrement pour démontrer le principe de la télégraphie sans fil par ondes hertziennes.

MM. Radiguet et Massiot de Paris avaient exposé un poste complet de démonstration.

M. Louis Ancel de Paris présentait un transmetteur, un récepteur système Herzog et un radiateur d'essai.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VI

TÉLÉPHONIE

Appareils téléphoniques de différents constructeurs. — De nombreux modèles d'appareils téléphoniques, pour installations privées et pour réseaux d'État, étaient exposés par différents constructeurs, parmi lesquels nous citerons : la *Bell Telephone Manufacturing C°* d'Anvers, l'*Antwerp Telephone and Electrical Works* d'Anvers, les ateliers Thomson-Houston de Paris (appareils système Ducousso), MM. Charles Mildé fils et Cie de Paris, l'usine Frédéric Nyst de Liège, M. Bourdil de Paris (microphone), M. Iwan Zanden de Stockholm (téléphones et stations téléphoniques et automatiques pour lignes bifilaires et unifilaires).

L'Administration des Télégraphes belges exposait également dans son stand les divers modèles d'appareils téléphoniques utilisés dans son service.

Appareils téléphoniques de la Société industrielle des Téléphones de Paris. — Cette Société exposait une très grande variété d'appareils téléphoniques, parmi lesquels il convient de citer quelques modèles de création récente, tels que le monophone et des postes téléphoniques disposés pour certaines applications spéciales.

Monophone. — Ce nouveau modèle d'appareil téléphonique combiné (*fig.* 143) présente le grand avantage d'être excessivement simple, de fonctionner parfaitement et, aussi, de pouvoir être toujours maintenu en grand état de propreté, présentant ainsi toutes garanties au point de vue hygiénique.

Comme on le voit sur la figure 144, qui montre une coupe longitudinale de l'appareil, il se compose d'un récepteur Ader sur la face postérieure duquel est disposé un microphone très sensible. Ce microphone est constitué par deux disques minces de graphite, au centre desquels on a ménagé une cavité circulaire remplie de grenaille. Naturellement,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les deux disques, assez minces pour remplir le rôle de plaques vibrantes, sont isolés l'un de l'autre à l'aide d'un anneau en papier spécial. Extérieurement, le microphone ainsi constitué est isolé de la masse métallique de l'appareil, d'abord par des rondelles de papier posées à plat, et, sur tout le pourtour du boîtier métallique dans lequel il est logé, par du ruban de papier collé sur le métal. Les connexions entre chacun des disques de graphite et sa borne extérieure respective sont établies à l'aide d'une mince lame métallique fixée, d'une part, sous la borne destinée à recevoir le conducteur extérieur, borne isolée de la masse métallique de l'appareil et, d'autre part, soudée à une rondelle métallique appliquée contre le disque de graphite et recouverte par la rondelle de papier servant à l'isoler.



Fig. 143.

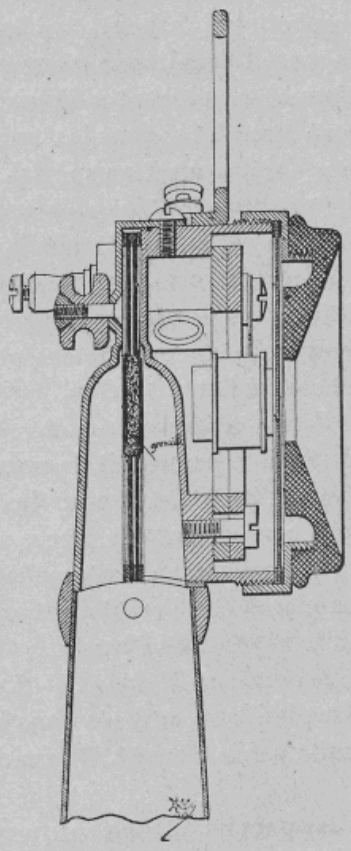


Fig. 144.

Un cornet acoustique, en métal nickelé, sert à concentrer les ondes sonores émises par la personne qui parle, et ces ondes viennent frapper les deux faces du microphone. Pour se servir de cet appareil, il n'est pas nécessaire de parler devant l'embouchure du cornet acoustique, chose qui serait, du reste, impossible, puisqu'il faut que le récepteur soit appliqué contre l'oreille. Dans ces conditions, le pavillon du cornet acoustique reste toujours très propre, avantage très appréciable lorsque

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'appareil doit être utilisé par plusieurs personnes, notamment dans les cabines publiques.

Poste téléphonique pour mines. — Dans cet appareil, on a pris les plus grandes précautions pour éviter l'introduction de l'humidité dans les organes intérieurs. Les connexions intérieures ont été disposées pour qu'il ne se produise aucune coupure de circuit susceptible de provoquer une étincelle, même très faible. Les piles qui alimentent le circuit microphonique doivent être installées en dehors de la mine, en sorte que l'appareil fonctionne comme un poste de réseau à batterie centrale. L'appel est produit simplement en décrochant le récepteur. Le poste peut être utilisé dans les mines humides ou grisouteuses et il ne nécessite aucun entretien spécial.

Poste téléphonique pour installations voisines de circuits à haute tension. — Dans cet appareil, tous les organes à portée de la main sont soigneusement isolés de tout contact avec la ligne téléphonique. Dans ces conditions, les personnes appelées à utiliser l'appareil sont à l'abri de tout danger, même dans le cas où la ligne téléphonique viendrait au contact de celle à haute tension.

Postes téléphoniques à circuit primaire et à circuit secondaire. — La Société présentait de nombreux types de postes téléphoniques pour réseaux de l'État et pour installations privées. La plupart de ces appareils comportent des pièces en ivorine ; l'emploi de cette matière assure une construction irréprochable, grâce à l'interchangéabilité de toutes les pièces et à l'emploi exclusif de vis à métaux montées sur des prisonniers noyés dans l'ivorine.

Microphone Bailleux. — Les divers modèles de microphones du système Bailleux, utilisés dans les différents appareils téléphoniques construits par la Société, figuraient également dans son stand.

Appareils téléphoniques Burgunder de Paris. — Les appareils téléphoniques exposés par M. Burgunder sont de deux types ne différant entre eux que par le microphone. Dans les uns, le microphone est du système Burgunder; dans les autres, du type Roulez. Ces appareils sont caractérisés par une construction très soignée et par un crochet commutateur, système Burgunder, très simple et très pratique.

Cette intéressante exposition comportait également des sonneries, des cloches électriques, des tableaux indicateurs, des tableaux annonciateurs, etc., ainsi que des postes téléphoniques à circuit primaire pour installations privées.

Appareils téléphoniques Delafon et Leseible de Paris. — Cette maison exposait des appareils téléphoniques pour réseaux de l'État

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec microphone de son système. Ces appareils sont caractérisés par la solidité de leur construction et l'élégance des différents modèles exposés.

Comme appareils de téléphonie privée, parmi les nombreux modèles présentés, il convient de signaler le petit appareil combiné, dénommé « Le Français », qui s'installe sur les circuits ordinaires de sonneries électriques et qui, malgré son prix peu élevé, est de construction soignée et facilement démontable.

L'exposition de MM. Delafon et Leseible comportait également des tableaux, des sonneries, ainsi que de nombreux appareils accessoires d'installations téléphoniques.

Poste téléphonique haut-parleur, de R. Gaillard et E. Ducretet. — Ce téléphone haut-parleur, à appel direct, est destiné à être utilisé dans les endroit où les autres téléphones ne peuvent être employés à cause du bruit. C'est un véritable transmetteur d'ordres n'exigeant pas que la personne appelée se trouve à côté du poste téléphonique. Ce poste téléphonique est muni du microphone Gaillard-Ducretet et est utilisé dans la marine de guerre pour les services du bord, des machines et de l'artillerie. Ce microphone convient particulièrement pour les communications à grande distance sur les réseaux téléphoniques de l'État.

Appareils téléphoniques G. Mambret et Cie de Paris. — Parm les nombreux appareils exposés par MM. G. Mambret et Cie, on peut citer un poste microphonique de campagne avec sacoche et boîte à piles; un poste de cavalerie ; des transmetteurs systèmes d'Arsonval, Guyomard et Mambret ; des récepteurs, systèmes d'Arsonval, Aubry et Sieur; un appareil combiné magnétique système Aubry ; le bitéléphone Mercadier, etc.

Appareils téléphoniques de la *Deutsche Telephonwerke* de Berlin. — Les appareils téléphoniques exposés par cette Société sont de forme et de dispositions variées répondant à des besoins très différents. On y voyait de nombreux modèles de postes muraux et mobiles pour installations privées ; des types spéciaux pour le service des chemins de fer, des mines, etc. ; enfin, des postes portatifs et, notamment, le poste militaire pour téléphonie d'armée, muni d'un nouveau système d'appel à sirène.

Tous ces appareils sont soigneusement construits.

Le poste téléphonique étanche, pour installations dans les mines, dans les tunnels et généralement dans tous locaux humides, contient tous les organes délicats renfermés dans une boîte en fonte absolument

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

étanche et imperméable aux gaz. Le récepteur seul se trouve hors de la boîte.

Le courant d'appel est produit par une petite magnéto très puissante munie, sur l'axe de la manivelle, d'un dispositif automatique de mise à la ligne et en court-circuit. La sonnerie magnétique, dont le socle fait corps avec le couvercle de la boîte a une membrane combinée au centre de laquelle sont fixés, d'un côté, l'armature, de l'autre, le marteau qui oscille sur le couvercle et est protégé des chocs par une double équerre.

Le crochet interrupteur de l'appareil et l'arbre de la manivelle de la magnéto pénètrent à l'intérieur de la boîte en passant chacun dans une boîte à étoupes et dans une petite boîte remplie de vaseline.

Le microphone possède une double membrane soudée au couvercle, ce qui le rend absolument étanche et imperméable aux gaz.

La boîte contient aussi deux éléments de pile microphonique.

Le récepteur a une membrane dorée pour éviter qu'elle soit atteinte par la rouille ; l'aimant est placé dans une boîte en ébonite.

L'induit de la magnéto et les bobines de la sonnerie et du récepteur sont noyés dans la paraffine. Enfin le cordon du récepteur est logé dans un tuyau en caoutchouc.

Pièces en charbon pour microphones. — Les charbons employés dans la construction des microphones : cuvettes, diaphragmes, grenaille, etc., exposés par la Société « Le Carbone » de Levallois-Perret, près Paris, sont très appréciés de tous les fabricants d'appareils téléphoniques tant en France qu'à l'étranger. Le fini des pièces exposées montre quel degré de perfectionnement et de précision a su atteindre cette Société dans cette branche si délicate de sa fabrication. A noter la grenaille de charbon dont chaque grain parfaitement sphérique et poli n'a que 0,5 mm de diamètre et ne pèse que 0,000125 gramme.

Commutateur téléphonique automatique pour postes supplémentaires d'abonnés. — MM. G. Mambret et Cie de Paris exposaient ce nouveau modèle de commutateur automatique appelé à rendre de grands services.

Actuellement, en France sur les réseaux téléphoniques de l'État, les communications entre les postes supplémentaires d'abonnés et le bureau central téléphonique sont données par l'abonné principal. Une personne (abonné principal, employé ou concierge) est chargée d'établir la liaison entre les abonnés supplémentaires et le bureau central, que l'abonné supplémentaire soit appelant ou appelé. Il faut donc constamment quelqu'un près du poste. Cette personne peut suivre facilement les conver-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sations ; d'autre part, les postes supplémentaires ne sont avertis que la ligne principale est libre ou occupée que par l'abonné principal.

Autant d'inconvénients qui se trouvent supprimés par l'emploi de ce commutateur automatique.

Le commutateur automatique se compose d'un tableau placé auprès du poste principal, comportant autant de directions que de postes supplémentaires à desservir, et d'un indicateur placé auprès de chaque abonné supplémentaire.

D'après la position de son indicateur, chaque abonné supplémentaire sait à tout instant, sans déranger l'abonné principal, si la ligne principale est libre ou occupée. Si cette ligne est libre, il peut la prendre *directement*, et en même temps l'abonné principal et les autres abonnés supplémentaires sont prévenus que la ligne principale est occupée. A partir de ce moment, l'abonné supplémentaire est relié directement au bureau central dans les mêmes conditions qu'un abonné principal, sans qu'on puisse écouter sa conversation. Après avoir donné le signal de fin de conversation au bureau central, l'abonné supplémentaire n'a qu'à presser sur un bouton pour remettre les communications dans l'état normal. Aussitôt, l'abonné principal et les autres abonnés supplémentaires sont prévenus que la ligne principale est libre.

Ainsi, grâce à ce système, les abonnés supplémentaires sont presque totalement indépendants du poste principal et l'on peut obtenir le maximum de rendement de la ligne, puisque la ligne est utilisée dès qu'elle devient libre.

Ce système peut être appliqué à volonté à tous les postes supplémentaires d'une installation ou à une partie seulement de ces postes. Tel est le cas, par exemple, d'un directeur d'une usine ou d'une maison de commerce, ayant un poste supplémentaire, qui désire pouvoir prendre la communication directe avec le réseau, sans l'intervention de l'employé du poste principal chargé de donner les communications et sans que cet employé puisse écouter ses conversations. Dans ce cas, il suffit de placer au poste principal un tableau de communication automatique à une seule direction.

Système d'appel pour circuits téléphoniques ou télégraphiques à postes multiples. — La Compagnie du chemin de fer métropolitain de Paris avait exposé les appareils d'appel pour postes multiples du système Dardeau qu'elle utilise pour l'exploitation de ses lignes et qui sont caractérisés par ce fait qu'ils permettent d'obtenir une communication avec un poste quelconque sans l'intervention des employés des postes intermédiaires. Ce système procure une grande économie de temps, puisqu'il permet d'éviter l'inconvénient de se trouver arrêté, dans le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cours des communications, par l'absence de l'employé d'un poste chargé d'établir la communication pour le poste suivant.

Cet appareil permet :

1° d'envoyer un appel continu dans un poste quelconque et dans celui-là seulement;

2° de supprimer cet appel si le poste n'a pas répondu au bout d'un certain temps;

3° de recevoir la réponse de sonnerie du poste appelé ;

4° d'appeler et de mettre en communication simultanée un nombre quelconque de postes embrochés, quel que soit le numéro d'ordre des postes ;

5° d'appeler d'un poste quelconque tous les postes à la fois pour leur transmettre simultanément des ordres ;

6° de faire connaître dans tous les postes si la ligne est libre ou occupée, ainsi que le numéro du poste occupé;

7° dans le cas d'occupation prolongée de la ligne téléphonique, de permettre à un poste quelconque, dans un cas urgent, d'avertir les postes en communication, au moyen d'un signal convenu, qu'il y a urgence à lui céder la ligne et, au besoin, de les interrompre dans le cas d'absolue nécessité pour appeler le poste voulu;

8° d'assurer le secret absolu des communications échangées entre les postes en relation.

Les appareils sont tous identiques et interchangeables. L'installation une fois faite, s'il devient nécessaire d'augmenter le nombre de postes en service, il suffit de remplacer la roue d'échappement par une autre, opération facile à effectuer sur place en quelques minutes sans interrompre le service.

La manœuvre de l'appareil, ne comportant que deux boutons, est aussi simple que possible, et un dérangement affectant un ou plusieurs appareils ne peut gêner en quoi que ce soit le fonctionnement des autres.

Cabines téléphoniques. — Divers modèles de cabines téléphoniques étaient exposés, parmi lesquels nous citerons la cabine insonore à doubles parois, adoptée par l'État Belge et exposée par M. Divin-Glibert d'Etterbeek-Bruxelles.

Tableaux commutateurs et multiples. — La Société *Bell manufacturing C°* d'Anvers avait installé à l'Exposition un multiple de son système qui a fonctionné en service normal pour assurer les communications téléphoniques des exposants.

Le système de commutateur multiple construit par cette Société est du type à batterie centrale pour les appels et les microphones.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il a le grand avantage de diminuer et de faciliter le travail des téléphonistes ; il permet de réduire leur travail au minimum, en supprimant toutes communications inutiles entre téléphoniste et abonné, grâce à l'emploi de signaux lumineux. En effet, ces signaux lumineux, produits par de petites lampes à incandescence, permettent aux téléphonistes de suivre les opérations, en évitant toute intervention de leur part dans la conversation des abonnés ; de plus, grâce à ces lampes, la téléphoniste s'aperçoit facilement et rapidement du moment précis où la conversation est terminée. Le fait qu'une seule lampe reste allumée indique que la communication n'est pas achevée, mais que l'un des deux abonnés a quitté momentanément l'appareil ; l'allumage des deux lampes indique clairement, sans erreur possible, la fin d'une conversation. Les manœuvres à effectuer par l'abonné sont réduites au minimum ; il lui suffit de décrocher son récepteur pour appeler et de le remettre au crochet pour indiquer que la communication est terminée. De son côté, la téléphoniste, après avoir reçu la demande de l'abonné, peut appeler aussitôt l'abonné demandé et, cette opération faite, peut s'occuper d'autres demandes, sans attendre la réponse du poste demandé, réponse qui lui est signalée automatiquement par l'extinction de la lampe correspondant à la fiche d'appel. Si cette lampe ne s'éteint pas, la téléphoniste peut renouveler son appel et, le cas échéant, prévenir le demandeur que l'abonné demandé ne répond pas. Dès que la communication est établie, il n'y a plus à s'en occuper jusqu'au moment où les deux lampes en s'allumant indiquent que la conversation est terminée, et l'on peut alors retirer les fiches, manœuvre qui provoque l'extinction des lampes.

La Société industrielle des Téléphones de Paris exposait dans son stand divers organes entrant dans la composition des tableaux multiples de son système de toutes capacités et aussi du système à batterie centrale. Cette Société a déjà construit les multiples de l'Administration française en service à Marseille, à Lille, à Paris-Passy, à Saint-Étienne et à Alger.

Les ateliers Thomson-Houston de Paris présentaient des tableaux téléphoniques du type « Standard » pour bureaux de faible et moyenne importance, ainsi que des spécimens des multiples qu'ils construisent pour l'Administration française, pour laquelle ils ont installé un certain nombre de bureaux centraux.

La *Deutsche Telephonwerke* de Berlin exposait des commutateurs centraux pour réseaux téléphoniques de toute importance, depuis le petit tableau à trois numéros jusqu'au tableau à cent avec lampes d'appel à incandescence, établissant la transition entre les petits commutateurs et les multiples.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces commutateurs centraux à appels lumineux et à annonciateurs de fin automatiques sont installés pour le système à batterie centrale aussi bien pour l'appel que pour les microphones.

Les multiples construits par cette Société sont très employés dans les bureaux centraux de l'Administration allemande qui vient de confier à la Deutsche Telephonwerke l'installation du bureau de Hambourg qui ne desservira pas moins de 80 000 abonnés.

Poste de téléphonie sans fil, système E. Ducretet de Paris. — Cet appareil est destiné à la transmission de la parole ou des signaux par la terre ou par l'eau. Il permet d'installer rapidement une communication entre deux points au moyen de plaques métalliques de grandes surfaces enterrées ou immergées. On peut ainsi établir des communications à des distances de plusieurs kilomètres, variant suivant la base employée.

Radiophone Mercadier. — M. E. Ducretet de Paris exposait dans son stand ce radiophone qui se compose d'un disque rotatif opaque, percé de quatre séries de trous disposés suivant quatre circonférences concentriques. Dans le modèle exposé, les nombres de ces trous sont entre eux comme le nombre des vibrations des notes constituant l'accord parfait.

Un élément au sélénium ou radiophone, placé d'un côté du disque, reçoit la lumière d'une lampe à incandescence disposée de l'autre côté de ce disque.

Un clavier à quatre touches permet de démasquer les différentes séries de trous.

En mettant l'élément au sélénium en circuit avec un téléphone et une batterie de soixante-dix éléments de pile Leclanché, la hauteur du son perçu dans le téléphone dépend du nombre d'éclipses agissant sur la surface du sélénium. En démasquant simultanément les quatre séries de trous, on obtient l'accord parfait.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VII

HORLOGERIE ÉLECTRIQUE

Dans la section belge, figurait un régulateur électrique exposé par l'École professionnelle de mécanique de précision, d'horlogerie et d'électricité de Bruxelles.

D'autre part, le Ministère des Chemins de fer, Postes et Télégraphes de Belgique présentait les divers modèles d'horloges électriques en service sur les chemins de fer de l'État Belge.

Dans la section russe, M. Boleslas Bronilawski de Paris exposait des horloges électriques ainsi qu'un interrupteur électrique fonctionnant à distance.

Horloges électriques, système Paul Garnier de Paris. — Dans les premiers modèles d'horloges électriques inventées par M. Paul Garnier, vers 1840, les horloges réceptrices étaient actionnées par l'horloge primaire chaque quatre secondes. Un petit modèle de cet ancien type figurait dans la vitrine de MM. Blot-Garnier et Chevalier, successeurs de M. Garnier.

Plus tard, dans le but de réduire la consommation du courant fourni par les piles et de leur assurer ainsi une plus longue durée, M. Garnier substitua aux horloges actionnées toutes les quatre secondes, des appareils actionnés seulement toutes les minutes ou demi-minutes.

Enfin, tout récemment, les électro-aimants des réceptrices ont été remplacés par un système de bobine se déplaçant dans le champ magnétique d'un aimant permanent, dispositif qui présente le grand avantage de permettre une meilleure utilisation de l'énergie électrique.

Cinq pendules cartels, munies de ce nouveau dispositif, étaient en fonctionnement à l'Exposition. Ces réceptrices étaient actionnées par une pendule primaire envoyant une émission de courant toutes les minutes. Les cinq réceptrices étaient montées en série avec une résis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tance de 15 ohms représentant 15 pendules intercalées dans le même circuit, ce qui donnait pour ce dernier une résistance totale de 20 ohms. L'intensité de courant nécessaire pour assurer le fonctionnement régulier est de 0,06 ampère, ce qui correspond à une tension de 0,9 volt pour actionner vingt réceptrices. Avec l'ancien système, comportant l'emploi d'électro-aimants, il faudrait au minimum une tension de 1,4 volt.

Grâce au faible débit de la pile, lors de chaque émission de courant, on peut compter sur une longue durée des éléments.

Il se construit des réceptrices du même système ayant des cadrans de grand diamètre. Un dessin de ce type pour cadran de 1 mètre ainsi qu'un modèle plus petit étaient également exposés.

Ce système d'horloge électrique est caractérisé par le petit nombre et la simplicité des organes ainsi que par la sûreté de son fonctionnement.

Horloges électriques, système Chateau frères de Paris. — L'horloge électrique primaire ou régulateur est du type ordinaire en service sur les lignes de chemins de fer. Ce régulateur est muni d'un remontoir d'égalité à ressort échappant toutes les trente minutes; l'échappement est du type à chevilles. En défilant, ce remontoir soulève, à chaque demi-heure, le contact instantané du distributeur qui actionne les réceptrices.

Ce régulateur comporte un système de remise à l'heure, spécial à la maison Chateau, consistant en un levier soulevé toutes les heures à la demie. Ce levier, isolé de la masse, est muni d'une queue formant pendule ; lorsqu'il est écarté de sa position d'équilibre, il produit, à chaque demie, une série de contacts agissant sur les électro-aimants de remise à l'heure des aiguilles des réceptrices.

L'horloge primaire est à remontage électrique automatique. A cet effet, lorsque le poids moteur est arrivé au bas de sa course, il agit sur une tringle qui appuie sur une lame flexible de contact : cette lame est prise par ses deux extrémités de manière à s'infléchir, sous l'action de la pression exercée par la tige, et prend alors brusquement la forme d'un arc, ce qui l'amène au contact d'une butée fermant le circuit du moteur de remontage. Ce moteur comporte trois bobines mobiles constituant l'induit. Lorsque le poids est parvenu en haut de sa course, le poids agit de nouveau sur la tringle qui actionne à son tour la lame flexible pour lui faire reprendre sa position primitive, rompant ainsi le circuit du moteur qui cesse de fonctionner.

Les horloges réceptrices comportent un électro-aimant qui attire son armature; lorsque cette dernière cesse d'être attirée, elle fait chaque fois

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avancer d'une dent une roue à rochet commandant les aiguilles. L'attraction de l'armature est produite chaque demi-minute par une émission de courant de l'horloge primaire. Le cliquet de menée bute, au repos, sur un talon formant verrou, afin d'empêcher les aiguilles, par suite de leur inertie, de dépasser la position convenable.

Horloges électriques de la Société des établissements Henry Lepaute de Paris. — L'exposition de cette Société comprenait différents types d'horloges électriques parmi lesquels nous citerons les suivants :

1° Un régulateur distributeur électrique à mouvement pyramidal, du type des chemins de fer, marchant huit jours sans remontage. Ce régulateur a un moteur à poids, un échappement à chevilles, de Lepaute, et un balancier lourd à tige compensée en sapin, battant la seconde.

L'appareil de contact électrique est à bascules réglables du système Henry Lepaute, donnant une émission de courant toutes les minutes ou au besoin plusieurs fois par minute.

Cet appareil présente les avantages suivants sur les autres systèmes :

a) La chute des bascules assure un contact très adhérant sur de grandes surfaces, par une friction rentrante, qui maintient les parties en contact toujours conductrices ;

b) Les cames qui actionnent les bascules sont réglables sur l'axe pour permettre d'augmenter ou de réduire la durée de l'émission à volonté et selon les cas ;

c) La rupture du courant est aussi brusque et aussi grande que possible, l'étincelle de rupture se répartit sur toute la surface sans endommager les contacts ;

d) Les intervalles d'émission peuvent être très courts, sans que la sécurité d'adhérence des contacts soit compromise ;

e) Le démontage et l'entretien sont faciles ;

f) Ce système peut supporter des courants d'assez haute intensité.

2° Un petit régulateur d'appartement à moteur ressort, marchant quinze jours sans remontage, avec dispositif d'appareil de contact (système Henry Lepaute), à bascules légères plongeant dans un bain de mercure.

3° Un régulateur mural (modèle économique pour appartement) destiné spécialement aux installations domestiques.

Ce régulateur est disposé pour recevoir un appareil de contact à bascules plongeantes du même système que celui du petit régulateur d'appartement.

Il peut donner des émissions de courant chaque minute ou chaque

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

demi-seconde selon la grandeur des cadrans récepteurs à conduire.

4° Une horloge horizontale disposée pour recevoir des contacts de distribution de l'heure et de la sonnerie.

5° Huit horloges réceptrices de différentes formes et grandeurs, reliées au régulateur distributeur.

6° Un appareil récepteur silencieux (système H. Lepaute, 1904), monté sur colonne pour la démonstration. Cet appareil ne produit aucun bruit perceptible pendant la marche et, pour cela, est spécialement destiné aux pendules d'appartement et surtout de chambre à coucher. Le mécanisme est d'une très grande simplicité, fonctionne parfaitement et ne nécessite aucun entretien particulier. Son principe repose sur la rotation complète de deux culbuteurs excentriques non équilibrés qui font accomplir un tour complet à une vis sans fin sur laquelle ils sont calés et cela sans aucune adhérence ou contact direct au moment de l'émission. Il est absolument silencieux sans qu'il soit nécessaire d'utiliser des amortisseurs et il consomme très peu d'énergie électrique.

7° Un appareil récepteur électro-chronométrique, à platine rectangulaire, à palette, à rochets et cliquets de retenue antidérapants. Le mouvement de marche s'effectue en deux temps à la montée et à la descente de l'armature de l'électro-aimant toutes les demi-minutes. Cet appareil sert à actionner les aiguilles des cadrans de 1,50 m à 3 m de diamètre en service sur les lignes de la Compagnie des chemins de fer du Nord.

8° Un appareil récepteur, analogue au précédent, pour actionner les aiguilles de cadrans ayant 0,60 m à 1,20 m de diamètre ; un autre modèle pour cadrans ne dépassant pas 0,60 m de diamètre et, enfin, un dernier modèle pour petits cadrans et œils-de-bœuf.

Régulateurs et pendules électriques, système Sallin de Paris. — M. J. Sallin avait exposé plusieurs horloges électriques de son système à remontage électrique.

L'horloge proprement dite ne comporte plus que trois roues : la roue de centre portant la grande aiguille, la roue petite moyenne et la roue d'échappement. Le poids moteur est suspendu à une chaîne sans fin supportée par une poulie calée sur l'arbre du dernier mobile d'un train d'engrenages servant à réduire la vitesse angulaire d'un petit moteur électrique. La tension de la chaîne est assurée par un léger contrepoids.

Les figures 145, 146, 147 et 148 montrent les détails de construction d'une pendule sans sonnerie.

La figure 145 donne la position des divers organes lorsque le remontage du poids moteur vient de s'effectuer ; la figure 146 donne la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

position des mêmes organes au moment où le poids, ayant terminé sa descente, le remontage va se produire ; la figure 147 montre les détails des pièces de contact après le remontage ; et, enfin, la figure 148 donne la position de ces mêmes pièces de contact avant le remontage et montre également une légère modification apportée dans la construction de ces organes.

Le poids moteur *a* porte deux goupilles *b* et *b'* entre lesquelles s'engage une tige *c* prolongeant un levier droit *d*, pivotant en *e* et portant à

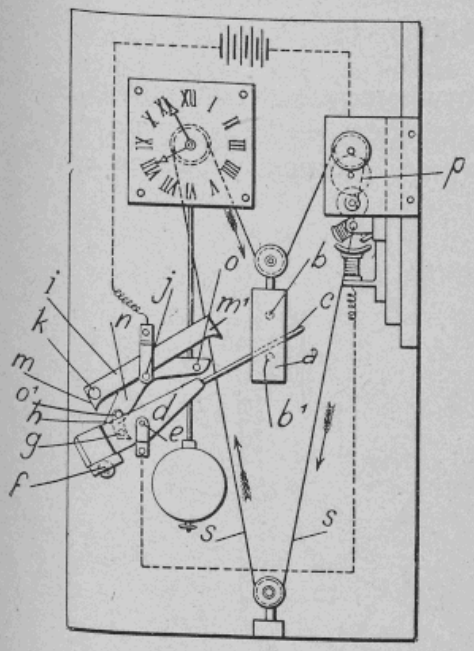


Fig. 145.

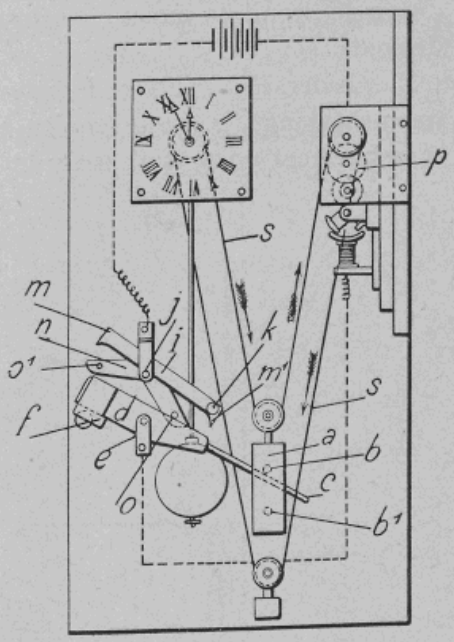


Fig. 146.

son extrémité opposée une petite masse *f* tendant à relever la tige *c*.

Au-dessus du levier *d* se trouve une pièce en forme d'ancre *n*, pivotant en *j* et portant deux goupilles *o* et *o'*. L'ancre *n* est surmontée d'un levier creux *i*, à l'intérieur duquel est placée une masse mobile *k* pouvant se déplacer librement d'une extrémité à l'autre. La base du levier creux *i* présente à chacune de ses extrémités une sorte de poche *m* et *m'*, destinée à retenir la masse mobile *k* tant que l'inclinaison du levier *i* n'est pas suffisante.

Le levier *d* et l'ancre *n* sont montés sur des supports en matière isolante et font partie du circuit du moteur électrique.

Lorsque l'horloge fonctionne, le poids moteur *a* descend graduellement et, dans ce mouvement, la goupille *b* entraîne la tige *c*, solidaire du levier *d*. Le levier creux *i* participe au même mouvement, puisqu'il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

prend son point d'appui sur le levier d par l'intermédiaire de la goupille o' ; dans ces conditions, il tend à prendre une position horizontale, dépasse cette position et, à un moment donné, son inclinaison oblige la masse mobile k à quitter sa position en m pour tomber brusquement en m'. Ce déplacement a pour conséquence de faire effectuer au levier creux i et à son ancre n un mouvement complémentaire de bascule, à la suite duquel la goupille isolée o' abandonne le levier d en ce point pour venir reposer sur son extrémité opposée par l'intermédiaire de la goupille o. Comme cette dernière goupille n'est point isolée, elle ferme le circuit du moteur électrique qui se met en marche et remonte le poids.

Les leviers d et i suivent le mouvement ascensionnel du poids et, à un moment donné, la masse k quitte l'extrémité m' du levier i pour revenir brusquement en m à l'extrémité opposée, provoquant ainsi un bascu-

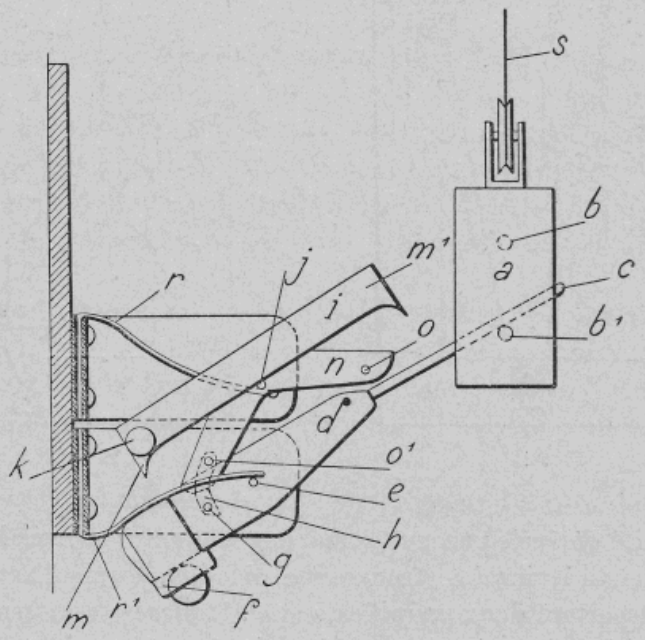


Fig. 147.

lage complet qui oblige la goupille o à quitter le levier d, tandis que la goupille o', isolée du circuit, vient se mettre en contact avec ce même levier d. Dans ces conditions, le circuit du moteur est interrompu et le remontage est terminé.

Les mêmes actions se reproduisent successivement à chaque descente et à chaque remontée du poids, tant que la source d'énergie électrique qui alimente le moteur est suffisante.

La figure 148 montre une modification apportée au dispositif qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vient d'être décrit : le levier i et la masse k sont remplacés par une masse q placée à l'extrémité supérieure d'une tige t fixée dans l'ancre n. Le fonctionnement est analogue au précédent, le centre de gravité du système étant placé au-dessus du centre de rotation.

Pour relier la batterie de piles, ordinairement employée comme source d'énergie, aux pièces n et d, on utilise des ressorts r et r', appuyant sur les axes de ces pièces.

La course de la pièce d est limitée par la goupille g qui est engagée dans une ouverture h pratiquée dans son pont de soutien.

Dans le dispositif représenté figure 148, il y a lieu de remarquer que la masse f, placée à l'extrémité du levier d, supplée à l'insuffisance de pression qu'exerce sur lui l'ancre n, lorsque la masse q se trouve dans une position voisine de la verticale.

Dans les horloges à sonnerie, il faut nécessairement un second

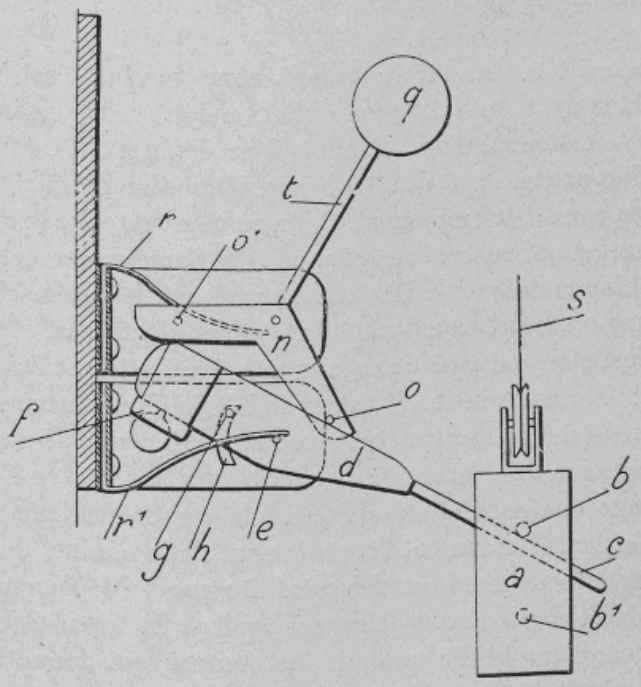


FIG. 148.

moteur électrique et deux autres pièces de contact, fonctionnant de la même manière.

Pour fonctionner régulièrement, le moteur exige un courant de 0,18 ampère. Sa résistance étant de 10 ohms, il faut que la batterie de piles ait une différence de potentiel aux bornes de 1,8 volt.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Horloges électriques Vigreux et Brillié de Levallois-Perret (France). — Les régulateurs de ce système fonctionnent sans aucun remontage ni entretien pendant plusieurs années et la dépense d'énergie électrique nécessaire pour les actionner est des plus faibles. Ces appareils ont été construits par MM. Vigreux et Brillié d'après le brevet de M. Féry.

Le mouvement du régulateur se compose d'un pendule moteur actionné électriquement et imprimant le mouvement à la roue d'échappement ainsi qu'à tous les rouages. Il diffère donc des mouvements d'horlogerie ordinaires à remontage électrique ou mécanique, dans lesquels la roue d'échappement reçoit l'impulsion d'un ressort ou d'un contrepoids et pousse le pendule.

L'échappement est du type dit échappement libre, puisqu'il n'est actionné par le pendule qu'au moment où ce dernier arrive vers le milieu de sa course, c'est-à-dire lorsqu'il possède sa vitesse maximum ; aux deux extrémités de sa course, le pendule reste complètement libre et ne subit aucun frottement.

L'échappement est aussi du type à coup perdu, c'est-à-dire qu'il n'avance d'une dent qu'à chaque oscillation double du pendule.

Le pendule est muni d'un aimant qui se déplace à l'intérieur d'une bobine et d'un petit cliquet qui, à chaque oscillation double, fait avancer d'une dent la roue d'échappement. Cette roue est retenue par un contre-cliquet à ressort qui se soulève chaque fois pour laisser échapper une dent quand le pendule agit. Dans ce mouvement, le contre-cliquet vient appuyer sur un ressort constituant un contact électrique, et le courant d'une pile est alors envoyé dans la bobine qui, attirant l'aimant porté par le pendule, assure la conservation indéfinie du mouvement tant que la pile fournit le courant nécessaire, attraction qui se renouvelle à chaque oscillation double.

L'amplitude des oscillations du pendule est déterminée avec précision en calculant l'aimant et l'enroulement de la bobine, de manière à obtenir que la force électromotrice induite par le déplacement de l'aimant dans la bobine soit sensiblement égale à la force électromotrice de la pile pour l'amplitude normale. Le courant qui donne l'impulsion au pendule résulte de la différence de ces deux forces électromotrices : il augmente donc quand l'amplitude diminue et diminue quand cette amplitude augmente.

Ce régulateur est, en outre, pourvu d'un réglage magnétique très sensible agissant sur l'aimant et permettant de corriger le temps moyen de l'oscillation, sans qu'il soit nécessaire de toucher au balancier ni à la suspension et sans arrêter le pendule.

Un autre modèle de régulateur, ayant un pendule de 1 m de longueur,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est construit d'après le même principe ; mais il est plus précis à cause de la plus grande longueur donnée au balancier. L'échappement seul a été modifié : il n'est plus à coup perdu, la roue progressant à chaque battement et le contact électrique étant produit par une roue distincte de la roue d'échappement, de façon à n'envoyer le courant dans la bobine qu'une seule fois par oscillation double du balancier. Ce modèle, également à échappement libre, convient spécialement pour la distribution de l'heure à distance.

Les récepteurs Vigreux et Brillié sont disposés pour que l'oscillation de leur pendule, entièrement libre, soit entretenue à distance et en synchronisme par une succession de contacts périodiques produits par un régulateur primaire.

Ce système diffère complètement des systèmes employés jusqu'à présent et dans lesquels un courant d'intensité à peu près constante, réglé par une résistance convenable, est envoyé périodiquement dans le récepteur à synchroniser ou dans plusieurs récepteurs montés en série, leur imprimant à chaque oscillation une impulsion elle-même constante. Il faut alors que le récepteur à régler soit amorti, c'est-à-dire qu'une disposition mécanique ou électromagnétique oppose à son mouvement une réaction croissant avec l'amplitude de l'oscillation, de manière à assurer au récepteur un régime stable ; la sûreté de fonctionnement est d'autant plus grande que l'amortissement est plus fort. Le courant moteur doit donc, dans ces conditions, avoir une intensité supérieure à celle qui est nécessaire à l'entretien du mouvement, par raison de sécurité, et il faut fournir au système non seulement l'énergie nécessaire pour entretenir le mouvement d'un pendule libre, mais encore celle beaucoup plus considérable qu'absorbent les amortisseurs.

Le système Vigreux et Brillié permet de supprimer tout dispositif d'amortissement ; le pendule est entièrement libre et l'intensité du courant périodique est variable et se règle automatiquement suivant l'amplitude de ce pendule pour lui fournir strictement la quantité d'énergie nécessaire à la conservation de son mouvement, quantité ainsi réduite au minimum possible. Avec ce système il est possible de commander un nombre quelconque de récepteurs en les montant en parallèle.

Il n'est pas nécessaire de produire un contact à chaque oscillation du pendule récepteur ; il suffit que l'intervalle entre les contacts périodiques corresponde à un nombre quelconque des oscillations doubles de ce pendule, l'amplitude se réglant automatiquement de manière que l'impulsion devienne le même nombre de fois plus forte.

Les pendules ainsi synchronisés peuvent entraîner une minuterie au moyen d'un échappement connu quelconque à ancre, à cliquet, etc. ; en réglant cet échappement de façon à fonctionner avec une faible fraction

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de l'amplitude maximum du pendule, la marche devient très sûre, malgré des différences sensibles dans les valeurs des frottements, de la force électromotrice de la pile, de la résistance de la ligne, etc.

MM. Vigreux et Brillié ont également réalisé un récepteur pouvant commander un nombre quelconque de sonneries électriques installées en différents endroits. Ces sonneries sont commandées un nombre de fois quelconque à des heures fixées à l'avance sur un cadran à fiches, pouvant ainsi indiquer, par exemple, les heures d'entrée et de sortie d'un atelier.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VIII

APPLICATIONS AUX CHEMINS DE FER

Relais avertisseur à action rapide et à effacement automatique de MM. Mambret et Cie, de Paris. — Cet appareil a pour objet de signaler automatiquement la présence d'un train dans une section déterminée, depuis le moment où il entre dans cette section jusqu'au moment où il en sort, et cela que la ligne soit à voie double ou à voie unique.

En particulier, il trouve son application dans les postes de passage à niveau pour indiquer au garde-barrière : 1° que le train franchit la pédale d'entrée, et 2° que le train franchit la pédale de sortie de la section.

Devant indiquer le passage sur les pédales d'entrée et de sortie aussi bien de machines à grande vitesse que de trains à marche lente et comprenant un grand nombre de véhicules, passage qui se manifeste par une mise à la terre de la pédale, de courte ou de longue durée, l'appareil est établi de manière à fonctionner sous l'influence de courants de ligne extrêmement brefs.

L'effet de ces courants initiaux est transformé par un ensemble de dispositions électriques et mécaniques, traduisant en quelque sorte les émissions très brèves de la ligne, de façon que la manifestation de cet effet soit certaine et durable.

L'ensemble ne comporte pas l'emploi d'aimants, de façon à n'avoir à redouter ni la désaimantation ni l'inversion de polarité.

L'apparition d'un voyant, accompagnée du fonctionnement d'une sonnerie, annonce l'entrée et le séjour du train dans la section ; la disparition du voyant et la suppression de la sonnerie annoncent la sortie du train.

Lorsqu'un train s'engage sur la section, il agit en la mettant à la terre sur une pédale reliée électriquement à la borne L^1 (*fig.* 149), l'électro A fonctionne, et le volet B vient prendre contact avec la butée C. Un circuit local se ferme, à travers l'électro D, dont l'armature E, agissant sur le bras F, amène le voyant et le maintient dans l'axe de l'appareil.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La tige G du voyant, prenant contact avec le ressort H, ferme un circuit local à travers la sonnerie; en même temps, une pièce isolée M, portée par une tige solidaire du voyant, dégage le volet B^1, qui vient reposer sur le crochet de l'armature de l'électro A^1.

Dès que le train arrive sur la pédale de sortie, reliée à la borne L^2, l'électro A^1 fonctionne, et le volet B^1 prend contact avec la butée C^1. Un

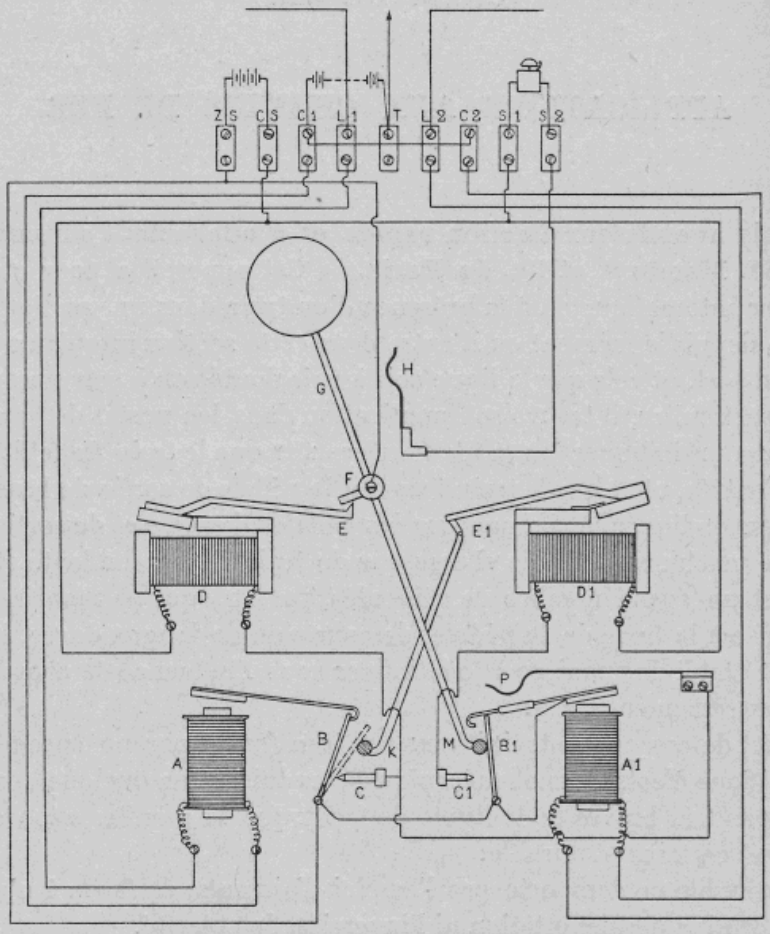


FIG. 149. — Schéma des connexions du relais avertisseur à action rapide de MM. Mambret et Cie.

circuit local se ferme à travers l'électro D^1, dont l'armature E^1 entraîne la pièce isolée K, qui repousse le volet B sous le crochet de l'électro A et rompt ainsi le contact entre le volet B et la butée C. Le circuit local qui traversait l'électro D, rompu entre B et C, se trouve rétabli par le contact entre N et P, lequel subsiste pendant tout le temps que fonctionne l'électro A^1, c'est-à-dire pendant que le train passe sur la pédale de sortie. Dès que celle-ci est franchie, le contact NP cesse, le circuit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

local traversant l'électro D est définitivement rompu, l'armature E revient au repos, et le voyant retombe, déterminant la rupture du contact GH et, par suite, la cessation du fonctionnement de la sonnerie. La pièce isolée M repousse le volet B^1 sous le crochet de l'électro A^1 et rompt ainsi le contact B^1C^1. Le circuit local traversant l'électro D^1 se trouve rompu, l'armature E^1 revient au repos, et la pièce isolée K libère le volet B qui reste engagé sous le crochet de l'électro A.

Tous les organes de l'appareil sont ainsi ramenés à leur position de repos.

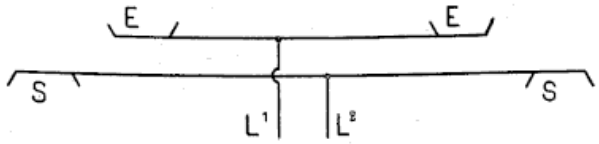


FIG. 150.

Pour desservir une voie unique, il suffit de relier les deux pédales d'entrée E à la borne L^1 et celles de sortie S à la borne L^2 (*fig.* 150).

Le fonctionnement de l'appareil est tel qu'aucune confusion ne peut résulter de ce fait que le train rencontre d'abord une pédale de sortie avant la pédale d'entrée dans la section et, ensuite, une pédale d'entrée avant la pédale de sortie de la section.

Avance-pétard électrique de la Compagnie du Nord. — Cet appareil, exposé par la maison Mors de Paris, est dû à MM. E. Sartiaux et Aliamet. Il consiste en une tige de fer doux mobile, traversant deux bobines d'électro-aimant, qui peut se déplacer horizontalement suivant que l'on actionne l'un ou l'autre des électros. Cette tige entraîne, par l'intermédiaire d'un levier, le porte-pétard et l'amène sur le rail ou le ramène dans sa boîte de protection. Des verrous de guidage empêchent toute trépidation des porte-pétards et sont actionnés, à cet effet, par le courant, en même temps que les bobines motrices. L'appareil est manœuvré par un commutateur spécial, indiquant par un voyant la position occupée par le pétard.

Contrôle des signaux. — La Compagnie du Nord exposait divers appareils de contrôle des disques à distance, des signaux carrés d'arrêt absolu, des disques de ralentissement, des indicateurs tournants, etc.

Électro-sémaphore de la Compagnie du Nord. — Ce sémaphore, exposé par la maison Mors de Paris, est du système Tesse, Lartigue et Prud'homme, muni de certains perfectionnements, entre autres, de l'*appareil memento* de pénétration, établi dans le but de faciliter au garde-sémaphore le comptage des trains qui pénètrent successivement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans une section bloquée et de lui rappeler l'obligation de remettre la grande aile à l'arrêt, après sa mise à voie libre par le poste suivant, autant de fois qu'il a pénétré de trains dans la section bloquée.

Serrure spéciale d'enclenchement réciproque des aiguilles et des disques de la Compagnie des chemins de fer du Nord. — Cet appareil, dû à M. E. Sartiaux, était exposé par la maison Mors de Paris; il est destiné à empêcher toute manœuvre intempestive, le courant envoyé à cet effet dans l'appareil enclenchant et immobilisant l'aiguille ou le levier de disque auquel il est affecté.

Commutateurs de désolidarisation. — La Compagnie du Nord avait exposé divers modèles de commutateurs spéciaux utilisés pour rompre la solidarité qui existe entre les appareils de block de deux sections successives, dans un même poste, lorsqu'on doit garer un train, car, dans ce cas, on doit naturellement rendre la voie libre dans la section amont dès que ce train est garé, bien qu'on n'ait pas à le couvrir dans la section aval où le train n'est pas entré.

Tableau répétiteur d'aiguilles, système G. Dumont et G. Baignères. — Dans les Compagnies de chemins de fer on a utilisé tout

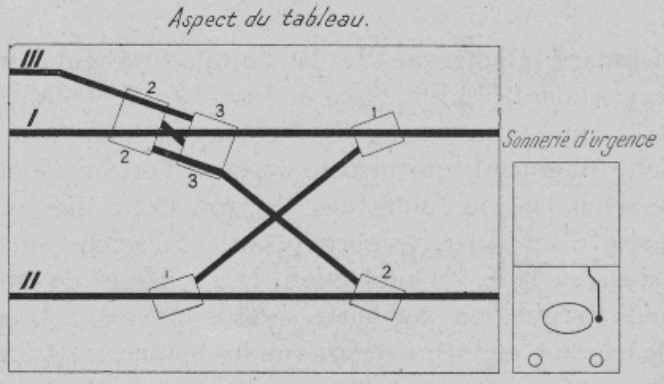


FIG. 151.

récemment les transmissions funiculaires pour la manœuvre à distance des aiguilles.

Ce mode de transmission, qui coûte moins cher et qui donne moins de résistance que les transmissions rigides, paraît devoir se généraliser. L'aiguilleur devant être renseigné à tout moment sur la position des aiguilles qu'il manœuvre, il devenait nécessaire de contrôler au poste de concentration des leviers, non seulement les deux positions normale et renversée d'une aiguille, mais encore son application exacte contre le rail, tout entre-bâillement pouvant occasionner un déraillement.

C'est pour répondre à ce besoin que MM. Dumont et Baignères ont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

étudié le tableau répétiteur d'aiguilles exposé, construit par la maison Rousselle et Tournaire de Paris.

L'appareil se compose essentiellement :

1° D'un tableau en tôle sur lequel sont figurées schématiquement les voies et les aiguilles contrôlées ;

2° De mécanismes à double circuit qui se placent en arrière des fenêtres pratiquées dans le tableau en tôle ;

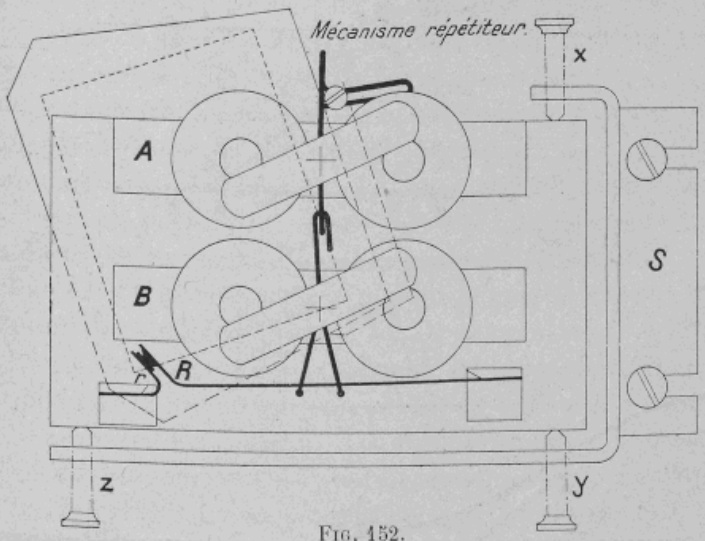


FIG. 152.

3° De trois commutateurs à levier simulant les trois leviers de manœuvre des aiguilles 1, 2 et 3 contrôlées.

Tableau répétiteur. — Le tableau n'a rien de particulier, ses dimensions sont fonction du nombre d'aiguilles à contrôler et de leurs emplacements respectifs par rapport aux voies. Le tableau (*fig.* 151) en tôle de 2 millimètres d'épaisseur est monté sur charnières se fixant sur un cadre en bois ayant 80 millimètres de profondeur. L'appareil exposé ne comporte que deux tôles, mais il peut y en avoir davantage si, comme le cas se présente, il est nécessaire de constituer des répétiteurs ayant 2 à 3 mètres de longueur. En un mot, on sectionne le tableau répétiteur en autant de parties qu'il est nécessaire pour que le poids sur les charnières ne dépasse pas une limite convenable. Ce système de panneaux mobiles a l'avantage de permettre la visite facile des mécanismes répétiteurs.

Mécanisme répétiteur. — Le mécanisme répétiteur (*fig.* 152) se compose essentiellement de deux groupes d'électro-aimants A et B, fixés sur une semelle en bois maintenue dans un support en tôle par trois vis x, y, z. Les armatures des deux électros sont conjuguées et l'axe de l'électro supérieur supporte, par l'intermédiaire d'un fil de cuivre recourbé,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le voyant du répétiteur qui est équilibré dans la position intermédiaire (celle où le courant ne circule dans aucun électro).

Ce voyant est réglable; il porte sur sa face antérieure deux traits noirs dont la position est déterminée graphiquement d'après la position de la traversée par rapport à la voie normale.

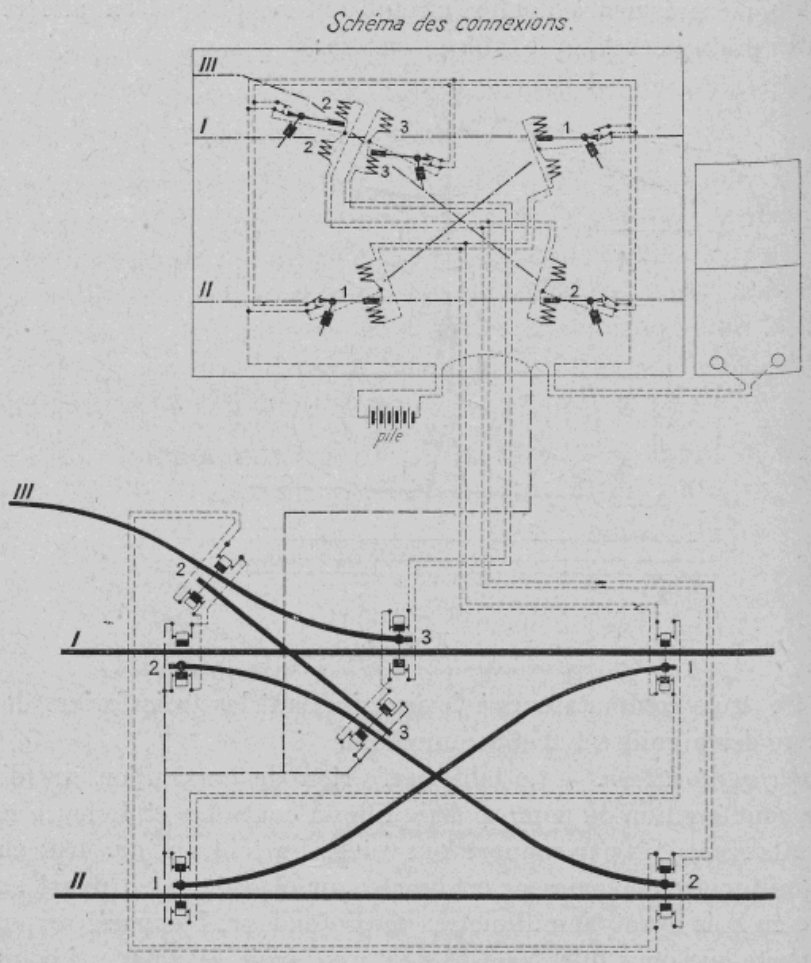


Fig. 153.

Ce sont ces traits noirs qu'il faut, dans le réglage, faire coïncider : avec la voie normale, lorsque l'électro correspondant a attiré son armature, et avec la traversée ou la jonction, lorsque le courant est établi dans l'électro correspondant.

Pour réaliser ce réglage, rien n'est plus facile en agissant d'abord sur le support en fil de cuivre du voyant et en déplaçant ensuite la semelle S dans le sens latéral et le mécanisme proprement dit dans le sens vertical, à l'aide des vis x, y et z.

Dans la position intermédiaire, le ressort R vient au contact du res-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sort r et une sonnerie d'urgence avertit l'aiguilleur que le circuit est interrompu, soit parce qu'une aiguille contrôlée n'est pas bien appliquée contre le rail, soit parce qu'un dérangement s'est produit dans les appareils de contrôle.

Dans les positions « normales » ou « renversées » des aiguilles, le ressort R est écarté du ressort 2; mais, quand on passe d'une position à l'autre, on perçoit un léger tintement de la sonnerie, le circuit local se fermant pendant un très court instant.

L'appareil est combiné en vue de faciliter sa visite et le réglage du voyant. Il suffit, en effet, de dévisser la vis z pour faire pivoter tout le mécanisme autour de l'axe constitué par les vis x et y.

Schéma des communications. — Le schéma (*fig.* 153) permet de se rendre compte du mode de contrôle des aiguilles.

Les commutateurs des aiguilles I, I sont embrochés dans la position normale et dans la position renversée, de sorte que les deux voyants correspondants se déplacent dans le même sens que les aiguilles.

Pour simuler une installation, on a, dans le modèle exposé, fait aboutir les circuits des aiguilles 1, 2 et 3 à trois commutateurs à levier pouvant occuper les deux positions « normale et renversée ». Dans la position intermédiaire, il y a rupture du circuit et, par suite, tintement de la sonnerie d'urgence. La position des voyants indique le groupe d'aiguilles où un dérangement s'est produit; ces voyants occupent en effet une position intermédiaire ne permettant pas de discerner la situation des aiguilles manœuvrées.

Le tableau répétiteur d'aiguilles peut comporter également des appareils de contrôle de la position des blocks et des signaux.

On arrive ainsi à placer devant les yeux d'un aiguilleur un schéma complet lui permettant de se rendre compte, à chaque instant, de la position respective des aiguilles, blocs et signaux dont il a la manœuvre.

Contrôle électrique des aiguilles. — Cet appareil, exposé par la Compagnie du Nord, est fondé sur le même principe que celui qui avait figuré à Paris à l'Exposition de 1889; ses organes ont été seulement légèrement modifiés de manière à obtenir un fonctionnement plus sûr.

Block-system, modèle 1903, de MM. Mambret et Cie, de Paris. — Le système de block-system exposé comporte l'emploi et la combinaison spéciale de lignes électriques et d'appareils.

Les lignes qui relient entre eux deux postes consécutifs de block servent à libérer à distance, électriquement, les enclenchements qui, normalement, maintiennent les signaux à l'arrêt : elles servent aussi à la correspondance entre les deux postes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D'un poste au suivant ou au précédent, la ligne ne comprend qu'un seul fil.

Ce conducteur unique, grâce à la combinaison et aux connexions des appareils, sert, non seulement à la correspondance, mais encore aux déclenchements sans que la correspondance puisse avoir la moindre influence sur les enclenchements, et réciproquement.

Il convient de signaler, en outre, les fils qui relient chaque poste aux pédales de sortie du block : un conducteur par pédale. Mais ces fils, à cause de leur faible étendue, constituent plutôt des circuits locaux que des lignes extérieures.

Les appareils comprennent :

1° Des postes téléphoniques constitués au moyen d'appareils ordinaires d'abonnés.

Chaque station de block comporte un poste téléphonique : à deux directions, s'il s'agit d'une station intermédiaire de block ; à une seule direction, s'il s'agit d'un poste terminus.

Ces appareils sont disposés de telle façon qu'ils ne peuvent jamais être mis en contact métallique avec la ligne.

Ils ne sont reliés avec elle que par l'intermédiaire d'un transformateur, qui suffit pour le passage des courants alternatifs du téléphone.

Ces postes téléphoniques comportent, en outre, des organes accessoires d'usage courant en téléphonie, tels que : sonneries locales, annonciateurs d'appels, clés d'écoute. Ils permettent au stationnaire de porter le téléphone à volonté sur telle ou telle direction, de telle façon qu'il suffit dans chaque poste d'un seul téléphone, au lieu d'un téléphone pour chaque direction ;

2° Des leviers enclenchés électriquement ou, plus exactement, des organes qui, juxtaposés aux leviers des signaux ou sémaphores, enclenchent électriquement ces leviers;

3° Des commutateurs avec enclenchement électrique, ou *commutateurs enclenchés*, servant à mettre la ligne sur l'une des trois connexions suivantes :

a) Sur téléphone, position d'attente ;

b) Sur *réception de déclenchement*, c'est-à-dire sur le circuit local de l'organe électrique d'enclenchement du levier ;

c) Sur *envoi de déclenchement*, c'est-à-dire sur le circuit de la pile de déclenchement.

Les deux premières positions sont facultatives ; on peut à volonté, à un moment quelconque, passer de l'une à l'autre.

Pour passer sur la troisième, il faut que les conditions du block en vue de la libération du déclenchement du poste amont soient satis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faites : c'est-à-dire que le signal de sortie du canton soit fermé et que la pédale de sortie ait été actionnée.

C'est en vue de l'observation de ces conditions que le commutateur a été muni lui-même d'organes d'enclenchement électrique.

On peut toujours revenir de cette troisième position aux deux premières ;

4° De pédales installées sur la voie en aval du poste. Elles sont reliées par un fil à un électro compris dans les organes d'enclenchement du commutateur dont il vient d'être question. Ce circuit est continué par une pile, située dans le poste, et par la terre ou plus exactement par le rail.

Normalement le circuit est ouvert à la pédale même, qui est relativement ou suffisamment isolée du rail contre lequel elle est attachée. Le train, en passant sur la pédale, complète ou ferme le circuit et le courant de la pile actionne l'électro.

Le fonctionnement de cet électro réalise électriquement une des conditions du programme.

5° Des appareils accessoires, tels que sonneries, et des piles Leclanché.

Manœuvre à distance des sémaphores. — La Compagnie du Nord exposait les appareils de manœuvre électro-mécanique, dus à M. E. Sartiaux, et destinés à commander les sémaphores à distance.

Appareil avertisseur à crocodile du passage des trains. — Cet appareil, exposé par la Compagnie du Nord, avertit du passage des trains aux disques. Ce dispositif a été l'objet d'améliorations et donne complète satisfaction.

Manœuvre à distance des aiguilles. — La Société Force-Éclairage de Bruxelles exposait le dispositif de manœuvre d'aiguilles à distance fondé sur l'emploi d'électro-aimants du système Guénée de Paris ; ce dispositif est semblable à celui qui est employé par la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest à Paris, sur la ligne des Invalides. Les électro-aimants actionnent un système de leviers qui permet d'obtenir, successivement et par une seule course de l'armature, le déverrouillage de l'aiguille, son changement de position, puis le verrouillage.

Commande électrique des aiguilles et des signaux, système Ducousso et Rodary. — Ces appareils de commande électrique des aiguilles sont en service à Paris à la gare de Paris-Lyon-Méditerranée. Ils permettent de manœuvrer les aiguilles à distance, tout en contrôlant leur bon fonctionnement. Le levier commutateur de commande envoie, dès le commencement de sa course, le courant au moteur commandant l'aiguille, puis se trouve arrêté dans une position intermédiaire jusqu'à ce que l'aiguille commandée ait pris la position voulue. A ce moment, un courant de contrôle agit sur un électro-aimant qui dégage le verrou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

arrêtant le levier qui, alors, peut être amené à bout de course. Le mécanisme moteur de l'aiguille comprend un moteur électrique dont l'arbre est attelé, par un manchon d'accouplement, à une vis sans fin qui engrène avec une roue dentée. Cette dernière porte un bouton de manivelle tournant librement sur un axe fixé en un point excentrique et s'engageant dans la coulisse d'un levier qui commande l'aiguille au moyen d'une bielle d'accouplement, transformant ainsi le mouvement de rotation du moteur en mouvement rectiligne alternatif. Le sens de rotation du moteur-série est déterminé par le sens du courant envoyé dans le circuit. L'arrêt du moteur se produit automatiquement lorsque la roue dentée a accompli le mouvement angulaire total correspondant à l'entraînement et au calage de l'aiguille dans la position voulue.

Pour la commande des signaux, l'adaptation de la commande électrique est faite de manière que le signal se ferme sous l'action d'un contrepoids de rappel. Le signal s'ouvre et est maintenu ouvert par l'action électrique; si le courant vient à être interrompu par une cause quelconque, le signal se ferme automatiquement.

Ces appareils sont construits par les ateliers Thomson-Houston de Paris, qui les exposaient.

Leviers d'itinéraires, système Bleynie et Ducousso. — Les ateliers Thomson-Houston de Paris exposaient ce nouveau système de commande à distance des aiguilles et signaux de chemins de fer.

Dans les systèmes ordinaires de commande, un levier distinct est spécialement affecté à la manœuvre de chaque aiguille ou signal. Lorsqu'un train manœuvre dans une gare, il faut, par suite, pour préparer l'itinéraire qu'il va suivre :

1° Renverser successivement les leviers de commande de toutes les aiguilles situées sur cet itinéraire et dont la position normale ne correspond pas au dit itinéraire;

2° Autoriser le passage en ouvrant les signaux de la voie à parcourir, ce qui exige encore le renversement d'un ou de plusieurs leviers;

3° Enclencher l'itinéraire en verrouillant les leviers dans la position qu'ils doivent occuper.

Le système des leviers d'itinéraires a pour but de remplacer les manœuvres successives de nombreux leviers à redresser ou à renverser pour chaque itinéraire à parcourir par celle d'un seul levier qui donne une commande collective de tous les organes.

On voit immédiatement que ce système peut offrir de grands avantages :

1° Économie de personnel par suite de la réduction du nombre de leviers;

2° Inutilité d'avoir un personnel spécialisé pour ces manœuvres et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

connaissant parfaitement les dispositions des tables d'enclenchement ;

3° Réduction des tables de commande ;

4° Augmentation du rendement maximum d'un poste, c'est-à-dire du nombre de trains qui peuvent traverser sa zone d'action dans un temps déterminé ;

5° Augmentation de la sécurité, grâce à un contrôle impératif ne permettant de donner le passage d'un train que si tous les organes, commandés par un même levier, ont bien fonctionné.

L'effort musculaire à demander à un aiguilleur est naturellement insuffisant pour qu'il puisse manœuvrer directement, d'un seul coup de levier, plusieurs signaux et aiguilles à la fois. Le système comporte donc nécessairement l'emploi de moteurs spéciaux pour actionner les signaux et les aiguilles.

L'emploi des moteurs électriques est tout indiqué. Les moteurs d'aiguille sont établis de telle sorte qu'il suffit de changer le sens du courant pour changer également le sens de rotation du moteur qui provoque le déplacement de l'aiguille. Le mécanisme intermédiaire entre le moteur et la bielle est disposé de manière à produire, par un excès de course de la pièce d'entraînement, le calage de la bielle qui est d'ailleurs arrêté à la position convenable par le freinage électrique obtenu en mettant l'induit du moteur en court-circuit.

Les moteurs des signaux tournent toujours dans le même sens, quel que soit le sens du courant qui les actionne. Le moteur n'a d'autre action à exercer que d'ouvrir un signal fermé. Dès que le signal est ouvert, le courant cesse de traverser le moteur, mais il continue à circuler dans un embrayage électrique qui maintient le signal dans sa position d'ouverture. Dès que le courant est interrompu pour une cause quelconque, le signal se ferme sous l'action d'un contrepoids de rappel.

Les aiguilles et les signaux sont disposés de manière à fermer des circuits de contrôle lorsqu'ils ont obéi à la commande.

L'ensemble du mécanisme d'une table de commande correspondant à chaque itinéraire comporte :

1° Un levier de manœuvre avec verrou de contrôle ne permettant au levier d'arriver à fond de course que lorsque ce verrou a fonctionné sous l'action d'un courant de contrôle, indiquant que tous les appareils commandés sont bien dans la position voulue ;

2° Un inverseur de courant, actionné par le levier, et dont le rôle est de déterminer, au moyen de touches et de ressorts appropriés intercalés sur le circuit de commande, le sens du courant de transmission duquel dépend le sens de rotation des moteurs commandant les aiguilles et aussi d'approprier à ce sens de marche les conditions d'émission du courant de contrôle qui agit sur le verrou du levier de manœuvre :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3° Un coupleur électrique composé de deux cylindres auxquels le levier de manœuvre imprime un mouvement de rotation. L'un des cylindres produit le groupement des circuits de transmission des aiguilles et des signaux ; l'autre, le groupement des liaisons constituant le circuit de contrôle. Des touches, disposées sur une même génératrice du cylindre, viennent au contact d'une série de ressorts, pour chaque position déterminée du levier de manœuvre et établissent les communications électriques voulues.

La constitution des combinaisons à établir, ainsi que les connexions électriques nécessaires, ayant pour but de fermer par une seule manœuvre un certain nombre de circuits déterminés, varient nécessairement suivant les différents itinéraires.

Table télégraphique et téléphonique de la Compagnie du Nord. — Cette installation permet d'échanger simultanément les dépêches de service soit par le télégraphe, soit par le téléphone, quelle que soit la distance. Elle comporte, en dehors des appareils télégraphiques ordinaires, un poste téléphonique complet. Les communications sont établies : pour le télégraphe, au moyen d'un commutateur suisse ; pour le téléphone, au moyen d'un tableau à jacks.

Poste téléphonique de gare de la Compagnie du Nord. — Ce poste comporte un tableau à six directions, un microphone, deux récepteurs, une sonnerie et un petit pupitre pour l'inscription des dépêches.

Cet ensemble permet à un poste de communiquer avec l'une quelconque des six directions et de mettre deux quelconques de ces dernières en relation directe, au moyen de cordons souples à deux fiches.

Ce type de poste, établi depuis deux jusqu'à douze directions, est spécialement affecté à la correspondance intérieure des gares entre les différents bureaux, cabines, postes d'aiguilleurs, etc.

Appareils de correspondance de la Compagnie du Nord. — Les deux appareils exposés comportent l'un 4 guichets et l'autre 8, permettant aux postes qui en sont munis d'échanger entre eux 4 ou 8 communications de service distinctes, par la seule manœuvre d'un bouton poussoir, tout en laissant une trace visible des signaux transmis.

Intercommunication des voitures d'un train de la Compagnie du Nord. — Tous les trains de voyageurs circulant sur le réseau du Nord sont pourvus d'un système d'intercommunication entre les divers véhicules, permettant à tout voyageur d'appeler le conducteur pendant la marche. Ce dispositif est constitué par une sonnerie et par une batterie de piles à liquide immobilisé. Des boutons d'appel sont placés dans tous les compartiments.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CINQUIÈME PARTIE

ÉLECTROCHIMIE ET ÉLECTROMÉTALLURGIE

CHAPITRE I

ÉLECTROCHIMIE

Électrolyse de l'eau. — La Société l'Oxhydrique de Bruxelles avait édifié dans les jardins de l'Exposition un pavillon où l'on montrait aux visiteurs la confection de soudures au moyen du chalumeau oxhydrique perfectionné qui permet le découpage facile des tôles et blindages à l'aide d'un jet d'oxygène et cela sans endommager le métal.

L'oxygène nécessaire est préparé à l'aide de l'électrolyseur Garuti, appareil industriel des plus pratiques pour l'électrolyse de l'eau, car il est disposé de manière à diminuer autant que possible les chances de mélange d'oxygène et d'hydrogène. Les électrodes sont en tôle d'acier et l'électrolyte est une lessive caustique.

Électrolyse des chlorures alcalins. — La Société Solvay et Cie de Bruxelles exposait des échantillons de soude caustique, de lessives de soude et de potasse et de chlorure de chaux obtenus par voie électrolytique.

La pureté de la soude caustique ainsi préparée électrolytiquement est aussi grande que celle des meilleures soudes à l'alcool, car elle contient 98,95 0/0 de soude pure.

Les électrolyseurs employés dans les usines Solvay sont des appareils industriels exigeant peu de main-d'œuvre. Le principe fondamental de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ces appareils à marche continue est de produire simplement, par l'électrolyse de la solution de chlorure alcalin, un amalgame duquel on extrait ensuite l'alcali. Dans une cuve rectangulaire, de dimensions aussi grandes que l'on veut en longueur et en largeur, on dispose l'anode formée par un système de charbons disposés en quinconce, la cathode étant constituée par une couche de mercure couvrant le fond de la cuve. Le mercure arrive par un tube disposé sur un des côtés et presque à la partie inférieure de la cuve ; l'amalgame formé, plus léger, s'écoule par un trop-plein placé sur le côté opposé. La dissolution de chlorure circule en sens inverse du mercure et arrive par un tube disposé vers le haut de la cuve ; le liquide électrolysé sort par le côté opposé. On réalise ainsi une opération méthodique, véritablement industrielle, évitant l'emploi de petits appareils et les inconvénients dus à la circulation du mercure dans le dispositif Castner-Kellner. L'énergie produite par l'attaque de l'amalgame de sodium par l'eau, s'effectuant dans des appareils analogues aux électrolyseurs, est perdue, mais on peut la récupérer dans l'électrolyseur par un dispositif électrique spécial.

La Société des forces motrices et usines de l'Arve à Chedde (Haute-Savoie) avait exposé dans son stand des celluloses écrues au bisulfite de chaux, blanchies par électrolyse dans son usine de Lancey (Isère). Le blanchiment de ces celluloses est effectué dans l'électrolyseur P. Corbin, consistant en une cuve rectangulaire, divisée en plusieurs compartiments par des lames de platine montées dans un cadre en matière isolante. Les lames extrêmes seules sont reliées à la dynamo génératrice, de sorte que les lames intermédiaires fonctionnent comme anode sur une face et comme cathode sur l'autre ; ces lames sont au nombre de 13. L'électrolyte est une solution de chlorure de sodium et sert indéfiniment ; on compense par addition de sel marin les pertes provenant de l'entraînement mécanique. Cet électrolyseur consomme 150 ampères sous 120 volts et blanchit 750 kilogrammes de pâte de bois au bisulfite par vingt-quatre heures.

Produits chimiques spéciaux de la Société d'Électrochimie de Paris. — Cette Société exposait à Liège différents produits chimiques spéciaux qu'elle obtient par des procédés électrolytiques dans ses usines de Saint-Michel-de-Maurienne et de Vallorbe et qui sont les suivants :

1° *Peroxyde de sodium comprimé.* — Peroxyde de sodium ordinaire aggloméré par compression. Cette agglomération rend le peroxyde de sodium plus maniable et moins rapidement soluble dans l'eau, qualités qui sont exigées par certains blanchisseurs.

Le peroxyde de sodium comprimé sert au blanchiment de la laine, de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la soie, de la paille à chapeau, etc..., comme l'eau oxygénée dont il est un succédané ;

2° *Oxylithe S. — Pierre d'oxygène.* — Cette substance donne de l'oxygène pur sous la simple action de l'eau ; elle est à l'oxygène ce que le carbure de calcium est à l'acétylène ;

3° *Alliage liquide de potassium et sodium.* — C'est la matière première de l'oxylithe ; il s'obtient par l'action du sodium métallique sur la potasse caustique fondue. Cet alliage est liquide et aussi fluide que du mercure ;

4° *Peroxyde mixte de potassium et sodium.* — Il s'obtient par oxydation à chaud de l'alliage liquide de potassium et de sodium. Son principal emploi est de servir à la fabrication de l'oxylithe (pierre d'oxygène) ;

5° *Oxylithe P. S (pierre d'oxygène).* — De même que l'oxylithe S, l'oxylithe P. S donne de l'oxygène pur sous la simple action de l'eau, mais la quantité dégagée est plus grande : 200 litres par kilogramme au lieu de 150 litres ;

6° *Peroxyde de baryum cristallisé.* — Le peroxyde de baryum cristallisé est un dérivé du peroxyde de sodium ; il s'obtient en faisant réagir une solution de peroxyde de sodium sur une solution de sulfure de baryum.

Le peroxyde de baryum cristallisé sert à la fabrication de l'eau oxygénée qui est employée dans le blanchiment ;

7° *Hydrure de calcium.* — L'hydrure de calcium est un nouveau produit qui sert à la fabrication de l'hydrogène gazeux pour le gonflement des ballons ou pour la soudure autogène des métaux.

Un kilogramme de cet hydrure donne au contact de l'eau environ 1 000 litres d'hydrogène pur.

Chlorates et perchlorates. — La Société des forces motrices et usines de l'Arve à Chedde (Haute-Savoie), ancienne Société Corbin et Cie, fabrique exclusivement des chlorates de potassium, de sodium et de baryum, ainsi que des perchlorates de potassium, de sodium et d'ammonium. Ces produits, obtenus par électrolyse, sont principalement utilisés pour la préparation d'explosifs qui présentent de sérieuses qualités de sécurité, de conservation et d'emploi.

La puissance utilisée à l'usine de Chedde atteint actuellement 13 000 chevaux et, en 1904, la production annuelle de chlorates alcalins a atteint 4 millions de kilogrammes.

La Société d'Électro-Chimie, de Paris, fabrique dans ses usines de Saint-Michel-de-Maurienne et de Vallorbe d'importantes quantités de chlorates de potassium et de chlorate de sodium par le procédé Gall et de Montlaur. Elle exposait à Liège de magnifiques échantillons de ces sels.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Électrodes en charbon. — La Société « Le Carbone » de Levallois-Perret, près Paris, avait exposé des électrodes en charbon pour l'électrochimie et l'électrométallurgie. Elle a été la première en France à fabriquer ce genre d'électrodes. Une des curiosités de son exposition était une électrode de section carrée ayant 1,50 m de longueur, 300 mm de côté et pesant 200 kg.

Nouvelle matière soudante sans étain. — M. Georges Dary, de Clamart (Seine), avait exposé des échantillons d'une nouvelle matière soudante ne contenant pas d'étain et obtenue par voie électrolytique.

L'inventeur a cherché à éliminer complètement l'étain de la composition des soudures ordinairement employées, à cause de son prix élevé et de la rareté de ce métal.

M. Dary a obtenu, par un procédé d'électrolyse spécial, des rubans de soudure qui n'exigent qu'une température seulement un peu plus élevée que la soudure à l'étain et qui présentent l'avantage de supprimer tout décapage préalable et de coûter moitié moins cher que la soudure ordinaire.

Dépôts électrolytiques. — Le professeur A. Classen, d'Aix-la-Chapelle, exposait des objets galvanisés par un nouveau procédé électrolytique dont il est l'auteur. Les dépôts de zinc ainsi obtenus sont absolument brillants au sortir du bain, et la pièce ainsi galvanisée peut être pliée et tordue sans endommager sa couche protectrice. Les procédés du professeur Classen sont encore tenus secrets. Tout ce que l'on peut dire, c'est que l'on a reconnu que le brillant du dépôt électrolytique est l'indice d'une couche de zinc parfaitement pure et assure une galvanisation parfaite et très solide.

Les établissements S. Grauer de Bruxelles exposaient les appareils et matières employés par les galvanoplastes, entre autres des appareils à décaper, des bacs électrolyseurs, des polisseuses, des plaques d'anodes, des sels pour bains galvanoplastiques constitués par un mélange parfaitement dosé des différents produits nécessaires. A signaler également un appareil très pratique, pour l'application du procédé dit « au tonneau », se composant d'une cuve conique animée d'un mouvement de rotation autour de son axe ; l'anode fixe, disposée au centre, détermine une violente circulation de l'électrolyte contenu dans la cuve en mouvement. La cathode est constituée par la masse d'objets qu'il s'agit de recouvrir d'un dépôt métallique et qui sont en contact avec le fond métallique du tonneau relié au pôle négatif de la source de courant. Cet appareil permet de réduire les frais de main-d'œuvre et est très employé notamment pour le nickelage des petits objets de peu de valeur. Les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pièces, étant soumises à un frottement continu les unes contre les autres, subissent un certain polissage bien suffisant dans la plupart des cas.

M. Levy Siegmar, de Berlin, exposait des objets d'art industriel dorés ou argentés par électrolyse.

La Compagnie générale d'électrolyse d'Angleur (Belgique) exposait différents objets de toutes dimensions recouverts d'un dépôt électrolytique de zinc. Le procédé employé pour galvaniser ces objets paraît être analogue à celui de Cowper-Coles. Le décapage des objets à recouvrir de zinc se fait uniquement au sable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II

ÉLECTROMÉTALLURGIE

Cuivre. — La Société française d'électrométallurgie de Dives-sur-Mer exposait de nombreux échantillons de tubes de cuivre sans soudure obtenus par le procédé Elmore, perfectionné par M. Secretan. Par ce procédé, le cuivre électrolytique obtenu ne présente plus une texture plus ou moins grenue, cristalline et à surface irrégulière ; le métal est absolument lisse, et sa texture très homogène. Ces résultats sont obtenus au moyen de brunissoirs en agate, animés d'un mouvement de va-et-vient le long de la cathode, constituée par un mandrin en acier recouvert d'une couche mince de cuivre oxydé afin d'éviter l'adhérence. L'anode en cuivre brut est coulée en forme d'U, de manière à obtenir un dépôt régulier. La cathode est toujours maintenue en rotation.

C'est ainsi que l'on obtient des tubes de cuivre ayant 2,50 m de diamètre et 3,50 m de longueur. Le stand de cette Société contenait de nombreux échantillons de tubes, planches, lames, éprouvettes, fils et rubans de cuivre, ainsi que des barres de bronze au tungstène pour entretoises de foyers de locomotives et des tubes de même alliage, destinés aux condenseurs et aux conduites de vapeur à haute pression.

La Compagnie électrothermique Keller, Leleux et Cie s'occupe dans ses usines du traitement des minerais de cuivre. Le minerai est d'abord fondu dans un premier four électrique, puis coulé régulièrement dans un second four à action modérée. La décantation de la matte se produit et la séparation d'avec les scories est parfaite. Les scories épuisées sont coulées par un orifice supérieur, et la matte par un orifice inférieur. Le second four remplit le rôle de l'avant-creuset des fours à manche avec cette différence que, dans le procédé électrique, il y a réchauffage dans l'avant-creuset, ce qui facilite les coulées et la séparation de la matte. On pouvait voir, à Liège, des échantillons de mattes de cuivre à 50 0/0 et les scories correspondantes ne contenant que 0,01 0/0 de cuivre.

La Société électrométallurgique française de Froges exposait, parmi les nombreux produits de sa fabrication, des mattes de cuivre à 40 0/0.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fontes, fers et aciers. — La Compagnie électrothermique Keller, Leleux et Cie, de Paris, exploite l'usine de Kerrousse (Morbihan) et celle de Livet (Isère). Parmi les échantillons d'acier exposés, il y a lieu de remarquer :

1° Des tôles d'acier brutes de laminage de 3, 5 et 9 mm d'épaisseur ayant subi à 10 mètres le tir du fusil Gras ;

2° Un outil de tour essayé sur un acier nickelo-chromé à 65 kg de résistance avec une vitesse de tournage de 6,75 m, une profondeur de coupe de 5 mm, un rayon et un serrage de 1 mm. Cet outil a tenu dix minutes avec une très faible usure ;

3° Des outils divers, tels que burins, barres à mine, masses, marteaux, etc.

Parallèlement à la fabrication de l'acier, la Compagnie Keller, Leleux a entrepris le traitement électrique des minerais de fer et exposait des échantillons de fontes blanches, fontes grises, fontes truitées obtenues par son procédé au four électrique.

La Société électrométallurgique française de Froges (Isère) possède, indépendamment de ses usines de Froges et de la Praz (Savoie), une installation très importante à Saint-Michel-de-Maurienne. Dans ces usines, elle produit des fers et des aciers au four Héroult, concurremment avec les autres métaux et alliages qui constituaient primitivement sa fabrication. On pouvait examiner à l'Exposition de Liège de nombreux échantillons de lingots, depuis le fer fondu à 0,02 de carbone jusqu'à l'échantillon d'acier extra-carburé ou de fonte contenant plus de 4 0/0 de carbone ; des échantillons de barres d'acier pour outils, de barres d'acier chromé, etc., et de fontes blanches et grises.

La *Metallurgiska Patentaktiebolaget* de Stockholm exposait diverses pièces en acier, préparées au four électrique Kjellin.

Métaux et alliages. — Plusieurs exposants ont présenté des produits très intéressants, témoignant des progrès et de l'importance croissante de cette application de l'électricité à la sidérurgie.

Société anonyme électrométallurgique, procédés P. Girod, d'Ugine (Savoie). — Cette Société exposait des échantillons des métaux et alliages qu'elle produit industriellement au four électrique dans ses usines et qui présentent le plus grand intérêt au point de vue de la fabrication des aciers spéciaux.

Parmi les alliages spéciaux fabriqués par cette Société, il convient de citer les suivants : ferro-tungstène, ferro-chrome, ferro-molybdène, ferro-silicium, ferro-vanadium, cupro-vanadium et ferro-titane. Parmi les métaux : le vanadium et le titane, ainsi que l'aluminium.

Le ferro-tungstène est employé dans la fabrication de l'acier au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

creuset et aussi dans la fabrication des aciers fins pour ressorts et autres usages, aciers qui se préparent souvent au four Martin et dont la teneur en tungstène est souvent inférieure à 2,5 0/0. Le ferro-tungstène présente le grand avantage de contenir déjà du fer et de ne pas s'interposer entre les cristaux de l'acier, comme cela se produit souvent avec le tungstène en poudre.

La Société produit principalement deux qualités de ferro-tungstène : l'une, pour les aciers au creuset et spécialement pour les aciers se trempant à l'eau et servant à fabriquer des outils animés d'une grande vitesse ; l'autre, pour les aciers préparés au four Martin ou dans la cornue Bessemer. Le premier de ces alliages contient environ 85 0/0 de tungstène et, au maximum, de 0,3 à 0,5 0/0 de carbone. De nombreux essais ont prouvé que les aciers fabriqués avec ce ferro-tungstène reviennent non seulement à un prix inférieur de celui des aciers fabriqués avec la poudre de tungstène, mais encore sont beaucoup plus homogènes. Ce dernier avantage s'explique par ce fait qu'il est très facile de contrôler si le ferro-tungstène a été fondu ; s'il a été fondu, il s'est nécessairement réparti dans toute la masse d'acier si l'ouvrier a pris la précaution de remuer l'acier fondu dans le creuset avant la coulée. Il n'en est pas de même avec la poudre de tungstène qui peut être entraînée dans le laitier, ou encore se coller sans être fondue sur les parois du creuset, ou même disparaître complètement, sans avoir été fondue, les grains souvent imperceptibles à l'œil restant à l'état de poudre entourée d'une mince couche d'acier au tungstène. L'autre qualité de ferro-tungstène pour la fabrication de l'acier au four Martin ou au Bessemer contient de 60 à 70 0/0 de tungstène, a un point de fusion plus bas que le premier et s'oxyde moins à cause de sa teneur en carbone plus élevée et qui est de 2 à 3 0/0.

En ce qui concerne le ferro-chrome, il existe toute une série de qualités différentes dont les principales sont le ferro-chrome pour blindages et projectiles, contenant 65 0/0 de chrome, 8 à 10 0/0 de carbone et 2 à 6 0/0 de silicium ; le ferro-chrome à 7 0/0 de carbone et 65 0/0 de chrome, utilisé par certaines aciéries anglaises pour la fabrication des projectiles, des blindages et de certains aciers à outils ; enfin, un ferro-chrome spécial aux aciers à outils fabriqués au creuset, dont la teneur en carbone est de 2 0/0, ainsi qu'une autre qualité en contenant moins de 1 0/0. Ces divers ferro-chromes remplacent très avantageusement le ferro-chrome produit dans le haut-fourneau, parce qu'ils sont plus purs et bien meilleur marché que ce dernier.

Le molybdène donne aux aciers qui en contiennent des qualités remarquables et, si son emploi ne s'est pas généralisé, la cause en est due à son prix élevé et aussi parce que les aciéries n'ont eu pendant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

longtemps à leur disposition que du molybdène en poudre très impur, contenant beaucoup de carbone et parfois du soufre.

Grâce aux procédés Girod, on produit maintenant du ferro-molybdène contenant 80 0/0 de molybdène environ, 2 0/0 de carbone et pour ainsi dire pas d'impuretés.

Cet alliage est très employé en Amérique pour la fabrication des aciers à outils, et en Angleterre, en moindres quantités, pour les aciers de petits blindages et de projectiles.

L'adjonction de faibles quantités de molybdène dans les aciers au nickel augmente leur résistance, tout en doublant et triplant l'allongement. Ces aciers au nickelo-molybdène sont utilisés pour la fabrication des pièces d'automobiles et pour certaines parties mécaniques de navires de guerre à grande vitesse, tels que les torpilleurs et les sous-marins.

Les aciers au molybdène possèdent une charge de rupture, une résistance au choc et une limite d'élasticité d'autant plus forte que la teneur en molybdène est plus grande. La trempe a une action beaucoup plus énergique sur les aciers au molybdène que sur les aciers au carbone.

Le ferro-vanadium obtenu par les procédés Girod contient environ 50 0/0 de vanadium et 0,5 0/0 de carbone. On est dans la nécessité d'ajouter une grande quantité de fer au vanadium pur préalablement obtenu, pour que l'alliage entre facilement en fusion dans le creuset ou dans le four Martin, le vanadium pur ne pouvant être fondu que par l'arc électrique ou par le procédé alumino-thermique.

Le vanadium donne aux aciers une très grande résistance à la rupture, un allongement important et une grande perméabilité magnétique. De même, ce métal améliore considérablement les qualités des fers fins et des fers de construction : une addition de 0,2 à 0,3 0/0 de vanadium augmente de 40 à 50 0/0 la résistance du fer sans en diminuer l'allongement. L'addition d'une plus grande proportion de vanadium permet d'obtenir des fers que l'on pourrait classer parmi les aciers, mais qui, néanmoins, possèdent encore la propriété principale du fer, c'est-à-dire de pouvoir être pliés et tordus sans casser, avec une résistance à la rupture atteignant 90 kg : mm² et un allongement de 18 0/0.

Le ferro-titane est employé, en faible proportion, dans la fabrication des aciers à outils, ainsi que dans celle de bandages en fonte de fer moulée et en acier coulé. Cet alliage contient 50 à 55 0/0 de titane.

Les qualités de ferro-silicium produites par les procédés Girod sont caractérisées par leur pureté et par la richesse des alliages que le four électrique permet seul d'obtenir. Cet alliage facilite la fabrication des aciers doux à haute teneur en silicium, ce qui est particulièrement avantageux pour la fabrication des tôles.

Compagnie électrothermique Keller, Leleux et Cie de Paris. — Cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Compagnie exposait dans son stand des échantillons de ferro-silicium de diverses teneurs, contenant de 25 à 75 0/0 de silicium, des échantillons de silico-spiegel, de ferro-chrome et de ferro-tungstène.

M. Gustave Gin de Paris. — En 1900, on avait pu voir à l'Exposition de Paris des échantillons de vanadium, déposés par voie électrolytique, d'après le procédé Cowper Coles. En 1905, M. Gustave Gin a pu produire du vanadium et des alliages de cuivre et de vanadium par un procédé nouvellement breveté dont nous résumons ci-après les principaux caractères.

Le principe du procédé Gin repose sur la grande conductibilité du trioxyde de vanadium et sur la facilité avec laquelle on obtient du trifluorure de vanadium en attaquant le trioxyde par le fluor en présence du carbone.

Pour montrer comment on peut utiliser ces propriétés, supposons que l'on électrolyse du sesquifluorure de fer, en solution dans le fluorure de calcium fondu, en faisant usage d'une anode formée par un mélange intimement aggloméré de trioxyde de vanadium et de carbone, la cathode étant constituée par un bain de fer métallique. Le fluorure ferrique étant décomposé par le courant, le fluor dégagé au contact de l'anode attaque le trioxyde de vanadium qui cède son oxygène au carbone, tandis qu'il se forme du trifluorure de vanadium; celui-ci entre en dissolution dans le fluorure de calcium et s'électrolyse à son tour. Le vanadium mis en liberté se combine avec le fer métallique constituant la cathode, et le fluor, libéré à l'anode, forme une nouvelle quantité de fluorure de vanadium qui s'électrolyse de nouveau. Il en résulte que le fluorure ferrique primitif ne sert qu'à amorcer l'opération et à fournir le fluor qui servira d'agent de transport pour faire passer le vanadium de l'anode à la cathode.

Ceci posé, M. Gin opère de la manière suivante :

Le trioxyde de vanadium, étant préparé par le procédé connu qui consiste à calciner l'acide vanadique en présence du carbone, on le mélange avec une proportion convenable de charbon de cornue finement pulvérisé, puis additionné de goudron chaud en quantité suffisante pour obtenir par malaxage une pâte bien agglomérée et plastique. Cette pâte passe ensuite dans un moulin où elle est écrasée par des meules d'acier pesantes, puis elle est pilonnée et étirée dans des filières par pression hydraulique. On obtient finalement des masses prismatiques ou cylindriques qui sont cuites à l'abri du contact de l'air dans des fours à haute température. Les électrodes ainsi fabriquées doivent être conservées, jusqu'à leur emploi, à l'abri de l'air et de l'humidité.

L'anode du four employé est constituée par un faisceau des électrodes ci-dessus décrites; la cathode est un bloc d'acier. Mais il convient d'adop-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ter certaines dispositions imposées par la haute température de fusion du vanadium et des alliages qui le contiennent en quantité notable.

Pour les alliages à plus de 25 0/0 de vanadium, la section cathodique doit être inférieure à la surface active des anodes. On atteint un bon rendement avec une densité moyenne de 2 ampères par cm² de surface active des anodes et de 6 ampères par cm² de section de la cathode; la tension de régime est comprise entre 11 et 12 volts.

Comme on l'a dit, le fluorure ferrique introduit dans le bain ne sert qu'à amorcer la dissolution de l'anode et l'électrolyse du vanadium. Cependant, étant donné qu'il se perd une quantité de fluor, transformé en tétrafluorure de carbone gazeux au contact du carbone en excès dans le mélange constituant l'anode, il convient, pour compenser cette perte, d'ajouter au bain, de temps à autre, une certaine proportion de fluorure ferrique.

Le fer constituant le bain est introduit à l'état métallique, par petites quantités à la fois, après chaque coulée de ferro-vanadium. Si l'on n'introduit pas de fer dans le bain, on peut obtenir du vanadium à peu près pur, mais dont la coulée est extrêmement pénible et que l'on doit extraire du four à l'état solide.

Pour obtenir, par ce procédé, la fabrication industrielle des alliages du vanadium avec d'autres métaux, il suffit de remplacer le bain cathodique de fer par un bain du métal qui doit intervenir dans la composition de l'alliage.

La Néo-métallurgie de Paris. — Cette Société a été la première à transporter dans le domaine industriel les nouveaux procédés métallurgiques qui ont pris naissance dans le laboratoire du professeur Moissan.

Dans son usine de Rochefort-sur-Mayenne elle fabrique industriellement des produits exempts de carbone et sensiblement purs.

Parmi les nombreux produits exposés, au nombre de 32, nous citerons comme l'un des plus intéressants, le ferro-chrome affiné, ne contenant que 0,5 0/0 de carbone et dont la consommation se développe de plus en plus, par suite des propriétés spéciales qu'il possède et qui résultent de sa pureté exceptionnelle.

Il convient également de citer le molybdène pur, fondu et affiné, ne contenant que moins de 1 0/0 de carbone; deux nouveaux alliages, exempts de fer, destinés à remplacer le ferro-silicium et le ferro-manganèse, utilisés en métallurgie pour l'affinage des fers et des aciers, qui sont : l'un, le mangano-silicium contenant 75 0/0 de manganèse, 25 0/0 de silicium et 0,5 0/0 de carbone; l'autre, le mangano-silicure d'aluminium, contenant 45 0/0 de manganèse, 35 0/0 de silicium, 20 0/0 d'aluminium et moins de 0,2 0/0 de carbone.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Indépendamment de ces nouveaux produits, on voyait dans le stand de cette Société toute une série d'alliages de chrome, de tungstène, de molybdène, de titane et de nickel, ainsi que des métaux purs fondus : chrome, tungstène, molybdène, titane, manganèse, etc.

Pour satisfaire aux nombreuses demandes de ces alliages spéciaux, la Néo-métallurgie vient de traiter avec la Société électrochimique du Giffre dont l'usine de Saint-Jeoire (Haute-Savoie) fabrique déjà du carbure de calcium et du ferro-silicium et qui procède maintenant, en compte commun avec la Néo-métallurgie, à la fabrication des produits de cette dernière.

Société électrométallurgique française de Froges (Isère). — Cette Société exploite à Froges la première usine électrométallurgique installée en France pour la fabrication de l'aluminium, du silicium, etc. Le centre principal de cette fabrication est aujourd'hui à l'usine de la Praz (Savoie). Elle exposait de l'alumine pure, de l'aluminium en lingots, en barres, en feuilles et en fils, obtenus d'après le procédé Héroult.

Dans sa nouvelle usine de Saint-Michel-de-Maurienne, elle fabrique au four électrique Héroult des alliages tels que le ferro-chrome, le ferro-silicium et y produit également des aciers et des fers.

Cette Société présentait également dans son stand des échantillons de ferro-chrome à 50 et 70 0/0 de chrome ; de ferro-silicium, à 20, 25, 40 et 50 0/0 de silicium ; de ferro-nickel, à 40 0/0 de nickel, 2 0/0 de carbone et moins de 2 0/0 de silicium ; de ferro-tungstène, à 30 0/0 de tungstène et, enfin, des mattes de cuivre à 40 0/0.

Affinage des métaux. — La Société de l'usine électrolytique J. K. Nicolaeff de Moscou présentait une série d'échantillons de métaux affinés et de sels obtenus dans ses ateliers en traitant des déchets métalliques ou des lingots de métaux bruts.

Cette usine produit annuellement :

500 tonnes de cuivre électrolytique,
115 tonnes de cuivre de fusion en lingots,
200 tonnes de bronzes et alliages phosphoreux,
800 tonnes d'alliages divers,
320 tonnes de tubes et autres produits en plomb,
1 tonne de plomb,
0,04 tonne d'or,
320 tonnes de sulfate de cuivre,
240 tonnes de sulfate de fer,
10 tonnes de produits chimiques divers.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SIXIÈME PARTIE

APPLICATIONS THERMIQUES

CHAPITRE I

FOURS ÉLECTROTHERMIQUES

Haut fourneau Keller. — La Compagnie électrothermique Keller, Leleux et Cie, de Paris, avait exposé dans son stand un modèle de haut fourneau à cuves multiples pour la réduction des minerais de fer. Ce haut fourneau (*fig.* 154) comporte quatre cuves réunies par leur partie inférieure à un creuset central par lequel se ferme le circuit et où se rend la fonte provenant de la réduction du minerai effectuée dans chacune des cuves. Ce haut fourneau est à fonctionnement continu.

Les électrodes en charbon, qui plongent dans le mélange de minerai et de charbon, sont groupées par deux en parallèle, et les deux groupes de deux électrodes sont montés en série. Pendant le remplacement d'une électrode, le courant passe par l'autre. En cas de rupture du circuit par suite d'évacuation de la fonte du creuset central, on a disposé, sur les soles des cuves, des barres conductrices par lesquelles le circuit peut momentanément se fermer.

La sole du four est constituée comme celle des fours Martin. La chambre de fusion est surmontée d'une cuve en maçonnerie contenant le minerai, le charbon de réduction et les fondants, matières que l'on introduit par le gueulard. Les quatre foyers sont réglés séparément.

La réduction du métal et la fusion commencent à s'effectuer sur la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sole et, après quelque temps de fonctionnement, l'oxyde de carbone et le minerai contenus dans la partie supérieure de la cuve sont suffisam-

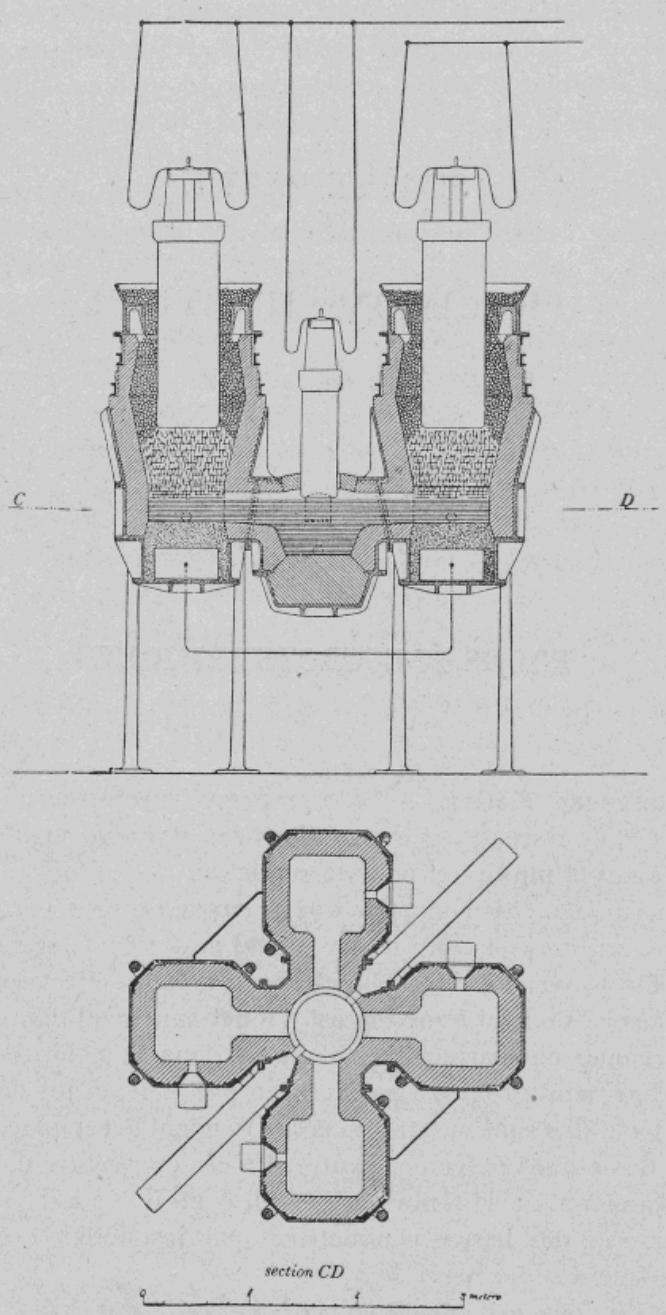


Fig. 154. — Haut fourneau électrique Keller à quatre capacités.

ment chauds pour que la réaction commence à se produire. Dès lors, la réduction du minerai s'opère non seulement dans la partie inférieure,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

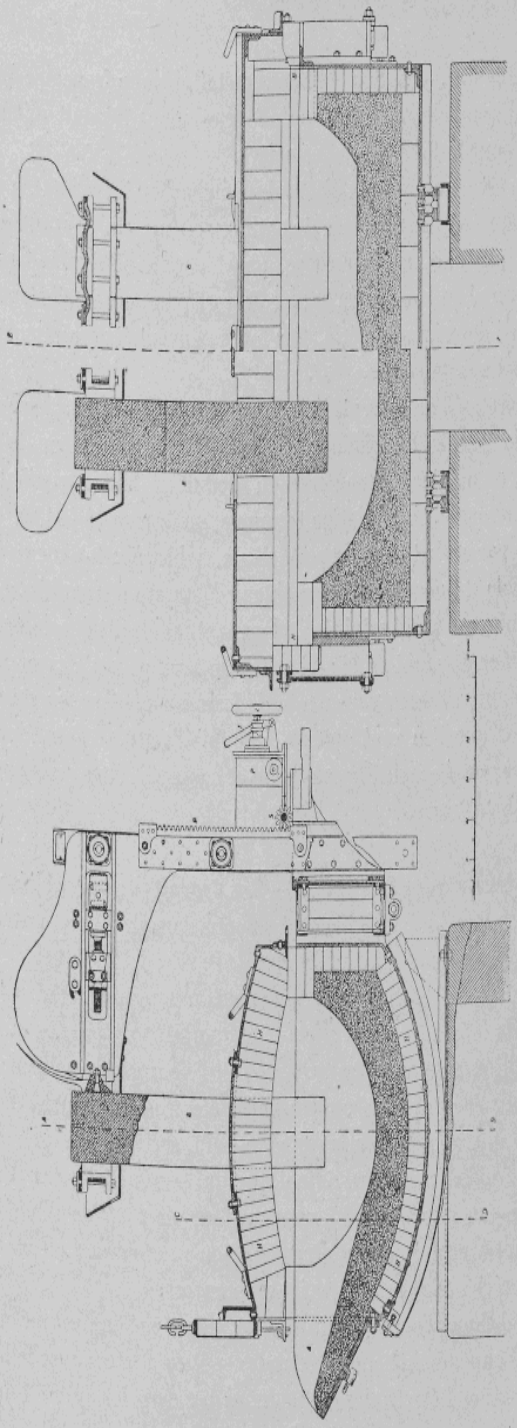


Fig. 155. — Four oscillant Héroult.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

c'est-à-dire dans la zone de fusion, mais encore dans toute la hauteur de la cuve tenue toujours pleine de matières.

Four Héroult. — La Société électrométallurgique française de Froges exposait un modèle en réduction du four oscillant Héroult qu'elle utilise (*fig.* 155) pour la fabrication des aciers.

Ce four est muni de deux électrodes en charbon traversant la voûte. Il est alimenté soit par du courant continu, soit par du courant alternatif qui entre par une des électrodes, passe par le bain métallique après avoir traversé la couche de laitier et sort par l'autre électrode. Il se forme ainsi deux arcs en série. Ces fours peuvent être munis de revêtements basiques ou acides.

Les opérations se suivent de la manière suivante : on charge le four avec de la fonte et des riblons; après la fusion, on évacue le premier laitier et, en ajoutant du minerai, on produit un laitier oxydant qui décarbure la masse. L'oxydation terminée, on évacue ce laitier, et on le remplace par un laitier approprié (chaux, sable, spath-fluor) autant de fois que cela est nécessaire pour obtenir l'épuration complète. On recarbure ensuite au degré voulu en plongeant les électrodes dans le métal liquide ou en ajoutant de la carburite. On termine par des additions de ferro-silicium, de ferro-chrome ou de ferro-manganèse, suivant la qualité d'acier que l'on veut obtenir. Une fois l'acier au point, le four est basculé par un dispositif hydraulique et coulé soit dans une poche, soit dans des lingotières.

Fours électriques P. Girod. — Les produits de la Société anonyme électrométallurgique d'Ugine sont obtenus dans des fours à arcs et dans des fours à résistances, inventés par M. P. Girod.

Le four à arc garni des revêtements appropriés convient parfaitement à la fabrication de l'acier. Il comporte (*fig.* 156) une cuve circulaire en briques de magnésie avec couvercle en briques siliceuses à travers lequel passent une ou plusieurs électrodes amenant le courant alternatif qui, après avoir traversé le bain, arrive à des pièces d'acier moulé, refroidies par circulation d'eau, qui servent à fermer le circuit. Ces pièces, au nombre de 14, pour un four de 2 m de diamètre, correspondent avec des canaux arrivant jusqu'au creuset. Le four est placé sur un berceau afin de faciliter les manœuvres.

Pour fabriquer l'acier, on utilise des riblons mélangés avec un peu de fonte de bonne qualité. Les électrodes sont en contact avec le laitier. La consommation d'électrodes est moindre que dans les autres fours à arc, vu qu'elles ne constituent que l'un des pôles ; d'autre part, la distribution de la chaleur dans le four est beaucoup plus uniforme.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour la fabrication de l'acier au creuset, on étudie et on essaye actuellement un four à résistances sans électrodes, constitué par une série de compartiments dans lesquels sont disposés les creusets à chauffer

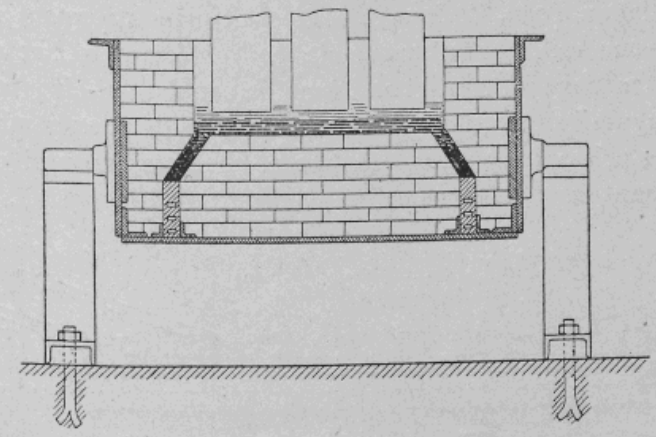


Fig. 156. — Four oscillant Girod.

(*fig.* 157). Entre ces compartiments on tasse un mélange conducteur de charbon et de silice qui s'échauffe sous l'action du passage du courant. Les conducteurs ainsi formés, auxquels le courant est amené par des

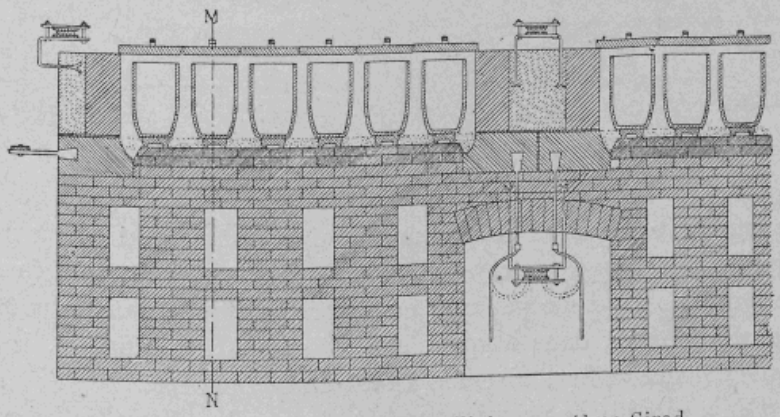


Fig. 157. — Four à résistances auxiliaires, système Girod.

pièces de graphite, peuvent être groupés en série ou en parallèle. A Ugine, on n'utilise que le montage en série qui produit un chauffage plus régulier. La nature des matériaux formant les parois des compartiments ne permet pas de dépasser 1 400 à 1 500°. Pour atteindre de plus hautes températures, M. Girod a imaginé un dispositif spécial consistant à placer des résistances au fond des compartiments ; ces résistances par leur échauffement permettent d'atteindre plus de 2 000°.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fours électriques Gustave Gin, de Paris. — Le premier four de M. Gustave Gin, destiné à la fabrication de l'acier, date de 1904. Nous rappellerons seulement à ce sujet que les électrodes en charbon sont supprimées et remplacées par des électrodes en fer refroidies au moyen d'une circulation d'eau. Ce four se composait principalement d'un chariot mobile sur rail, portant une sole en matériaux réfractaires dans laquelle est ménagé un creuset en forme de canal semi-circulaire à section rectangulaire et à parcours sinueux. Les deux extrémités aboutissent à des prises de courant, constituées chacune par un bloc d'acier et se terminant par une borne reliée au circuit d'alimentation.

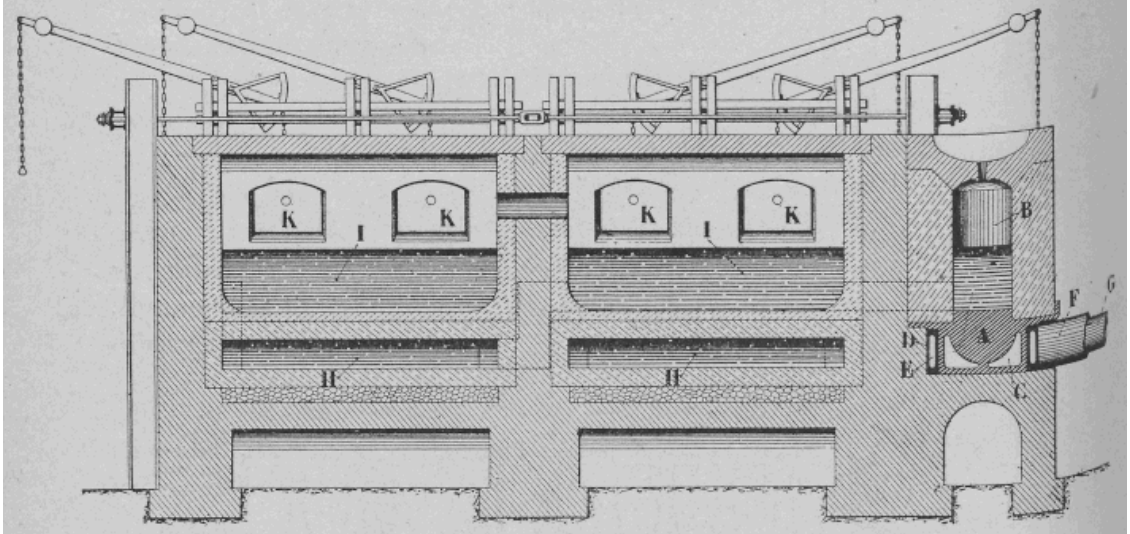


Fig. 158. — Four électrique G. Gin, coupe et élévation.

Le chariot est poussé dans une chambre voûtée destinée à réduire l'émission calorifique par rayonnement ; puis, le circuit étant fermé, la fonte liquide est versée par une ouverture pratiquée dans la voûte sur les canaux sinueux dans lesquels elle s'étend. Après affinage, le métal s'écoule par des orifices disposés à l'extrémité opposée.

M. Gin a modifié ce premier modèle de manière à régler les coulées et l'alimentation de la fonte brute et à réaliser ainsi un fonctionnement continu, tout en maintenant la température nécessaire aux réactions à effectuer.

Il supprime à cet effet le roulage du chariot. Le four est fixe et comprend des cuvettes distinctes, mais communiquant entre elles et avec les prises de courant par les canaux de chauffage. Lorsque le métal ou l'alliage est à la composition prévue, on effectue une coulée, et le métal liquide remplissant les diverses parties du four se met en mouvement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vers l'orifice de coulée, de telle sorte que le volume enlevé à la dernière cuvette est remplacé par un égal volume du métal chauffé dans le canal y aboutissant. De même, une partie du métal de l'avant-dernière cuvette vient remplir le canal de chauffage qui y fait suite et se trouve remplacé par le métal chaud provenant du canal de chauffage antérieur, et ainsi de suite, de proche en proche, jusqu'à la prise de courant où l'on introduit une quantité de fonte liquide équivalente à celle du métal coulé. En

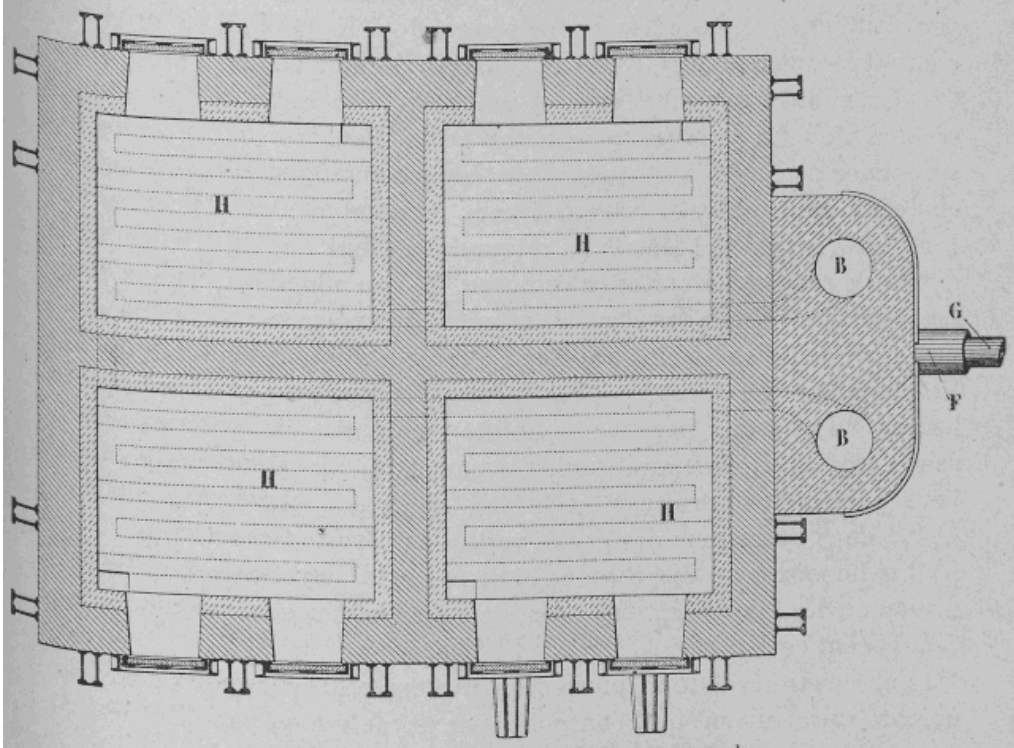


FIG. 159. — Four électrique G. Gin, coupe en plan.

donnant aux cuvettes et aux canaux des dimensions convenables et en réglant les coulées et l'alimentation de fonte brute, on réalise un fonctionnement continu.

Si on examine les figures 158 et 159, qui représentent en coupe et en plan un four Gin calculé pour une puissance de 7200 kw en utilisant un courant de 60 000 ampères sous 120 volts, nous voyons que les prises de courant sont constituées par un bloc d'acier doux A formant le fond et soutenant les parois des cuvettes B.

Le bloc A est creusé d'une cavité périphérique C dans laquelle circule un courant d'eau de refroidissement qui agit de manière à faire croître ce refroidissement du centre vers la circonférence de la cuvette. Cette disposition est très importante pour la conservation de la prise de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

courant. En effet, il se produit un transport de calories allant du bain chauffé par l'effet Joule au bloc d'acier solide refroidi par l'eau. Cette fuite thermique refroidit le métal liquide et échauffe le métal solide de telle sorte que cette zone de transition entre les phases liquide et solide de la prise de courant peut se déplacer plus ou moins, si elle n'était absolument limitée par le mode de refroidissement.

Un autre perfectionnement de ces prises de courant consiste dans l'application du principe bien connu des canalisations concentriques, pour l'atténuation des effets de self-induction. A cet effet, les prises de courant en acier sont frettées à chaud avec des manchons D en bronze. On obtient ainsi une adhérence et un contact électrique parfait sans le secours d'aucun serrage mécanique; toute dilatation de la frette est supprimée par un refroidissement de l'espace annulaire E. Les prises de contact D sont reliées directement avec les conducteurs concentriques F et G qui servent à l'aller et au retour du courant.

Afin de réduire les pertes calorifiques, M. Gin a logé les canaux dans les parois mêmes des cuvettes, de manière à condenser l'ensemble dans un espace le plus restreint possible. Cette disposition présente un double avantage, car les canaux repliés forment un réseau qui enveloppe le bain et lui transmet par conductibilité une partie des calories nécessaires aux réactions épuratrices. Les canaux H sont donc repliés dans l'épaisseur du fond des cuvettes I, bien qu'ils puissent également être placés dans l'épaisseur des parois verticales séparant ces cuvettes. On peut enfin varier ces dispositions et disposer les cuvettes soit au même niveau ou les étager en cascades, de manière à réaliser toujours un écoulement continu.

Pour constituer le four, plusieurs cuvettes sont nécessaires, et leur nombre varie suivant que l'on opère par oxydation ou par dilution. Si l'on emploie cette dernière méthode, on doit installer au moins cinq cuvettes successives avec réchauffages intermédiaires; avec la méthode de dilution, quatre cuvettes suffisent, et l'on peut réserver les trois premières aux éliminations épuratrices et la dernière à la recarburation, au degré que comporte la qualité d'acier à obtenir. La séparation des opérations permet d'employer dans chaque cuvette le garnissage le mieux approprié. En outre, les soles sont toujours protégées par une couche de métal et ne sont plus attaquées à la fin des coulées par les scories non évacuées.

On voit, sur la figure 158, que chaque cuvette est munie d'une porte k pour l'introduction des matières; des trous de coulées correspondants permettent l'enlèvement des scories et l'évacuation du métal. Bien que ce four soit plutôt réservé à la seule transformation de la fonte en acier, M. Gin considère le haut fourneau ordinaire comme un outil merveil-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leux qu'il est difficile de remplacer par le four électrique, mais il faut remarquer que ce four à canaux et à cuvettes se prête également bien à la production de l'acier par traitement direct des minerais, par simple extension de la méthode d'oxydation.

En effet, si dans les cuvettes on place du minerai de fer en contact avec la fonte en fusion, le carbone de la fonte est rapidement brûlé par l'oxygène du minerai, et la décarburation du métal s'effectue en même temps que s'opère la réduction du minerai. Cette réduction est nécessairement limitée par la teneur en carbone de la fonte, mais on conçoit que, si l'on remplace le carbone au fur et à mesure qu'il disparaît du métal en fusion, la réduction se continuera tant que le bain conservera une température suffisante pour fournir les calories nécessaires aux réactions chimiques. Il suffit donc de projeter à la surface du bain un mélange à proportions convenables de minerai et de coke, pour que ce minerai soit rapidement réduit et fournisse un métal plus ou moins carburé, que l'on affine dans un four distinct en employant, pour cet affinage, une nouvelle quantité de minerai qui ajoute son contingent de métal à celui qui a été fourni par les premières additions de minerai mélangé de carbone.

Cette manière d'opérer a été proposée pour les procédés Imperatori et Leckie, mais M. Gin fait remarquer que, dans ces procédés, le minerai devait être aggloméré en briquettes, afin de forcer le carbone à s'enfoncer dans le bain, grâce au poids du minerai, et de l'empêcher ainsi de flotter à la surface où il aurait été brûlé par les gaz de chauffage. Or dans le four électrique cette agglomération est inutile, et l'on peut sans inconvénient laisser flotter le carbone.

La fabrication électrique est donc tout indiquée pour les minerais pulvérulents traités par les séparateurs magnétiques; on bénéficiera ainsi de tous les avantages du four Martin, mais avec le concours d'une forme d'énergie incomparablement plus souple et plus maniable que la chaleur des gaz du récupérateur Siemens.

Dans le four Gin, la division des opérations permet, en outre, un contrôle plus complet et plus facile, et l'on peut obtenir toutes les qualités d'acier avec une précision absolue.

En dehors de la fabrication de l'acier, le four Gin peut encore servir à la production des métaux exempts de carbone, tels que le manganèse, le chrome, le nickel, etc. Il suffit, en effet, de traiter les carbures ou siliciures par l'oxyde du métal à obtenir.

Bien que M. Gustave Gin ait prévu, dans la disposition de son second modèle de four électrique, la réduction du minerai en même temps que l'affinage, on devine aisément que, d'après lui, le rôle de l'énergie électrique doit être limité dans presque tous les cas à la transformation de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la fonte en acier. Comme il l'a fait remarquer d'ailleurs au Congrès international de la métallurgie à Liège, en juillet 1905 : « Le rôle si élastique de l'énergie électrique peut se borner à la mise à la nuance d'un acier presque élaboré dans les appareils connus ou aller jusqu'à la fabrication intégrale en partant du minerai pour aboutir à un acier de composition quelconque. Entre ces deux limites, le four électrique peut parcourir toute la gamme des opérations productrices de l'acier et des

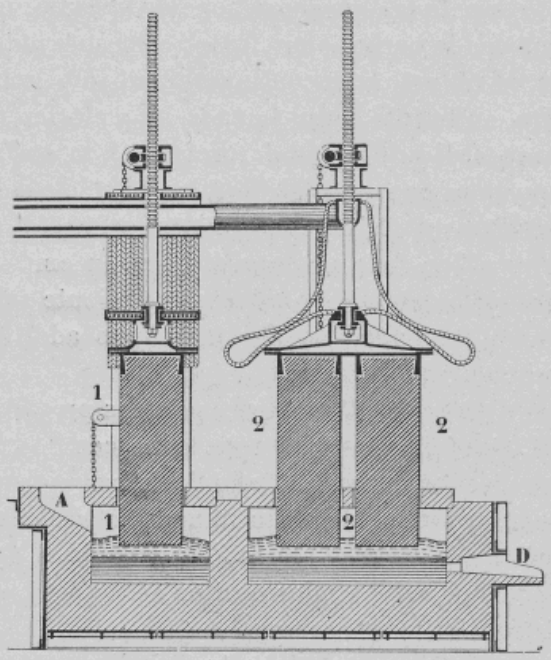


Fig. 160. — Four G. Gin.

considérations économiques seules peuvent étendre ou restreindre son champ d'action. »

Le troisième modèle de four Gin est spécialement étudié pour la fabrication des aciers ; dans ce modèle, M. Gin a voulu obtenir une réalisation simultanée et ininterrompue des opérations qui concourent à cette fabrication : fusion, oxydation des impuretés, réduction de l'oxyde de fer dissous, recarburation ou introduction des éléments constitutifs de l'acier final.

En examinant la figure 160, nous verrons que ce four est composé principalement de trois compartiments communiquant en série et dans lesquels la masse d'acier chemine dans un ordre prévu; à savoir : un creuset de fusion et d'épuration oxydante 1, un compartiment de désoxydation et recarburation 2 et, enfin, une chambre 3 de mise à la nuance ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cette dernière est située en arrière du deuxième compartiment et ne peut être vue sur la figure.

Les électrodes métalliques du premier compartiment sont reliées à l'une des bornes de la source d'énergie et les électrodes des deux autres sont réunies en parallèle avec l'autre borne.

Les bains de métal communiquent entre eux par des ouvertures de section suffisamment réduite pour que, en raison de l'effet Joule, le métal ne puisse en aucun cas rester ou devenir solide.

Le courant passe donc des électrodes au métal à travers une nappe de scories formant une résistance superficielle, siège de l'action calorifique. Il traverse ainsi en totalité le compartiment d'oxydation dont la scorie est oxydante et se distribue en parallèle dans les deux autres, dont la scorie est neutre et peu réductible.

En effet, le garnissage des compartiments est approprié à leur fonction. La sole et les parois du compartiment **1** sont, dans la partie occupée en permanence par le métal, construits en matériaux basiques ou acides, suivant que le métal à affiner est ou non phosphoreux, mais la partie en contact avec les scories doit être neutre, en chromite de fer par exemple. Pour les compartiments **2** et **3**, on emploie de préférence la magnésie pour la sole et les surfaces non touchées par les scories.

Pour mettre le four en marche, on introduit par l'orifice A de la fonte ou de l'acier liquide qui se répartit dans les trois compartiments; on peut encore étaler des ferrailles sur les soles ou placer des morceaux de fer dans les ouvertures de communication. On amorce ensuite un arc et l'on introduit peu à peu les matières qui fourniront après fusion les bains superficiels dans lesquels se produit l'effet Joule.

Le bain oxydant du compartiment **1** est constitué par du minerai ou une scorie riche en oxyde de fer, additionnée de chaux si le métal à affiner est phosphoreux. Les bains des compartiments **2** et **3** sont neutres et peu réductibles par le carbone. On obtient de bons résultats avec les aluminates de chaux et de magnésie; l'addition de fluorure de calcium les rend plus fusibles.

Le fonctionnement s'opère de la manière suivante. Dans le compartiment d'oxydation, la zone de chauffage la plus intense se trouve naturellement voisine de la surface de contact du métal et de la scorie, et c'est en cette région que se produit la réduction des oxydes aux dépens du silicium, du manganèse et du carbone du bain métallique. Ces réactions sont plus ou moins vives selon la proportion d'oxydes réductibles; le mouvement tourbillonnaire qui se produit brasse le métal et facilite l'oxydation en renouvelant les surfaces de contact.

Le métal affiné dans le creuset **1** passe ensuite dans le deuxième com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

partiment où s'effectue la réduction de l'oxyde ferreux dissous et la recarburation du métal. Ces deux opérations sont réalisées par la présence du carbone introduit à l'état de coke, de fer ou de fonte spéciale, cette dernière étant de préférence préparée dans un four électrique distinct et versée à l'état liquide.

Le réglage de la recarburation et les incorporations exigées par la nature de l'acier final s'obtiennent dans le compartiment **3** où l'on prélève des éprouvettes dont l'essai permet d'apprécier la nuance et indique les additions à faire pour corriger ces imperfections.

Le chargement des matières solides et l'expulsion des scories en excès s'effectuent par des portes disposées en avant du four, tandis que la coulée de l'acier s'opère par l'orifice D placé à une certaine hauteur au-dessus de la sole.

Pour couler, on descend les électrodes **3** et on les immerge dans le bain métallique en même temps que l'on remonte les électrodes **1** pour maintenir la tension du régime. Pendant la coulée, on augmente l'immersion des électrodes **3** de manière que le niveau du métal au-dessus de l'orifice de coulée reste constant. Dès que ces électrodes touchent le fond du creuset, le niveau du métal s'abaisse jusqu'à ce que la scorie apparaisse dans le jet d'écoulement que l'on arrête.

Il résulte de cette suite d'opérations que l'immersion des électrodes supprime toute différence de niveau entre les compartiments **2** et **3**, qu'en conséquence les métaux à des phases différentes d'affinage ne peuvent se mélanger et que la coulée donne uniquement le métal affiné à fond et à la nuance prévue.

Après la coulée on relève les électrodes **3**, et l'on immerge les électrodes **1**; une partie du métal oxydé passe du premier compartiment dans le deuxième pendant que l'acier carburé du deuxième pénètre dans le troisième. On ramène ainsi les niveaux à leur hauteur normale, car les électrodes **1** immergées tiennent simplement la place de l'acier qui vient d'être évacué.

Si donc, à ce moment, on coule de la fonte brute ou de l'acier incomplètement affiné dans le compartiment **1** en relevant les électrodes **1**, le métal introduit vient remplir l'espace abandonné, mais sans pouvoir pénétrer directement dans le deuxième compartiment, puisqu'il n'y a pas de dénivellation.

Les opérations restent ainsi parfaitement distinctes et indépendantes, tout en se succédant d'une manière continue, d'autant plus que les matières conservent sensiblement la température de réduction, la capacité des compartiments étant telle que chaque coulée ne représente qu'une fraction du métal présent; le reste joue le rôle de volant thermique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin, on doit remarquer que le métal oxydé dans le premier compartiment passe dans le deuxième sans emporter avec lui la moindre trace de scorie, ce qui supprime toute incorporation nouvelle d'impuretés.

Dispositif de manœuvre électrique des électrodes dans les fours électriques. — La Société Force-Éclairage de Bruxelles exposait, dans son stand, un dispositif de manœuvre d'électrodes pour fours électriques, dans lequel on utilise des électro-aimants du système Guénée. L'appareil comporte deux électro-aimants provoquant alternativement la montée ou la descente des électrodes dans le four, opération qui s'effectue automatiquement sous l'action d'un voltmètre agissant par l'intermédiaire d'un relais.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II

APPAREILS DE CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE

Fer à souder, système Berlingin-Gratacap. — Ce fer, exposé par M. Berlingin de Penchot (Aveyron), est principalement destiné à la confection des soudures industrielles du zinc et du fer-blanc.

Il se compose (*fig.* 161) d'une pièce *a* percée d'un trou fileté dans lequel rentre le porte-charbon *b*. Cette pièce *a* porte une queue reliée au conducteur négatif par l'intermédiaire d'une tige en cuivre *h* traversant le manche *j* du fer à souder. Une pièce *d*, garnie intérieurement d'amiante, est séparée de la pièce *a* par un carton isolant ; elle reçoit le cuivre soudeur *f* et se trouve reliée au conducteur positif par une tige en cuivre *i* traversant le manche.

Les deux pièces *a* et *d* sont réunies par de petits boulons et isolées au mica. Le contact entre la pièce *a* et le porte-charbon *b* est obtenu par une vis *m* appuyant sur un peigne *n*, fileté au même pas que le porte-charbon. Le cuivre soudeur *f* est relié à la pièce *d* par trois vis *g* traversant la fourrure en amiante.

Un rhéostat permet de régler la température et une sonnerie, commandée par un petit électro monté en dérivation sur le circuit et aux deux extrémités d'une faible résistance, prévient le soudeur en cas d'extinction de l'arc.

Pour régler ce fer à souder, on intercale d'abord toute la résistance du rhéostat dans le circuit ; on amène ensuite le charbon au contact du cuivre, puis on desserre le porte-charbon jusqu'à ce que l'arc jaillisse. On règle alors la température, suivant l'épaisseur du métal à souder, en faisant varier la résistance du rhéostat.

Pour obtenir un bon fonctionnement, la tension ne doit pas dépasser 30 volts.

Chauffe et travail électrique des métaux, système Paul Hoho. — Dans un pavillon situé dans les jardins de l'Exposition, M. Hoho faisait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des expériences démontrant son procédé de chauffe et de travail électrique des métaux. Ce procédé consiste à électrolyser une solution alcaline ou acide entre une anode de plomb de grande surface et une

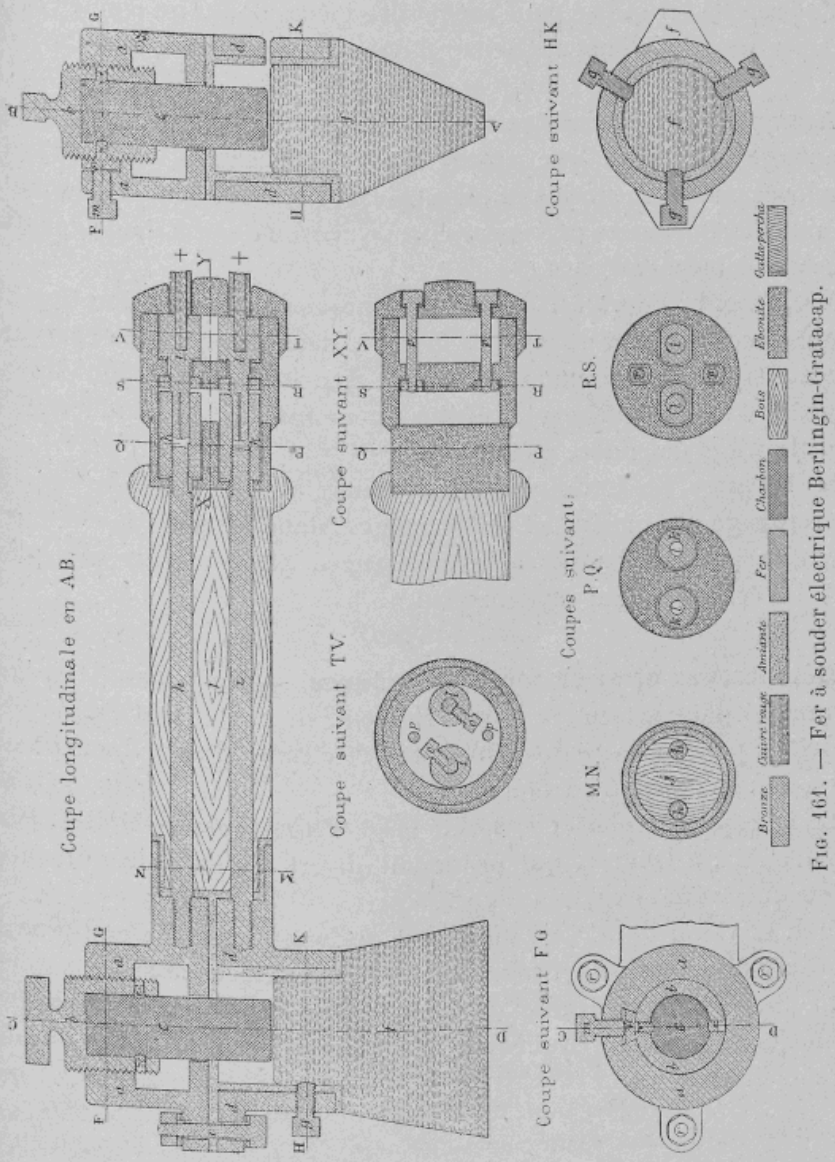


Fig. 161. — Fer à souder électrique Berlingin-Gratacap.

cathode métallique de surface restreinte constituée par le métal à travailler. L'énergie électrique est appliquée sous forme de courant continu à une tension pouvant varier de 100 à 250 volts, suivant la température que l'on veut obtenir. Sous l'action du courant, la cathode est entourée d'une gaine gazeuse d'hydrogène, traversée par une sorte d'arc

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

voltaïque qui amène très rapidement le métal au rouge, au blanc et même à la fusion. Le métal ainsi chauffé au contact de l'hydrogène naissant est protégé de l'oxydation et, si sa surface est déjà oxydée, ramené à l'état métallique, c'est-à-dire parfaitement décapé.

Ce procédé est utilisé pour souder des pièces de fer ou d'acier et pour tremper superficiellement l'acier ; il donne d'excellents résultats.

Appareils de chauffage. — M. Adnet, de Paris, a appliqué le chauffage électrique aux appareils de stérilisation, aujourd'hui si employés par les médecins et chirurgiens. Le chauffage est obtenu soit à l'aide de résistances parcourues par le courant, soit à l'aide de lampes spéciales à incandescence.

MM. A. et L. Parvillée, de Paris, exposaient des chaufferettes électriques pour chemins de fer et tramways, dans lesquelles la chaleur est due au passage du courant dans des résistances de composition spéciale formées d'une pâte réfractaire plus ou moins rendue conductrice par incorporation de poudre métallique.

M. Dutertre, de Levallois-Perret (Seine), avait exposé des appareils de rôtissage, de cuisine et de chauffage, dans lesquels la chaleur est produite par des lampes à incandescence placées sous une plaque qu'elles échauffent par rayonnement.

Détonateurs et exploseurs électriques. — Ces appareils spéciaux figuraient dans la section belge. Ils sont, du reste, très employés en Belgique pour le tirage des mines par l'électricité. Parmi les exposants, il y a lieu de citer les suivants :

La fabrique d'explosifs de sûreté et de détonateurs de MM. E. Ghinijonet et Cie, à Ougrée, qui présentait divers modèles de détonateurs électriques et des exploseurs portatifs ;

MM. E. Gérard et Cie, de Liège, qui avaient dans leur stand plusieurs types d'exploseurs pour tirage des mines par l'électricité ;

La Société de dynamite de Matagne-la-Grande et la Société des explosifs de Clermon, Muller et Cie, de Liège, qui exposaient des détonateurs électriques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III

LAMPES ÉLECTRIQUES

Actuellement les lampes électriques peuvent être rangées en trois catégories :

1° Lampes à arc ;
2° Lampes à incandescence ;
3° Lampes spéciales.

LAMPES A ARC

Les lampes à arc ont été l'objet, depuis quelques années, de notables perfectionnements, et l'on a principalement cherché à augmenter leur intensité lumineuse pour la même dépense d'énergie.

Lampes différentielles, système L. Bardon. — Parmi les nombreux types de lampes à arc exposés par M. L. Bardon de Clichy (Seine) deux nouveaux modèles ont attiré l'attention.

Lampe différentielle a recul automatique sans mécanisme. — Grâce à la disposition ingénieuse de ses organes, cette lampe peut, sans autre modification que le remplacement des bobines, fonctionner indifféremment avec du courant continu ou avec du courant alternatif. Cette lampe est aussi caractérisée par la suppression complète du collage et du pompage, par un réglage invariable et par la simplicité et le petit nombre des organes qui la constituent, permettant ainsi de supprimer tout entretien en dehors des soins ordinaires de nettoyage.

Le mécanisme est disposé dans une cage réellement indéformable, qualité plus souvent négligée qu'on ne le croit, et dont l'importance, au point de vue des réglages futurs, est primordiale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les figures 162 et 163 nous permettront d'expliquer la constitution de la lampe.

Mouvement de défilage. — Le porte-charbon supérieur a, convenablement lesté, est moteur, son poids tendant constamment à rapproche les charbons jusqu'au contact. Il est relié à la pièce de guidage b' du porte-charbon inférieur, par une cordelette $a'g'$ passant dans la gorge d'une poulie g calée sur un axe horizontal h. La gorge est molettée de manière que la cordelette ne puisse glisser. Sur l'axe h se trouve également calé un volant V, dont la jante tournée et polie du côté gauche est dentée du côté droit. Ce volant sert de liaison entre le mouvement de défilage et celui de réglage.

L'axe h tourne d'ailleurs dans des coussinets W, W, en forme de fenêtres, disposés de manière à lui permettre un léger déplacement vertical dans le sens f (*fig.* 163). Ce déplacement, ou *jeu*, est réglé à la construction; il peut atteindre 2 millimètres.

Mécanisme de réglage. — Ce mécanisme a pour objet de *faire* tourner le volant V dans un sens, pour produire l'écart des charbons et de le *laisser* tourner de lui-même en sens contraire, pour permettre leur rapprochement.

Il se compose d'un axe s reposant par des couteaux cc' sur des V en acier trempé. Un système de contre-butée empêche l'axe s de se déplacer longitudinalement.

L'axe s porte deux secteurs rr^1 goupillés sur lui. Dans les gorges de ces secteurs se placent deux chaînettes p, q supportant des noyaux de fer doux n, o.

Les solénoïdes k, m, respectivement excités par le courant principal et par le courant dérivé, agissent sur les noyaux n, o. Suivant la prédominance d'action d'un des solénoïdes sur l'autre, l'axe s tourne à gauche ou à droite; il est donc soumis à l'action différentielle du courant principal et de la tension aux bornes.

L'amplitude de la rotation de l'axe s est fonction de la quantité x dont peut être aspiré le noyau n du solénoïde à gros fil. La quantité x est telle que les pointes de charbons puissent, à tout moment, être écartées de 15 mm environ.

Enfin sur l'axe s est fixée une came u, dont le côté gauche de la jante est tourné et poli; en un point cependant, on a ménagé un méplat à peine visible. Le côté droit de la came est denté sur une partie de la circonférence, la denture pouvant engrener avec celle du volant V.

Amortisseur. — L'amortisseur se compose de deux cylindres en bronze dur l, l' alésés et polis. Ils sont ouverts aux deux extrémités et disposés entre la platine inférieure P de la lampe et les joues du bas des solénoïdes k, m.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Des joints à emboîtements, avec garnitures en carton d'amiante, assurent le centrage et l'étanchéité des cylindres. Les pistons X, Y, à frottement très doux, sont vissés, par leur tige, aux noyaux de fer *n*, *o*. La figure 164 montre les détails de construction de l'amortisseur ; un

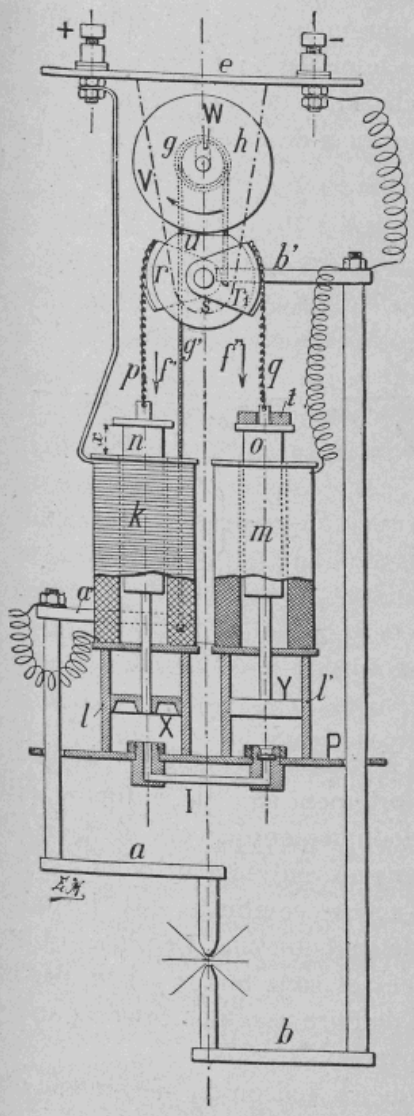


Fig. 162.

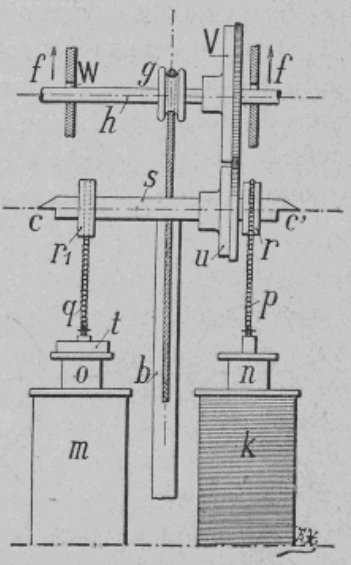


Fig. 163.

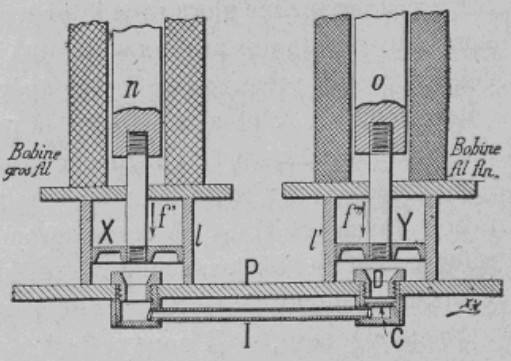


Fig. 164.

tube I réunit les cylindres et permet leur libre communication ou leur indépendance, suivant que le clapet très léger C, en aluminium, repose comme le montre la figure ou, en s'élevant, s'applique sur son siège supérieur, formé par le rebord inférieur de l'écrou D. La levée du clapet C est de 0,4 mm.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'amortisseur fonctionne de la manière suivante (*fig.* 162 et 164) : lorsque le noyau *o* est abaissé (sens *f''*), sous l'action du courant dérivé ou à défaut par le contrepoids *t* (*fig.* 162), le noyau *n* se relève, et les charbons doivent alors se rapprocher sans que l'amortisseur ralentisse le mouvement. Le piston Y descend, le clapet C repose sur sa butée inférieure, et les cylindres communiquent librement. L'air refoulé sous le piston Y passe ainsi sans résistance sous le piston X ; il n'y a pas d'amortissement. Au contraire, lorsque les charbons doivent s'écarter sous l'influence du solénoïde à gros fil, le noyau *n* descend (sens *f'*), le piston X refoule l'air par le tube I, et le clapet C, se soulevant, interrompt toute communication entre les cylindres.

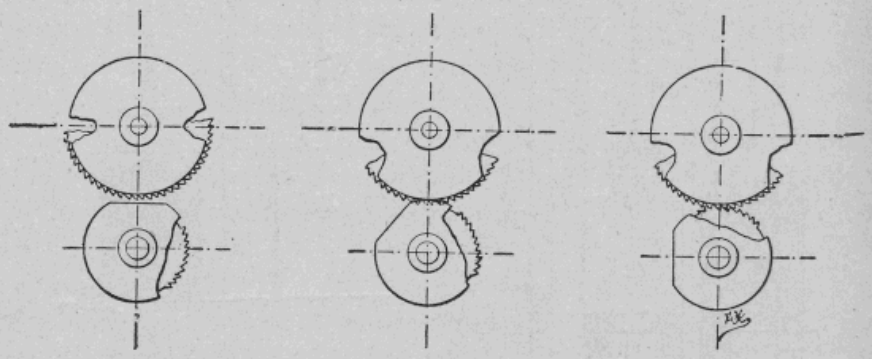


FIG. 165.

L'air se comprime alors sous le piston X et se raréfie sous le piston Y. Les mouvements des noyaux sont ainsi fortement amortis, et finalement l'équilibre des pressions s'effectue apériodiquement par une sortie d'air entre le piston X et son cylindre et par une rentrée d'air entre le piston Y et le cylindre *l'*. Grâce à cette action combinée des pistons, l'amortissement au recul est remarquablement puissant. De plus, l'obturation du clapet C est obtenue, sûrement et sans temps perdu, par le refoulement de l'air, sans qu'il soit utile de faire usage de ressorts antagonistes ou de munir les pistons de soupapes.

Fonctionnement. — Il nous reste à étudier la liaison du mécanisme de défilage à celui de réglage.

Lorsque les parties dentées du volant V et de la came *u* sont en prise (*fig.* 165, *c*), ces mécanismes sont solidaires sans glissement possible ; sous l'action du noyau *n*, l'écart des charbons se produit donc intégral et bien amorti.

Au début du rapprochement des charbons, le noyau *n* se relève et la partie dentée de la came cesse peu à peu d'engrener avec le volant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(*fig.* 165, *b*). La rotation de celui-ci est cependant empêchée par le frottement des parties lisses de la came et du volant. Le poids des porte-charbons s'exerce en effet sur l'axe *h* et se reporte sur les jantes polies de *u* et de V. Le rapprochement des charbons se continue ensuite jusqu'au moment où le méplat de la came se présente sous le volant (*fig.* 165, *a*). A partir de cet instant, la lampe se trouve à la période du réglage proprement dit : le méplat laisse défiler le volant par petits à-coups imperceptibles, tout comme dans les lampes à frein ordinaire.

Tant que rien ne vient troubler le régime, les noyaux *n*, *o* n'ont que de faibles mouvements non influencés par l'amortisseur ; le volant V défile au fur et à mesure de l'usure des charbons.

S'il se produit une baisse de tension sur le réseau, le courant principal diminue, le solénoïde *k* attire le noyau *n*, et le poids *t* (*fig.* 162) placé sur le noyau *o* entraîne celui-ci dans le sens *f''*. Les charbons se rapprochent aussitôt jusqu'à ce que la balance, constituée par les solénoïdes et leurs noyaux, ait repris sa position d'équilibre. Supposons qu'il se produise, au contraire, un accroissement de tension du réseau ou une diminution de résistance de l'arc par suite d'un défaut des charbons ; immédiatement le noyau *n* est attiré, les parties lisses de *u* et V sont en prise, puis, presque aussitôt, les parties dentées. L'écart se produit avec toute la sûreté voulue. Le jeu vertical *f* de l'axe *h* (*fig.* 163) a été prévu pour faciliter la mise en prise des dentures. Si celles-ci ne se présentent pas convenablement, l'axe *h* se soulève et les dentures engrènent sans que les dents risquent d'être détériorées.

Les noyaux *n* et *o* sont creux afin de les rendre plus légers ; de plus, ils sont fendus, ainsi que les carcasses des solénoïdes *m*, *k*. Pour rendre une lampe à courant continu apte à être alimentée par du courant alternatif, il suffit de remplacer la bobine *m* par une autre dont l'enroulement soit approprié à la fréquence du courant alternatif.

Le réglage est obtenu uniquement, lors de la construction, en déterminant la masse du contrepoids *t* (*fig.* 162), masse légèrement variable avec chaque lampe.

Lampe différentielle a mécanisme. — Dans cette lampe, pour courant continu et pour courants alternatifs, la commande des porte-charbons au moyen d'une chaîne a permis de réduire au minimum la hauteur de la lampe, et d'obtenir de très grandes courses des charbons, devenues indispensables par suite de l'emploi de charbons minéralisés dont l'usure est sensiblement plus considérable que celle des charbons ordinaires.

Deux platines, reliées par trois tiges, reçoivent toute la partie du mécanisme qui est ainsi facilement rendu étanche au moyen d'une enveloppe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La partie inférieure est solidement entretoisée par quatre tubes qui évitent ainsi toute déformation de l'ensemble et assurent un défilage parfait.

Toutes ces pièces sont d'une grande simplicité, de construction très robuste et rigoureusement interchangeables.

Comme dans le modèle à recul automatique, le mouvement des porte-charbons est commandé par l'action différentielle de deux solénoïdes (*fig.* 166) : l'un A enroulé en gros fil est traversé par le courant total ; l'autre B enroulé en fil fin est branché en dérivation aux bornes de la lampe.

Ces deux solénoïdes sont creux et dans leur tube central pénètrent les noyaux C et D, articulés aux deux extrémités d'un fléau E, oscillant sur couteaux, et dont les déplacements sont transmis au moyen d'une bielle M au mécanisme F placé entre les deux solénoïdes.

Ce mécanisme est composé de trois mobiles. Le premier, tournant à une faible vitesse, est solidaire d'une roue G, sur laquelle passe la roue de suspension des porte-charbons. Le dernier mobile est muni d'une roue à large denture I qui peut être encliquetée par un doigt de forme spéciale J, articulé au point K par une tige support.

L'ensemble du mouvement peut osciller sur les couteaux L. Sur le fléau E est articulée une seconde bielle N, à l'extrémité de laquelle est fixé le piston O qui se meut à frottement doux dans le cylindre P, de telle façon que les déplacements brusques du fléau sont amortis par l'air qui se comprime sous le piston.

Le porte-charbon supérieur Q est suffisamment lourd pour entraîner l'inférieur R.

Le mouvement s'appuyant, d'autre part, sur le côté gauche du fléau, ce dernier est incliné vers B. Dans cette position, le mouvement est abaissé et la roue I est séparée du doigt J ; le mouvement peut alors défiler et, sous l'action du poids du porte-charbon supérieur, les crayons viennent au contact.

Lorsqu'on ferme le circuit, les charbons étant au contact, la différence de potentiel est nulle, ainsi que l'action du solénoïde en fil fin B. L'intensité, au contraire, devient maximum dans le solénoïde A enroulé de gros fil. Le noyau de fer doux C pénètre dans la bobine, entraînant le fléau E qui oscille autour de ses couteaux. Cette oscillation est transmise par la bielle M au mouvement F. La roue I s'élevant, le doigt J s'engage dans sa denture et l'immobilise.

Le mouvement continuant à se déplacer autour des couteaux L, le porte-charbon supérieur Q est soulevé et l'inférieur R abaissé, l'arc est formé et le déplacement ne prend fin que lorsque le régime normal est rigoureusement établi.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le doigt J, articulé en K, se trouve soulevé par la roue I et a ainsi permis le libre déplacement du mouvement F.

Les charbons s'usant, l'intensité tend à diminuer et la tension augmente aux bornes de la lampe.

La puissance d'attraction du solénoïde A diminue, tandis que celle de B augmente; le fléau est sollicité vers B, le mouvement s'abaisse et l'écart produit primitivement à l'allumage devient nul.

Le mouvement continuant sa course descendante, le doigt J prend contact, par son bec inférieur, sur sa tige de support; puis la roue I, se trouvant libérée du doigt d'arrêt, commence à tourner sous l'action du poids du porte-charbon supérieur.

En raison de la très grande sensibilité de tout le système, la roue I n'échappe qu'une dent à la fois et les charbons se rapprochent très lentement.

Si, en cours de fonctionnement, une cause quelconque (augmentation de tension sur le réseau, impuretés dans les charbons, etc.) tend à provoquer une augmentation d'intensité, l'action du solénoïde A devient prépondérante, le fléau E s'incline vers lui, le mouvement se relève et les charbons sont écartés de la quantité suffisante pour rétablir exactement le régime normal.

Les mouvements du fléeau E sont amortis par le piston O; un petit clapet, placé sous le cylindre, permet l'amortissement seulement dans le sens de l'écartement des charbons (plongée du noyau C dans la bobine A).

Cette disposition a pour effet de s'opposer aux ruptures d'arc en permettant le rapprochement instantané des charbons et de supprimer les alternatives d'allumage et d'extinction, dites *pompage*, provoquées par les oscillations pendulaires de l'équipage.

Lampe a arc carbo-minéral. — M. Bardon exposait également plusieurs modèles de lampes destinées à utiliser des charbons dizones.

Les différents organes de cette lampe ont été étudiés pour l'emploi du réflecteur fumivore *système Blondel* et pour l'utilisation des charbons dizones à grand rendement lumineux, quel que soit le fonctionnement par 2 ou par 3, à *courant continu* ou *alternatif*.

La disposition du guidage des charbons permet de faire des lampes à très grande course, 72 cm sans aucune modification dans le mécanisme; c'est ainsi que l'on peut obtenir les plus longues durées nécessaires, seize heures par exemple, en employant des charbons normaux.

En vue de l'emploi de charbons minéralisés qui, dégageant beaucoup de vapeurs pulvérulentes s'accumulant dans les organes, produisent dans la plupart des lampes un arrêt rapide du fonctionnement, on obvie à ces inconvénients en disposant le réflecteur fumivore de façon à évacuer extérieurement les gaz par une ventilation appropriée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a supprimé toute communication, même pour les lampes munies d'appareillages extérieurs, entre le globe et le mécanisme.

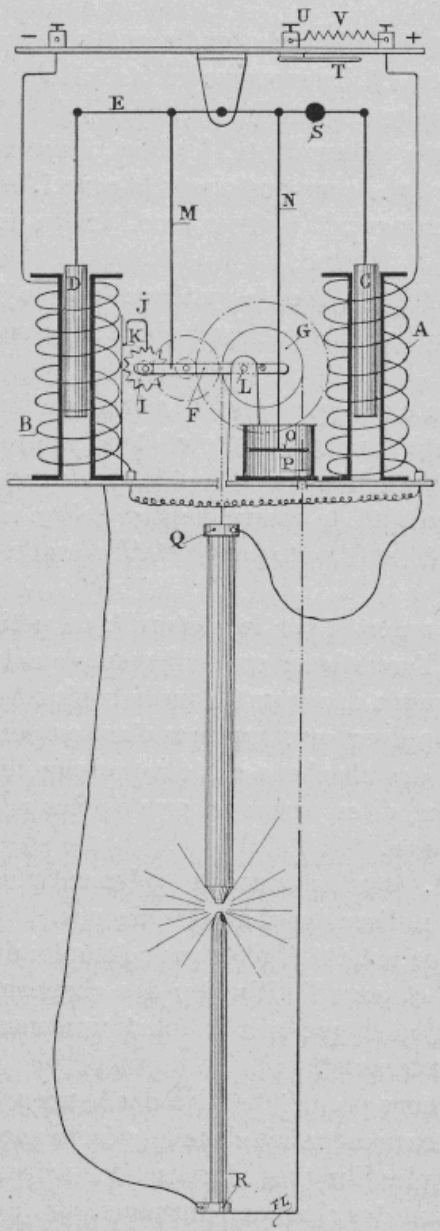


Fig. 166. — Lampe différentielle Bardon.

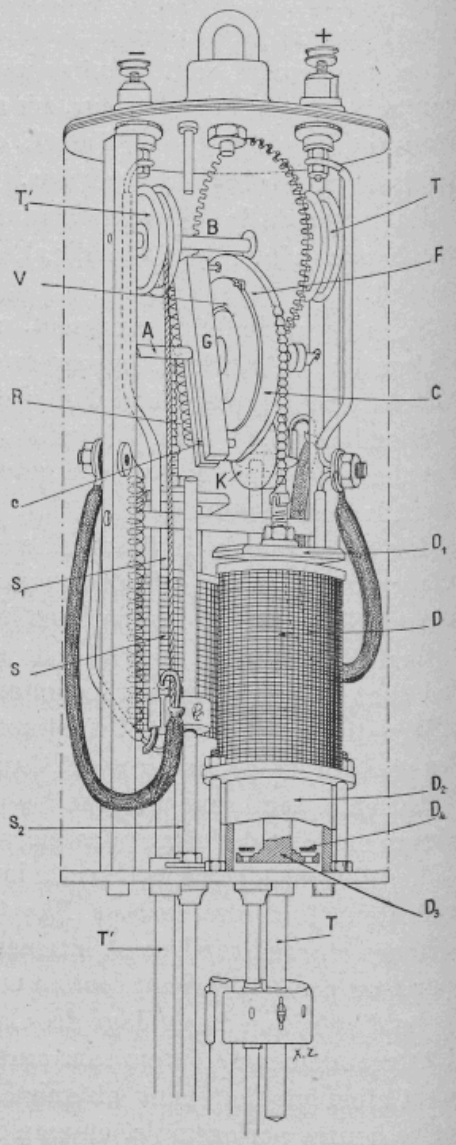


Fig. 167. — Lampe Vigreux et Brillié.

Le guidage des charbons est assuré, en dehors des tubes entretoises, par des chaînes qui pénètrent dans le boisseau par une ouverture juste

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suffisante pour leur passage et en partie fermée par une contreplaque mobile qui peut suivre facilement les mouvements latéraux de la chaîne.

Enfin on a rendu le boisseau enfermant le mécanisme absolument étanche.

Lampes à arc Vigreux et Brillié de Levallois-Perret (Seine). — Cette lampe à point lumieux fixe (*fig.* 167) se compose de deux tiges porte-charbons TT′ suspendues par des cordelettes de soie s'enroulant en sens inverse sur les tambours $T_1T'_1$; ces deux tambours d'enroulement sont fixés sur un arbre B qui tend à tourner sous l'action du poids du porte-charbon supérieur T qui entraîne dans son mouvement, au moyen d'une roue et d'un pignon denté, un volant V.

Ce volant est libre sur un arbre A et tourne à l'intérieur d'un cercle C; ce cercle porte un frein F et peut prendre autour d'un axe *c*, placé à l'extrémité d'une pièce G fixée sur l'arbre A, un petit mouvement d'oscillation qui permet le serrage et le desserrage de ce frein. Lorsque celui-ci est en contact avec le volant, le cercle C se trouve, par construction, concentrique à l'arbre A qui, monté sur couteaux de balance, se déplace sous le moindre effort.

Sur ce cercle s'enroulent deux chaînettes supportant chacune un noyau de fer S_1 et D_1 plongeant dans leurs solénoïdes respectifs S et D montés, le premier en série avec l'arc, le second en dérivation.

Au-dessous des noyaux S_1 et D_1 sont fixés des pistons S_3 et D_3 se déplaçant dans des cylindres S_2 et D_2 servant d'assises aux bobines et formant amortisseur à air pour éviter le pompage : la pompe en S_2 est relativement libre, l'autre en D_2 offre une résistance beaucoup plus grande, mais elle est munie d'une soupape ordinaire D_4, disposée de façon que l'amortissement n'ait lieu que dans un sens, celui du soulèvement du noyau D_1 correspondant au recul des charbons; le rapprochement de ceux-ci peut se faire très rapidement, la pompe S_2 se trouvant alors seule en jeu. On voit d'ailleurs que, de cette façon, les chaînettes supportant les noyaux sont toujours tendues, en maintenant le frein serré, s'il se produit des oscillations à l'allumage; cette disposition évite toute possibilité de collage.

Si nous supposons le frein serré sur le volant V, on voit que la lampe se compose d'une balance très sensible, mobile sur les couteaux de l'arbre A et soumise à l'action des efforts d'attraction des bobines S et D faisant équilibre aux différents poids et à l'effort d'entraînement du volant, transmis par le frein F à cette balance.

Le mouvement de celle-ci est transmis directement aux charbons dans un rapport très réduit, de sorte qu'à un faible effort et un grand déplacement des noyaux correspondent un effort énergique et un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

petit mouvement des charbons; il en résulte un réglage sûr, indépendant du poids des charbons et du frottement des tiges de support, ainsi qu'un amortissement très efficace ; il reste à examiner le phénomène du défilage du volant V.

Dans la position de repos, le noyau D_1 est complètement enfoncé, le centre d'oscillation du cercle C est à peu près sur la verticale du point A; dans cette position, les forces agissant sur les chaînettes s'enroulant sur le cercle C n'ont qu'une action très faible pour le faire tourner autour du point c; cette action est inférieure à celle du ressort R, qui tend à desserrer le frein, et le volant est libre, ainsi que les porte-charbons.

Lorsque le noyau S_1 s'enfonce sous l'action prépondérante du solénoïde S, la distance du point c à la verticale du point A augmente; avec cette distance augmente l'effort de serrage, qui devient très énergique lorsque le noyau S_1 est complètement enfoncé; le ressort R est réglé de façon que, dans les conditions normales de marche, le frein se desserre dans une position moyenne entre ces deux extrêmes.

Comme, d'un autre côté, l'attraction des noyaux est combinée avec un contrepoids convenable K pour que l'équilibre existe dans toutes les positions des noyaux avec le régime normal à l'arc, on voit de suite que le réglage est absolument indépendant de la force du ressort R, du coefficient de frottement du frein, des trépidations, etc... le serrage du frein se faisant sans l'action d'aucune force extérieure venant modifier l'équilibre de la balance, et le défilage se produit sans aucune modification du régime de marche.

A l'allumage, le noyau S_1 est attiré avec un effort considérable; le piston D_3 formant retenue, le frein se serre de suite et les charbons s'écartent sans secousses, l'arc se forme et les noyaux se placent rapidement dans leur position d'équilibre établissant de suite le régime normal.

Au fur et à mesure de l'usure, le déplacement des noyaux provoque le rapprochement des charbons, pour des variations insignifiantes de régime, par suite de la rotation de l'arbre A jusqu'au moment où le frein qui se desserre de plus en plus laisse glisser le volant V.

Au moment même de ce glissement, le frein se trouvant moins entraîné par le volant, l'équilibre de la balance est rompu avant toute variation de régime, et le cercle C se déplace en sens inverse, provoquant par ce mouvement même un nouveau serrage de frein venant immobiliser le volant. En un mot, en marche normale, le volant V tourne d'une façon continue, tandis que le cercle C fait de petites oscillations autour de son axe A, dans la position correspondant au glissement du frein et le réglage se fait sans variation appréciable de régime.

Pour faciliter ce mouvement d'oscillation du cercle C qui pourrait être

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gêné par l'amortisseur, la soupape de la pompe D_2 est équilibrée par deux ressorts qui la maintiennent légèrement soulevée en temps normal; de cette façon la pompe ne forme retenue que pour des mouvements assez brusques pour appliquer cette soupape sur son siège.

Aucun ressort ni contrepoids réglable n'intervient dans l'étalonnage de la lampe; celui-ci est effectué par la bobine série sur laquelle est mise en dérivation une résistance réglée une fois pour toutes. La lampe peut être démontée entièrement et remontée sans qu'il soit nécessaire de la régler à nouveau.

Il est facile de voir que les dispositions de cette lampe, tant pour le mouvement de défilage et de recul, lui donnant une extrême sensibilité, que pour le système d'amortissement, permettant d'éviter tout collage et tout pompage, lui assurent toutes les qualités désirables pour une lampe à arc.

L'expérience prouve d'ailleurs qu'elle possède ces qualités au plus haut degré, puisque cette lampe marche d'une manière parfaite sans aucune résistance ohmique, par une ou plusieurs en série, permettant ainsi d'utiliser dans les arcs, aux pointes des charbons, plus de 95 0/0 de l'énergie électrique disponible, réalisant, de ce fait et par la sécurité et la constance du réglage, une économie de 40 à 50 0/0 au minimum sur tous les autres systèmes de lampes.

Il suffit d'apporter une très légère modification à cette lampe pour qu'elle fonctionne parfaitement en l'alimentant avec du courant alternatif sans résistance ohmique, ni bobine de self dans le circuit.

Le mécanisme de cette lampe peut également être disposé pour actionner alternativement deux paires de charbons.

MM. Vigreux et Brillié exposaient également d'autres types de lampes à arc, parmi lesquelles nous citerons:

Des lampes spéciales pour éclairage renversé et dans lesquelles le mécanisme est placé à la partie inférieure de la lampe, afin de ne pas gêner le passage des rayons lumineux dirigés vers le haut;

Des lampes à charbons inclinés avec arc à flamme, dans lesquelles on utilise des charbons minéralisés;

Des lampes spéciales destinées à être alimentées par des courants triphasés à basse fréquence, c'est-à-dire inférieure à 40 périodes par seconde. Dans cette lampe on utilise les trois phases du courant, et elle peut fonctionner avec des courants dont la fréquence n'est que de 20 à 25 périodes, tout en ayant un rendement lumineux supérieur à celui que l'on obtient avec le courant alternatif simple. Le mécanisme de la lampe comporte une vis sans fin à axe vertical qui commande trois roues placées dans des plans à 120° et dont les axes se trouvent dans un même plan horizontal. Ces roues sont solidaires de leviers articulé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

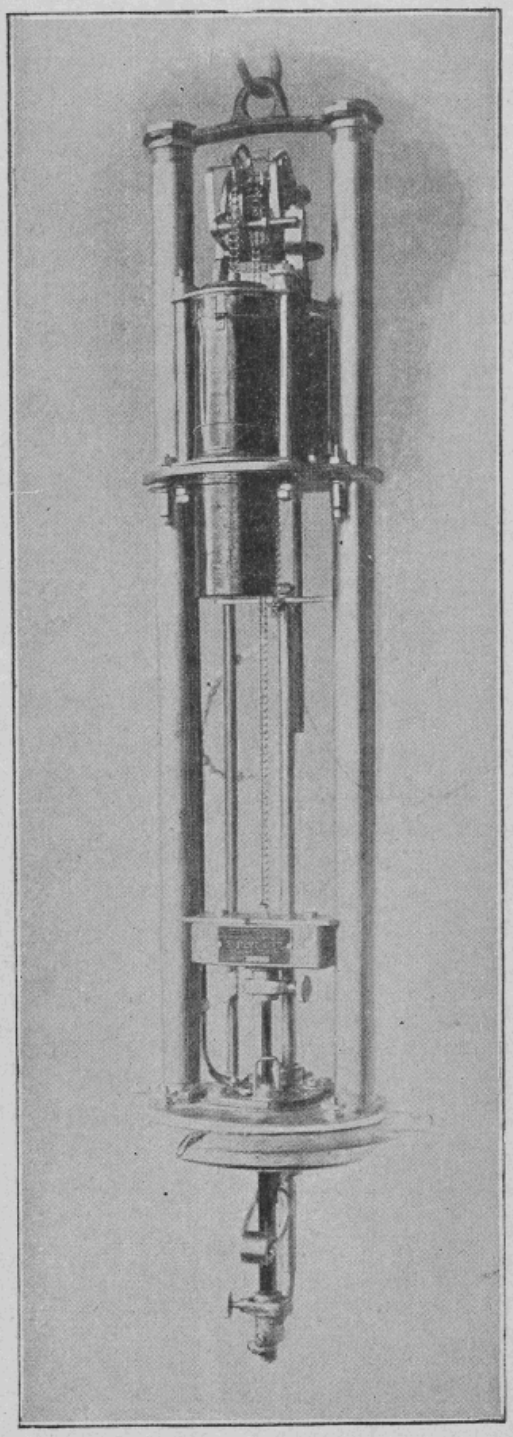


Fig. 168. — Lampe Blondel.

auprès des porte-charbons; les charbons glissent dans un support isolant et les pointes des trois charbons se rencontrent au même point. La rotation de la vis déplace les charbons de quantités égales sous un angle sensiblement constant. Les porte-charbons sont convenablement isolés des leviers et reliés par des fils souples aux prises de courant. La vis sans fin verticale est actionnée par deux petits moteurs à champ tournant, montés sur le même axe et reliés à la vis par un train d'engrenages. Chacun de ces moteurs est actionné par trois bobines semblables; l'un des moteurs porte des bobines à gros fil intercalées dans le circuit principal et son sens de rotation tend à éloigner les charbons; l'autre moteur comporte trois bobines en fil fin, montées en triangle ou en étoile entre les charbons, et les connexions sont établies pour que le sens de rotation du moteur tende à rapprocher les charbons. Lorsque les actions des deux moteurs se compensent, le tout reste au repos et le réglage s'effectue comme dans une lampe ordinaire suivant l'action prépondérante de l'un ou de l'autre moteur.

Lampe à arc Blondel. — Cette lampe (*fig.* 168), construite et exposée par la Société française d'incandescence par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

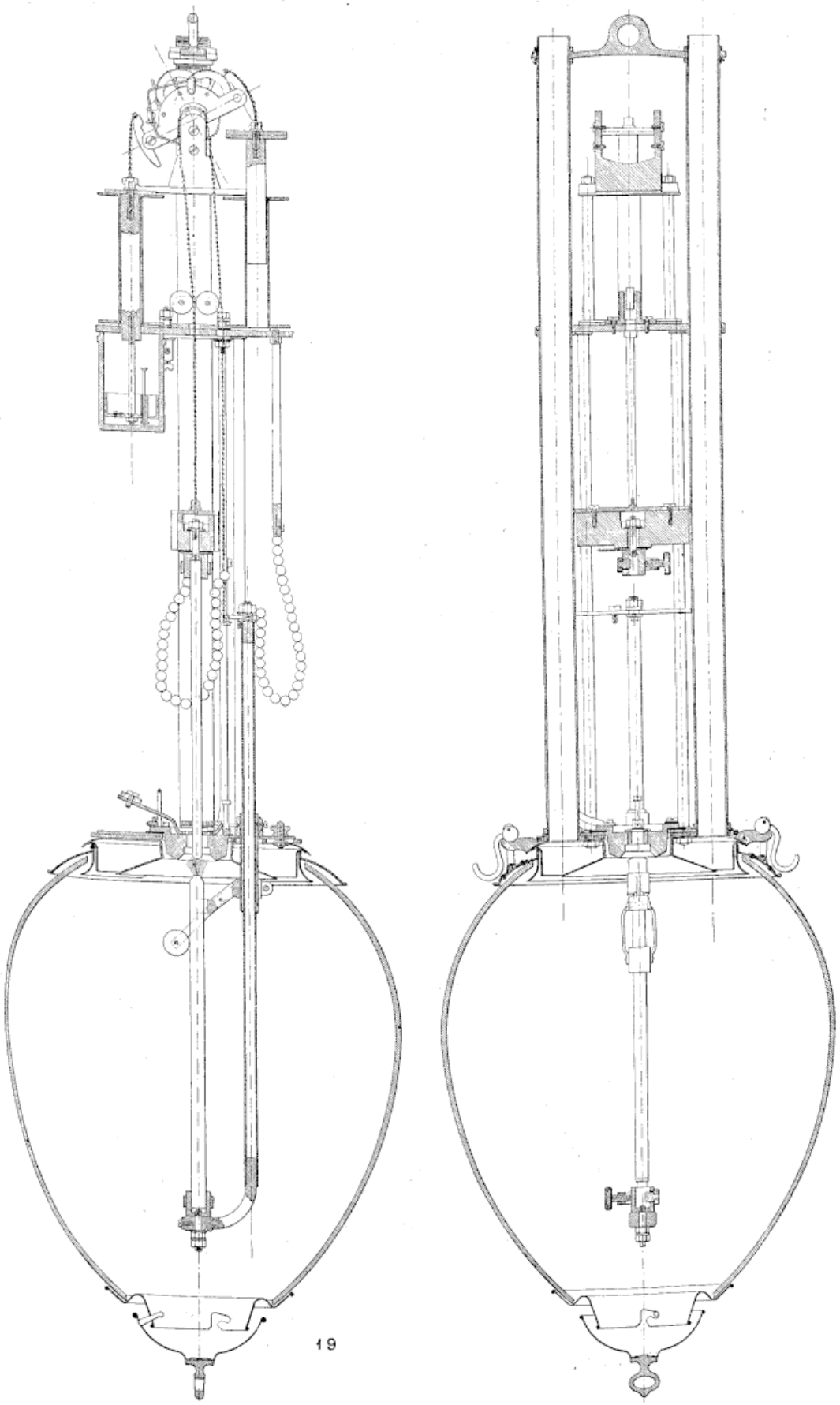


Fig. 169. — Lampe Blondel.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le gaz, système Auer, de Paris, a été imaginée par M. Blondel. Cette lampe, à charbons minéralisés, présente des particularités très intéressantes, tant en ce qui concerne le mécanisme du régulateur et le dispositif de la lampe que par la nature spéciale des charbons utilisés.

Le régulateur est du type différentiel avec défilage commandé par une minuterie; il est caractérisé par la simplicité et la solidité des organes, ainsi que par la puissance des bobines de réglage.

Ce régulateur se compose d'une balance montée sur couteaux et constituée par la minuterie elle-même et les noyaux plongeurs des deux bobines. Une de ces bobines est enroulée de gros fil et montée en série avec l'arc ; l'autre est enroulée de fil fin et placée en dérivation. La chaîne aux extrémités de laquelle sont suspendus les porte-charbons passe sur la roue à empreintes de la minuterie. Le porte-charbon supérieur est moteur et, à cet effet, est surmonté d'une masse métallique. La pompe produisant l'amortissement est d'une construction particulièrement robuste ; elle est de grand diamètre pour ne pas nécessiter un alésage trop exact pouvant entraîner des coïncements en marche et, enfin, elle est munie de clapets qui permettent le rapprochement brusque des charbons. Cette pompe est disposée sous le plongeur de la bobine en dérivation.

La figure 169 permet de voir la disposition générale des organes.

Ce régulateur se distingue par la puissance de ses bobines de réglage ; en outre, il est construit de telle sorte que la différence de l'effort des deux plongeurs soit constante pour toutes les positions relatives des charbons. A cet effet, la position de réglage, c'est-à-dire de défilage de la minuterie, correspond à la position moyenne des plongeurs, vers le milieu de leur course ; à partir de la position d'enclenchement de la minuterie, il y a donc autant de recul pour l'écart que pour le rapprochement des charbons.

A ce propos, il est à remarquer que ces deux conditions, indispensables pour obtenir le bon fonctionnement d'une lampe à arc, ne sont pas réalisées en général. Or, si la puissance des bobines est insuffisante dans un régulateur, celui-ci pourra fonctionner convenablement quand tous les organes seront neufs et bien propres ; mais il se déréglera dès que ces organes prendront de l'usure ou viendront à s'encrasser. Si la différence de l'effort des deux plongeurs n'est pas constante pour toutes les positions des charbons, le réglage pourra se faire pour une certaine longueur des crayons, c'est-à-dire pour une certaine valeur de l'usure des crayons, et être défectueux pendant tout le reste de la marche, puisqu'à une variation donnée de la tension aux bornes de la lampe ne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

correspondra pas une même variation utile de l'effort produit par les bobines sur la balance.

Les principales particularités de ce dispositif portent sur le guidage et le centrage des charbons, sur la position du charbon positif qui est inverse de la position ordinaire et sur l'élévation et la condensation des fumées.

Le guidage du crayon supérieur se fait par son passage dans un trou ménagé dans une pièce placée à l'orifice supérieur du globe : une bague de serrage amène le courant au crayon supérieur.

Le charbon inférieur est maintenu, centré et guidé au voisinage de l'arc, contre un butoir, par une pièce à fourche articulée sur le butoir et qui porte à son extrémité un galet qui appuie sur le crayon du côté opposé; ces deux pièces, le butoir et le galet, servent en même temps à amener le courant au charbon.

Ces détails de guidage se voient très nettement sur la figure 169.

Le montage du globe est également très étudié pour éviter que les poussières qui se dégagent pendant la combustion ne s'échappent au dehors sans être condensées, et aussi qu'elles ne se déposent à l'intérieur du globe lui-même. A cet effet, le globe est complètement fermé à sa partie supérieure par un couvercle à travers lequel la partie inférieure du charbon supérieur passe dans un anneau isolé, entouré lui-même par un condenseur de fumée ou réflecteur. Ce condenseur, qui offre une grande surface, permet de condenser rapidement les fumées au voisinage de l'arc. Les gaz qui s'échappent, en entraînant cependant encore quelques fumées, passent ensuite par un long chemin formé de tubes ou de chicanes, où la condensation se termine complètement. Le cendrier, placé à la partie inférieure du globe, est percé d'une petite ouverture de façon à établir un tirage pour l'évacuation des gaz. La fermeture hermétique du globe à sa partie supérieure protège, d'une façon absolument efficace, l'arc contre les courants d'air; l'évacuation des fumées est assez complète pour supprimer totalement tout dépôt à l'intérieur du globe. Par suite des précautions très particulières prises pour obtenir la condensation des fumées, la lampe, contrairement à ce qui a lieu fréquemment quand on emploie les charbons minéralisés, ne laisse échapper au dehors aucune fumée. Le tirage qui est produit dans le globe renouvelle constamment l'air dans lequel brûlent les charbons, en maintenant ainsi les conditions initiales pendant toute la durée de la combustion.

La lampe est munie d'un dériveur automatique qui a pour but de préserver le régulateur, en coupant le circuit, si les charbons n'ont pas été remplacés à temps; l'arc est alors remplacé par une résistance logée dans le chapeau de la lampe; dans les derniers modèles, la résistance de réglage est également logée à cet endroit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La particularité la plus remarquable de la lampe Blondel réside dans la nature des charbons employés.

Ces charbons, dits charbons dizones, se composent d'un noyau fortement minéralisé entouré d'une enveloppe de carbone pur ayant une épaisseur comprise entre 1/5 et 1/7 du diamètre de crayon : cette épaisseur est déterminée de telle sorte que l'enveloppe se taille plus court, c'est-à-dire en cône, sous la partie minéralisée; grâce à cette forme particulière de la taille du crayon, l'arc ne peut jaillir de la partie en carbone pur, ce qui aurait l'inconvénient de modifier la coloration de la lumière et de détruire la stabilité de l'arc.

Les charbons dizones sont fabriqués à l'aide de presses spéciales qui permettent d'obtenir simultanément la partie centrale minéralisée et l'enveloppe en carbone pur d'une épaisseur convenable.

Dans la lampe Blondel, le charbon positif est placé à la partie inférieure; c'est là une particularité tout à fait intéressante et à laquelle cette lampe doit une grande partie de ses propriétés. En effet, le charbon positif, qui seul est minéralisé fortement, produit en brûlant un flux gazeux qui tend naturellement à s'élever; ces matières gazeuses rencontrent ainsi l'arc et s'échauffent en donnant de la lumière, tandis que dans la position inverse elles ne pourraient pour la plupart que s'échapper sans profit; il n'y aurait dans ce dernier cas que la petite portion ionisée de cette vapeur qui traverserait l'arc et on perdrait une très notable quantité de lumière.

D'ailleurs, les propriétés des charbons dizones ne sont mises à profit qu'à la condition qu'ils soient employés avec le dispositif décrit plus haut.

Le charbon minéralisé employé comme positif à la partie inférieure donne un rendement lumineux bien supérieur : d'après les essais du professeur Wedding, la consommation spécifique par bougie passe de 0,63 watt pour le positif en haut à 0,43 watt pour le positif en bas; ce phénomène s'explique par l'incandescence des vapeurs minéralisées qui sont à l'état neutre dans l'arc, c'est-à-dire qui ne sont pas ionisées.

Le charbon positif placé à la partie inférieure permet, en outre, l'emploi de charbons très fortement minéralisés, tout en évitant que les scories envahissent le cratère.

Le condenseur-économiseur, placé autour du charbon négatif et au voisinage de sa pointe, empêche les vapeurs ionisées au pôle positif de s'élever trop haut le long du charbon négatif, tandis qu'il maintient ces vapeurs à une température suffisamment élevée pour empêcher leur condensation, sous forme de gouttes, à la pointe du charbon négatif.

En outre des avantages qui viennent d'être signalés avec un charbon

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

supérieur en carbone pur ou légèrement minéralisé, on obtient toujours un allumage facile, puisque la pointe de l'électrode inférieure ne peut se trouver recouverte d'une goutte de scorie, comme ce serait le cas, si le charbon minéralisé était placé à la partie supérieure.

Le rôle de l'enveloppe en carbone pur des charbons dizones est de prévenir la scorification qui autrement est très abondante avec les charbons fortement minéralisés ; cette scorification provoque le collage des crayons et, par suite, l'arrêt du régulateur, en même temps qu'elle rend difficile la mise en marche ; l'enveloppe a aussi pour effet d'augmenter la conductance des crayons et leur durée.

L'usure normale des charbons dizones est de 16 à 20 mm à l'heure par électrode, c'est-à-dire qu'elle est analogue à celle des crayons ordinaires quand on prend un diamètre normal.

L'arc obtenu entre charbon dizone positif et charbon ordinaire négatif a le caractère de tous les arcs entre charbons minéralisés, c'est-à-dire qu'il a une grande longueur ; à tension égale, cette longueur est cinq fois celle de l'arc ordinaire ; comme l'anode minéralisée est à la partie inférieure, la flamme qui constitue, dans ce type d'arc, la source principale de lumière a, en outre, un volume beaucoup plus grand que dans l'arc-flamme ordinaire.

Les diverses propriétés du charbon dizone que nous venons d'énumérer, jointes à la disposition particulière des électrodes, se traduisent par une réduction considérable de la consommation spécifique ; cette consommation pour la lampe Blondel est de 0,13 à 0,15 watt par bougie hémisphérique et peut s'abaisser à 0,12 watt avec des charbons de bonne qualité et pour des arcs de 250 watts environ.

Les régimes les plus favorables au bon fonctionnement de cette lampe sur courant continu correspondent à une consommation de 200 à 300 watts par foyer. On peut descendre jusqu'à une consommation de 150 watts, mais il faut alors employer des charbons d'une fabrication particulièrement soignée.

Sur courant continu, les lampes peuvent être groupées par 2, 3 et 4 sous la tension de 110 volts.

Comme avec les crayons minéralisés, l'intensité du courant avec une tension donnée ne peut croître indéfiniment, les régimes des arcs pour les différents groupements sont limités ; ainsi pour deux lampes en série sous 110 volts, soit 40 à 45 volts aux bornes d'une lampe, les régimes varient de 3 à 7 ampères ; avec trois lampes en série sous 110 volts, soit 32 à 35 volts par lampe, les régimes sont compris entre 5 et 9 ampères ; enfin, pour quatre lampes en série sous 110 volts ou 25 à 27 volts par lampe, l'intensité ne doit pas être inférieure à 7 ampères et peut dépasser 25 ampères.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Bien que, théoriquement, l'arc long ait un rendement meilleur, le rendement commercial des lampes dans les différents groupements qui viennent d'être mentionnés est sensiblement le même par suite de la moins grande quantité d'énergie dépensée pour les arcs courts dans la résistance de réglage.

Sur courant alternatif, la tension normale aux bornes de la lampe est de 30 à 32 volts, et le groupement le plus rationnel, sous la tension de 110 volts, consiste à alimenter trois arcs en série. Les régimes pratiques sont compris entre 7 et 20 ampères avec une consommation par foyer de 180 à 400 watts. Pour les arcs à 27 volts, le facteur de puissance de l'arc est de 0,85 environ; il diminue à mesure que l'arc s'allonge et peut s'abaisser à 0,73 pour un arc à 35 volts.

Lampe à arc Delafon et Leseible. — Ce type de lampe à arc pour courant continu ou pour courant alternatif est caractérisé par cette particularité que l'on peut y placer jusqu'à six paires de charbon mises automatiquement et successivement en circuit par un mécanisme spécial, ce qui permet d'assurer un nombre d'heures d'éclairage assez grand, sans qu'il soit nécessaire de procéder au remplacement des charbons et, par conséquent, sans interruption de l'éclairage. De plus, cette lampe est munie d'une sorte de marteau en charbon qui vient frapper sur les porte-charbons supérieurs pour briser les scories dès qu'un collage vient à se produire.

Lampes à arc Kœrting et Mathiesen. — Ces lampes, construites par la Société Force-Éclairage de Bruxelles, sont de plusieurs modèles, parmi lesquels on peut citer la lampe « Excello » à crayons convergents, dont le rendement lumineux est supérieur à celui des lampes ordinaires; la lampe pour reproductions photographiques; enfin, une série de lampes différentielles, dont une du type adopté par l'État Belge pour l'éclairage des gares, arsenaux, etc.

Lampes à arc, système Gramme. — La Société Gramme construit ces lampes pour courant continu et pour courant alternatif.

Le type de 10 ampères peut être monté par deux lampes en tension, alimentées en dérivation sur un circuit à 110 volts et par trois sur 135 volts.

Ces régulateurs ont un arc toujours stable, sans battements ni collage. La durée des charbons est de dix heures environ. Ils peuvent être montés par 10 ou 20 en tension, lorsqu'ils sont alimentés en série.

Lampes à arc en vase clos « Jandus ». — La Compagnie des lampes à arc « Jandus » avait exposé plusieurs modèles de ses lampes à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

arc en vase clos, pour courant continu et pour courant alternatif.

Le mécanisme des lampes à courant continu (type J, *fig.* 170) comporte un solénoïde, monté en série avec l'arc, à l'intérieur duquel est disposé un noyau mobile.

Le rapprochement des charbons, au repos, s'effectue par glissement du porte-charbon supérieur, convenablement lesté, dont la descente est

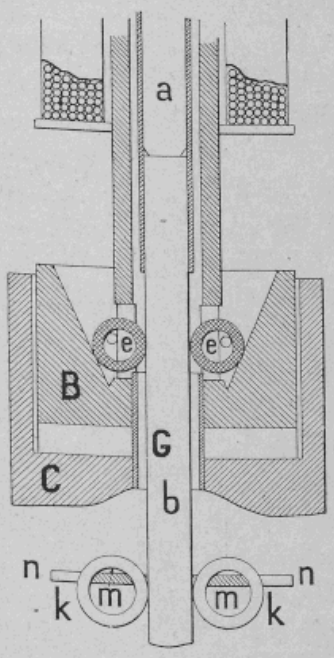


FIG. 170. — Mécanisme de la lampe Jandus.

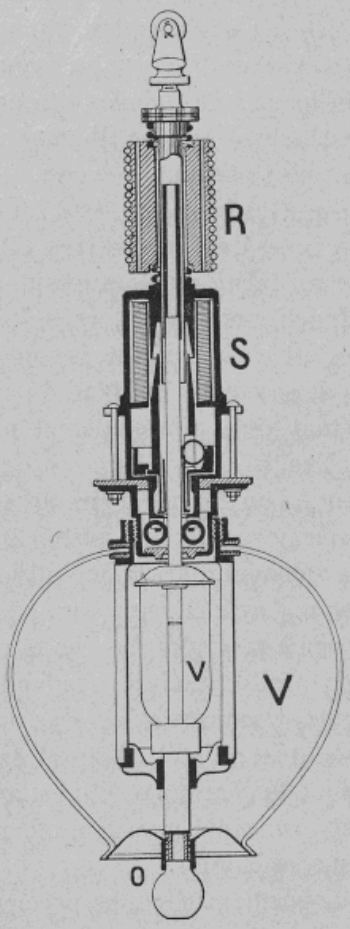


FIG. 171. — Lampe Jandus type J.

modérée par l'action de bagues en laiton. L'écartement des charbons, au moment de l'allumage, est provoqué par l'attraction exercée par le solénoïde sur son noyau de fer *a* qui est creux et à l'intérieur duquel glisse le charbon *b* et son poids moteur. La partie inférieure du noyau *a* se termine par une sorte de piston B se mouvant dans un cylindre C, avec un très faible jeu, de manière à former amortisseur.

Le noyau *a* est, en outre, percé de quatre fenêtres *e*, disposées à angle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

droit, et à l'intérieur desquelles pénètrent les bagues en laiton molettées à leur périphérie. Lorsque le piston B est en haut de sa course, par suite de l'attraction du noyau *a*, les quatre bagues reposent, d'une part, sur la partie conique du piston et, d'autre part, sur le porte-charbon. Dans ces conditions, le charbon *b* se trouve immobilisé par les bagues grâce à leur molettage. Quand, au contraire, le piston descend, il dégage un tube central fixe, solidaire du cylindre C; ce tube entoure le porte-charbon, mais son diamètre est suffisant pour laisser passer librement le porte-charbon. Les quatre bagues, reposant sur le piston, descendent avec lui jusqu'à ce qu'elles rencontrent le tube central sur lequel elles viennent alors s'appuyer, libérant ainsi le porte-charbon qu'elles ne maintiennent plus par leur pression.

Pour que les bagues restent toujours dans une bonne position, c'est-à-dire engagées dans les fenêtres, elles sont maintenues par un petit anneau fixé sur un tube creux à mi-hauteur des fenêtres.

Le fonctionnement de cette lampe est des plus simples. Quand la lampe n'est pas en circuit, le solénoïde est inactif et le piston B se trouve au bas de sa course, au fond du cylindre C; par suite, le charbon supérieur étant libre, glisse et vient au contact du charbon négatif inférieur qui est fixe.

Dès que l'on ferme le circuit, le courant passe dans le solénoïde qui attire son noyau *a*, et le piston B se trouve soulevé; l'arc jaillit, et les bagues viennent alors immobiliser le charbon *b*.

Lorsque l'arc s'allonge, par suite de l'usure des charbons, le solénoïde laisse peu à peu retomber son noyau et la pression des bagues contre le charbon positif diminue graduellement jusqu'à ce que celui-ci puisse descendre. Quand l'arc a repris sa longueur normale, le noyau et le piston remontent et le charbon est de nouveau immobilisé.

Lorsque le charbon positif est arrivé à l'usure limite, le mouvement de descente est arrêté par un renflement du poids moteur, qui vient alors buter sur les bagues.

Un dispositif particulier permet de conserver le centrage du charbon et sert, en même temps, à amener le courant. Il est constitué par un anneau de cuivre *mn*, relié à la borne positive et faisant corps avec la lampe. La circonférence intérieure de cet anneau est taillée en engrenage et, dans chaque intervalle *m* séparant deux dents consécutives, est glissée une petite bague en cuivre *k*. Toutes ces bagues sont engagées d'un peu plus de moitié entre les encoches et le charbon et leur poids maintient ce dernier au centre de l'anneau.

L'arc se produit à l'intérieur d'une enveloppe en verre *v* (*fig.* 171), percée de deux ouvertures laissant passer les charbons avec le minimum de jeu. Cette première enveloppe est entourée d'un globe en verre V opale,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

obturé par une sorte de valve en acier mince *o* qui s'ouvre du dedans en dehors et sur laquelle appuie un léger ressort. L'autre extrémité du globe est prise dans une griffe et l'obturation est obtenue par des rondelles en amiante.

Lorsque la lampe fonctionne, l'air se dilate et s'échappe par la valve du globe extérieur, sans qu'il puisse se produire de rentrée d'air; dans ces conditions, l'air restant dans les globes est rapidement privé de son oxygène.

Une résistance de réglage R montée en série avec le solénoïde et avec l'arc est placée à la partie supérieure de la lampe.

Ce type de lampe se monte en dérivation sur des circuits à 100, 110, 125, 135 et 150 volts et exige des intensités de courant variant depuis 3,5 jusqu'à 7 ampères.

La lampe type C diffère du type J par certains détails de construction; son fonctionnement est à peu près le même.

Ce type ne comporte qu'un seul vase clos; l'électro-aimant à bobine unique est muni d'un noyau plongeur transmettant son mouvement au porte-charbon supérieur par l'intermédiaire d'une chaîne passant sur une poulie. La résistance, contenue à l'intérieur de l'enveloppe, est largement ventilée et, dans ces conditions, ne chauffe pas cette enveloppe.

Le type C, comme le type J, se monte toujours en dérivation pour des tensions comprises entre 100 et 150 volts et fonctionne avec des intensités depuis 3,5 jusqu'à 6 ampères.

La lampe type D a un mécanisme semblable à celui du type J, mais légèrement modifié pour obtenir un arc plus long pouvant atteindre jusqu'à 35 mm. Elle consomme de 2 à 2,5 watts par bougie jusqu'à 3,5 ampères, mais elle se monte en dérivation sous 200-250 volts et, dans ces conditions, convient à certaines applications spéciales telles que la photographie, car les rayons ultra-violets dominent dans les arcs où la tension est supérieure à 110 volts. Avec un courant de 4 ampères sous 150-160 volts, on obtient d'excellents résultats. Dans cette lampe, l'arc est limité par la course du piston et, avec une intensité de 6 ampères, il convient de ne pas dépasser 140 volts. Ce modèle de lampe est également utilisé avec avantage pour l'éclairage dans les mines et, dans ce cas, il se monte en dérivation sur des circuits à 220-250 volts et consomme de 2,5 à 3 ampères.

La lampe type B est une réduction du type J et consomme 2 ampères sous 110 volts et 1,5 ampère sous 220 volts. Ces lampes dépensent de 220 à 440 watts, soit de 1,1 à 1,25 watt par bougie; elles conviennent particulièrement pour l'éclairage de petits espaces, de vitrines, etc.

Comme lampe de petites dimensions, la Société Jandus construit un type N, se montant en dérivation sur des circuits à 100, 110, 125, 200 et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

220 volts. Ces lampes fonctionnent régulièrement avec un courant de 1,5 ampère sous 110 volts (80 volts à l'arc) ; en utilisant des charbons à âme de 5 mm, on obtient vingt heures d'éclairage avec une lumière fixe. Ces lampes peuvent être montées par 2 en série sur des circuits à 220 volts.

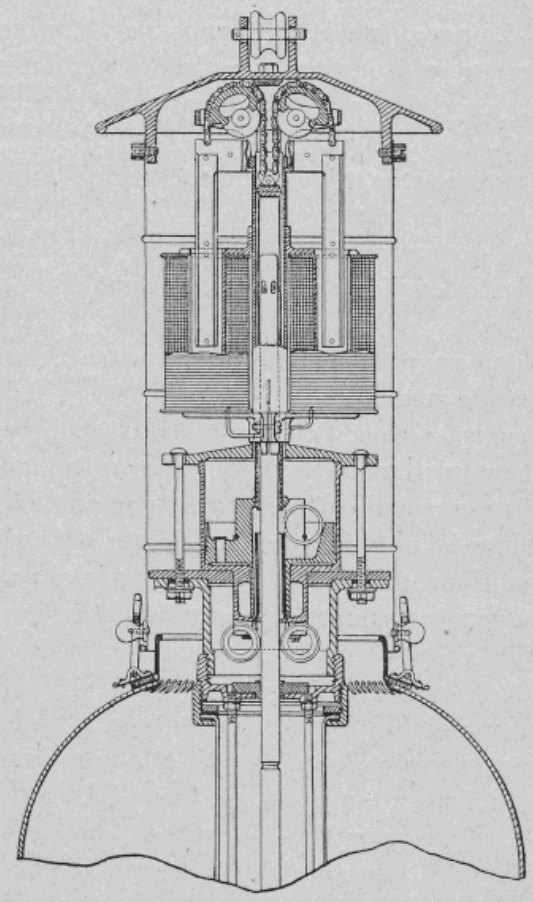


Fig. 172. — Lampe Jandus type AC.

La lampe type M a été établie pour remplacer les anciens modèles à deux paires de charbon. La duré moyenne d'éclairage avec une seule paire de charbons est de trente à cinquante heures. Le mécanisme est analogue à celui des lampes J, mais il est plus simple et plus robuste. Grâce à la forme rationnelle du globe, la consommation d'énergie, malgré le manchon opalin entourant l'arc, n'est que de 0,71 à 0,75 watt par bougie.

Pour terminer la série des lampes à arc Jandus à courant continu, il faut également mentionner le type P, qui permet d'obtenir un arc très long même sur des circuits à 110 volts et qui a été étudié spécialement en vue de son application aux travaux photographiques.

Les différents types de lampes à courant alternatif du système Jandus comportent tous un mécanisme identique.

Le dispositif de réglage est analogue à celui des lampes à courant continu. Il n'en diffère que par le modèle d'électro-aimant qui comporte deux bobines au lieu d'une. Le noyau mobile est en forme d'U renversé, transmettant son mouvement au porte-charbon supérieur par l'intermédiaire de chaînettes passant sur deux poulies. Les deux bobines sont montées en parallèle entre elles et en série avec l'arc. Le réglage de cette lampe s'effectue à l'aide d'une résistance ohmique ou d'une bobine de self placée extérieurement.

Le type de lampe AC (*fig.* 172) ne comporte qu'un vase clos simple ; il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

convient plus particulièrement aux éclairages d'intérieur. Il se monte toujours en dérivation sur des circuits où la tension est au moins de 90 volts et où la fréquence est comprise entre 40 et 90 périodes par seconde. L'intensité de courant nécessaire varie depuis 3,5 ampères jusqu'à 7 ampères.

Le type AJ, d'une hauteur plus grande, comporte, comme la lampe à courant continu type J, un double vase clos et convient surtout pour l'éclairage extérieur. Il se monte dans les mêmes conditions que le type précédent et les intensités varient depuis 5 jusqu'à 8 ampères.

Le type AP, identique aux précédents comme mécanisme, n'en diffère que par l'enveloppe extérieure spécialement étudiée pour les applications photographiques. Cette lampe exige un courant de 15 à 16 ampères et une différence de potentiel entre les deux charbons de 75 à 80 volts.

Tous les types de lampes à courant continu, sauf les types C et D peuvent, par l'adjonction d'un shunt, être montés en série. A cette catégorie appartiennent les types S^2 et S^3.

Le type S^2 est une modification du type J dont il ne diffère que par l'adjonction d'un enroulement en dérivation placé sur la même bobine que l'enroulement en série. Ces lampes se montent en série, sans dériveur, sur des circuits de 200 volts et au delà ; le nombre de lampes pouvant être montées sur chaque série peut être quelconque à la condition d'avoir une tension de 80 volts par lampe au-delà de deux.

Le type S^3, comme le précédent, est une modification du type J. Il comporte une bobine avec un enroulement en série et un enroulement en dérivation et, de plus, un dériveur automatique avec une résistance de substitution qui permet d'éviter l'extinction de toutes les lampes de la série quand un des arcs vient à s'éteindre. Ce type de lampe convient particulièrement pour les installations d'éclairage alimentées par des circuits de traction électrique dont la tension varie de 500 à 750 volts.

Il convient également de mentionner les lampes du type R, pour éclairage indirect, qui ne sont que des transformations des types AJ, D, J et S, déjà décrits et qui, naturellement, ont leur globe remplacé par un réflecteur.

Lampes à arc « Regina ». — La lampe Regina à arc en vase clos était exposée par la Regina Bogenlampenfabrik de Cologne. Cette lampe de 5 ampères sous 220 volts se monte par deux en tension. La durée des charbons est de trois cents heures en moyenne.

Cette lampe fonctionne avec une très grande précision, et son dispositif de réglage agit très rapidement.

La même Société exposait un modèle de lampe plus petit, désigné sous le nom de lampe Reginula ; la durée des charbons est, en moyenne,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de trente à quarante heures, lorsqu'elle est alimentée par un courant de 2 ampères. Son intensité lumineuse, avec un courant de 2 ampères sous 110 volts est de 150 bougies en moyenne.

Ces deux types de lampes se construisent également pour être alimentées par du courant alternatif à 40 ou 60 périodes. La durée des charbons pour la lampe Regina à courant alternatif est de cent cinquante heures et pour la lampe Reginula de vingt heures.

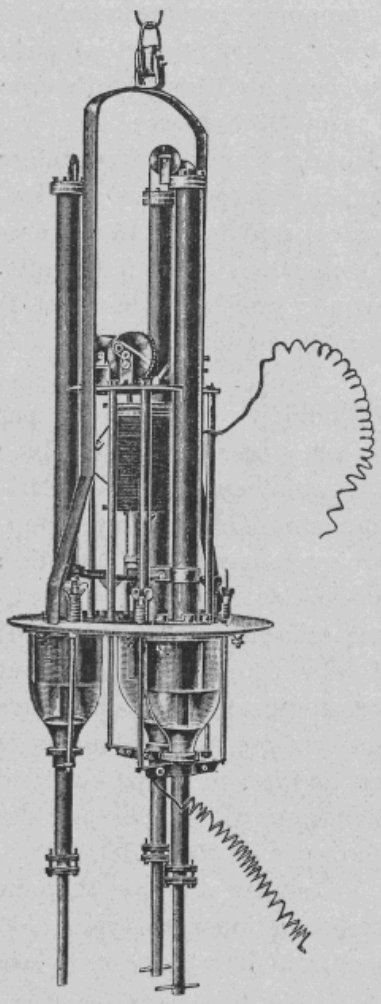


Fig. 173. — Lampe Vogel.

On voyait également, dans le stand de cette Société, des lampes de même système disposées pour les travaux de photogravure et dans lesquelles les radiations violettes prédominent.

Lampe Marks à arc en vase clos. — Ces lampes, exposées par la Société Gramme de Paris, se montent seules en dérivation sur les circuits à 110 volts.

Le vase clos garantissant l'arc des poussières, des corps inflammables et du contact de l'oxygène de l'air, permet d'obtenir une durée d'éclairage de cent à cent cinquante heures avec une seule paire de charbons, suivant les dimensions de ces derniers. L'usure des charbons ne dépasse pas 3 mm par heure, alors qu'elle atteint 40 mm dans les lampes ordinaires de même intensité.

De construction très simple, elles ont un fonctionnement très régulier.

Il se construit trois types de ces lampes pour courant continu exigeant respectivement des intensités de 1,5, 3 et 5 ampères et un seul type pour courant alternatif de 5 ampères.

Lampe Vogel. — Ce type spécial de lampe a été exposé par la Société Phœnix de Berlin. C'est une sorte de combinaison d'une lampe à longue durée et d'une lampe à vapeur de mercure. Le charbon inférieur est placé dans un amalgame et entre les deux charbons se forme un arc très long. La lampe exposée (*fig.* 173) était triple et pourvue d'un dispo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sitif commun de réglage. Elle est d'une très grande puissance lumineuse. Les charbons auraient, paraît-il, une durée de 1 600 heures. Ces lampes sont mises en circuit avec une résistance d'allumage. Suivant la nature de l'amalgame, la lumière est blanchâtre ou colorée.

Charbons pour lampes à arc. — La Compagnie française de charbons pour l'électricité, de Paris, exposait les différents modèles de charbons employés dans l'industrie électrique ; elle fabrique plus spécialement les crayons pour lampes à arc à courant continu et à courant alternatif et les charbons spéciaux utilisés dans les projecteurs. Dans la préparation de ces différentes sortes de charbons, on emploie des pâtes spéciales composées de graphite très pur et de noir de fumée, la composition variant suivant la nature du courant qui alimente les lampes. La mèche des charbons à âme est également de composition variable suivant les applications.

La Société « le Carbone », de Levallois-Perret, avait dans son stand de nombreux modèles de charbons pour lampes à arc.

LAMPES A INCANDESCENCE

Les différents constructeurs de lampes à incandescence s'efforcent de produire ces lampes à un prix aussi bas que possible et, d'autre part, à améliorer leur rendement, c'est-à-dire à augmenter leur puissance lumineuse pour une même dépense d'énergie.

La Société Gramme de Paris avait exposé des lampes de grande durée consommant 4 watts par bougie et des lampes de durée moyenne consommant de 2,5 à 3 watts par bougie pour des pouvoirs éclairants compris entre 1 et 100 bougies.

La même Société présentait également des guirlandes décoratives composées de 11 lampes montées en série et exigeant, pour chaque guirlande, une différence de potentiel de 110 volts. Ces lampes absorbent de 0,8 à 0,9 ampère et se prêtent parfaitement à la décoration des appartements.

Plusieurs exposants présentaient des lampes à incandescence portatives pour usines, mines, navires, etc., comportant une petite batterie d'accumulateurs destinée à alimenter la lampe ; entre autres, la Société anonyme des accumulateurs Chelin de Bruxelles qui exposait les lampes de sûreté Lindeman et la Société Gramme de Paris qui présentait une lampe portative de 8 bougies, fonctionnant sous 8 volts et dont la petite batterie d'accumulateurs assure une durée d'éclairage de trois heures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'Union électrique de Bruxelles, filiale de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft de Berlin, avait exposé ses divers types de lampes à incandescence ainsi que des lampes Nernst.

Enfin, la Société anonyme des accumulateurs Chelin, de Bruxelles, exposait des lampes à incandescence à filament en osmium du système Auer.

LAMPES SPÉCIALES

Lampe Cooper-Hewitt à vapeur de mercure. — La lampe Cooper-Hewitt était exposée par la Société anonyme Westinghouse de Paris. Cette lampe (*fig.* 174) est simplement constituée par un tube de verre, de 2,5 cm environ de diamètre, dans lequel on a fait le vide aussi complet que possible et qui contient une petite quantité de mercure. Aux deux extrémités de ce tube sont soudés deux fils conducteurs en fer constituant les électrodes de la lampe. Pour allumer la lampe, on fait basculer le tube de manière à faire couler le mercure d'une électrode à l'autre, en formant un filet liquide qui détermine ainsi un court-circuit momentané entre les deux électrodes. On laisse ensuite revenir le tube à sa position primitive et tout son intérieur s'illumine, la vapeur de mercure devenant incandescente. La figure représente une lampe type K, dont le tube a 114 cm de longueur et consomme 3,5 ampères sous 110 volts.

Pendant son fonctionnement, cette lampe ne dégage aucune vapeur à l'extérieur et il ne se produit ni perte ni usure de la matière illuminante. Comme le tube tout entier est illuminé, cette extrême diffusion de la lumière émise empêche la formation des ombres dans les locaux ainsi éclairés.

Le rendement lumineux de cette lampe par rapport à la quantité d'énergie électrique consommée est très élevé : il est environ 2,5 fois celui de la lampe à arc et 8 fois celui de la lampe à incandescence. En effet, tandis que la lampe à incandescence consomme de 3,5 watts à 4 watts par bougie sphérique, la lampe à arc 1,5 watt, la lampe à arc en vase clos 2 watts, la lampe à mercure ne consomme que 0,45 watt.

La lampe à vapeur de mercure produit une lumière qui, de près, paraît d'un beau blanc et qui, à distance, semble bleuâtre. Cette couleur de la lumière est naturellement la couleur caractéristique de la vapeur de mercure dont le spectre est totalement privé de rayons rouges, mais, par contre, est très riche en rayons verts, bleus et jaunes. L'absence de rayons rouges altère la couleur des objets éclairés, altération qui ne présente aucune importance pour la plupart des applications indus-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trielles auxquelles cette lampe est particulièrement destinée. Le blanc et le noir ne sont pas affectés, le bleu et le vert deviennent plus intenses, tandis que le rouge apparaît brun ou lilas foncé ; on peut, toutefois, éviter cette altération des couleurs en enveloppant les lampes d'une étoffe de soie teinte avec une substance telle que la rhodamine qui possède une vive fluorescence rouge.

Par contre, à cause de l'absence de rayons rouges, la lumière émise par la lampe à vapeur de mercure fatigue beaucoup moins les yeux que celle des autres sources lumineuses. Son emploi est donc tout indiqué pour effectuer des travaux nécessitant une attention soutenue et pour lesquels l'altération de certaines nuances rouges ne présente aucune

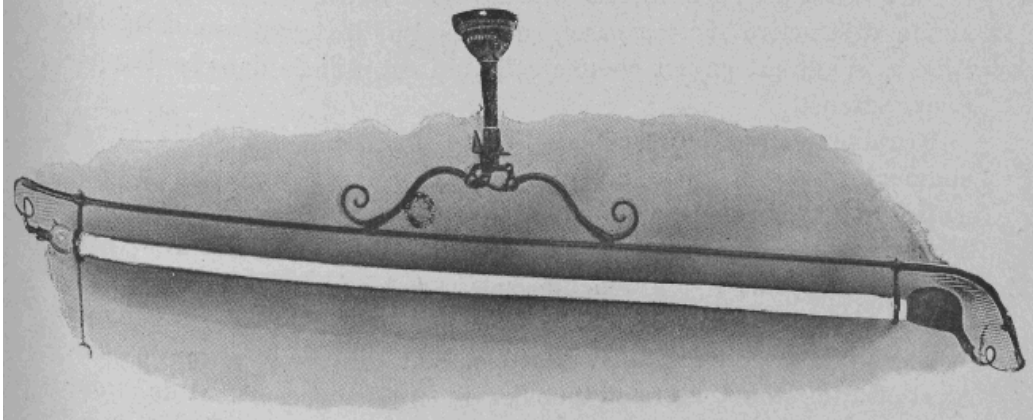


Fig. 174. — Lampe à mercure Cooper-Hewit.

importance.

Comme la lampe Cooper-Hewitt est très riche en rayons actiniques, elle est largement utilisée avec avantage en photographie et dans les industries qui en dérivent.

La nocivité des rayons rouges au point de vue physiologique et psychologique est bien connue ; or, comme la lumière émise par la lampe à vapeur de mercure est complètement privée de ces rayons, il est évident qu'elle ne peut exercer aucune action de ce fait, et l'on commet une erreur en attribuant à ce mode d'éclairage des effets aussi dangereux que ceux que produisent les rayons X.

Pour certaines applications thérapeutiques, telles que le traitement du lupus, on a construit des lampes à vapeur de mercure comportant un tube en quartz au lieu d'un tube de verre. Les tubes de verre ont la propriété d'arrêter les rayons ultra-violets et, en remplaçant le verre par le quartz, la lumière émise par la lampe contient tellement de rayons ultra-violets qu'elle est dangereuse pour la vue.

De nombreuses expériences, effectuées par M. Cooper-Hewitt, ont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

prouvé qu'une électrode en mercure n'offre que très peu de résistance au passage du courant lorsqu'elle sert d'anode et que, au contraire, elle présente une résistance très considérable lorsqu'elle est utilisée comme cathode, si sa surface ne se trouve pas maintenue à l'état de désagrégation continuelle par le passage d'un courant suffisamment intense, préalablement établi. Si on remplace le mercure par d'autres corps, on obtient les mêmes résultats; la *répugnance de la cathode* est donc une propriété générale que l'on peut toujours éviter en désagrégeant sa surface. Pratiquement, le mercure à l'état de pureté permet seul de constituer une cathode dont on puisse maintenir constamment la surface à l'état de désagrégation et qui se reconstitue d'elle-même au fur et à mesure de sa destruction. Les vapeurs de mercure n'exercent aucune action destructive sur les parois du tube qui les contiennent ou sur l'anode, si elle est en fer, comme celle qui est utilisée dans les lampes Cooper-Hewitt.

A égalité d'intensité de courant, l'intensité lumineuse de la lampe augmente avec la tension de la vapeur de mercure qui remplit le tube; mais, à partir d'une certaine limite, la différence de potentiel aux bornes, nécessaire pour faire passer le courant, augmente rapidement avec cette tension de vapeur. Il y a donc une valeur de la tension de vapeur pour laquelle le rendement lumineux atteint son maximum; cette valeur de la tension est voisine de 2 mm, correspondant à la température de 140°. A cet effet, il fallait donner au tube des dimensions permettant de maintenir sa température intérieure voisine de 140°. M. Cooper-Hewitt y est parvenu en disposant autour de la cathode une chambre de condensation de diamètre beaucoup plus grand que celui du tube. C'est contre les parois de cette chambre que se condense la majeure partie des vapeurs émises à la cathode et c'est à travers ces parois que se dissipe la presque totalité de la chaleur produite.

Pour que le fonctionnement de la lampe soit régulier, autrement dit que son régime soit stable, la différence de potentiel aux bornes nécessaire doit passer par un minimum, pour une intensité déterminée de courant, intensité qui est de 3,5 ampères pour toutes les lampes. On monte à cet effet une résistance ohmique en série avec la lampe, comme s'il s'agissait d'une lampe à arc, pour qu'une augmentation d'intensité amène une chute de tension et tende, par suite, à ramener l'intensité à sa valeur normale, et réciproquement. Le résultat voulu est ainsi obtenu avec une grande approximation; mais, pour une lampe fonctionnant à 3,5 ampères sous 50 volts, on perd dans la résistance environ 22 volts, ce qui, toutefois, n'empêche pas le rendement industriel d'être très élevé, puisque la consommation totale d'énergie n'est que de 0,45 watt par bougie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour obtenir encore plus de stabilité dans le fonctionnement de sa lampe, M. Cooper-Hewitt met simultanément en série avec la lampe la résistance ohmique et une bobine de self-induction, cette dernière servant à empêcher les variations brusques de l'intensité du courant, variations qui tendent toujours à se produire dans les tubes à vide.

Traitées avec soin, les lampes Cooper-Hewitt ont une durée minimum de 1 000 heures ; la moyenne de leur durée varie généralement de 2 000 à 5000 heures.

Actuellement ces lampes ne fonctionnent qu'avec du courant continu sous des tensions variant de 60 à 150 volts. Lorsqu'on dispose de tensions plus élevées, on peut monter plusieurs lampes en série. Toutes fonctionnent au régime normal de 3,5 ampères. La lampe à courant alternatif est actuellement à l'étude.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE IV

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Après avoir décrit les différents types de lampes ayant figuré à l'Exposition de Liège, il est nécessaire de donner quelques détails sur les installations d'éclairage électrique.

Décorations électriques Paz et Silva. — Ce matériel, spécialement étudié, comporte des bandes souples, des moulures et des panneaux.

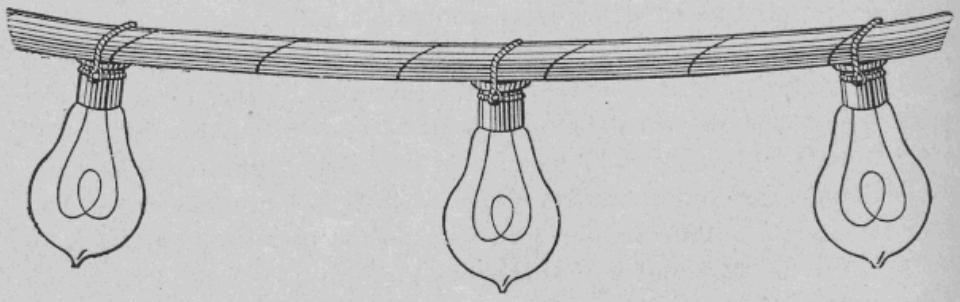


Fig. 175. — Bande souple Paz et Silva.

La bande souple (*fig.* 175) est un câble spécial à deux conducteurs, constitués chacun par un grand nombre de fils de cuivre très fins ; les deux conducteurs de polarité différente sont séparés par du ruban d'amiante et sont ainsi parfaitement isolés l'un de l'autre.

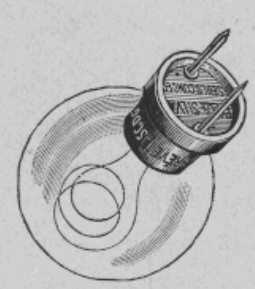


Fig. 176.
Lampe à pointes.

Ces bandes souples peuvent épouser la forme de tous objets, former ainsi des guirlandes, des monogrammes, des bouquets lumineux, etc. Sur ces bandes, on place où l'on veut et comme on le veut, des lampes à incandescence spéciales (*fig.* 176) dont le culot porte deux pointes métalliques servant en même temps de prise de courant, supprimant ainsi toute douille intermédiaire. Grâce à ce dispositif ingénieux,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les fils de communication habituels sont inutiles, les lampes ou autres appareils, tels que fleurs lumineuses, se fixent facilement sur la bande souple, et l'on obtient un excellent contact électrique sans court-circuit possible.

La bande souple convient tout particulièrement pour réaliser rapidement des éclairages provisoires pour illuminations de places publiques, de jardins, de parcs, de halls, de salons, de magasins, d'expositions, etc.

Les moulures (*fig.* 177) sont rigides; elles peuvent se placer et se déplacer à volonté et, comme sur les bandes souples, on peut piquer, sur leur surface et à n'importe quel endroit, des lampes à pointes, ce qui permet de modifier à volonté l'importance de l'éclairage. Ces moulures, constituées d'une manière analogue aux bandes souples, sont munies d'anneaux d'accrochage et d'une prise de courant fixée à l'extrémité d'un câble souple à deux conducteurs.

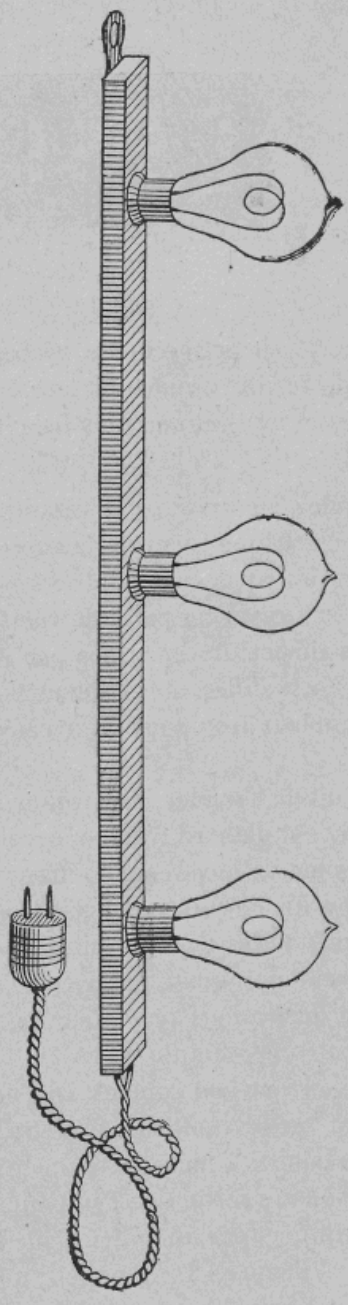


Fig. 177. — Moulure Paz et Silva.

L'emploi de ces moulures est tout indiqué pour les éclairages de plafonds, les encadrements lumineux, l'éclairage des vitrines de magasins, de bureaux, d'appartements, de théâtres, etc.

Les panneaux électriques (*fig.* 178) se construisent de toutes dimensions et sont disposés pour que l'on puisse piquer sur leur surface, à volonté et sans place déterminée, des lampes à pointes ou des fleurs lumineuses.

Lorsque le panneau doit servir d'enseigne, on utilise, pour placer les lampes, des formes mobiles en zinc représentant des lettres; ces formes sont percées, aux endroits convenables, de trous destinés à indiquer la position des lampes.

On obtient un motif de décoration du plus bel effet, en utilisant ces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

panneaux comme surtouts de table; on les garnit alors de fleurs, de guirlandes et de bouquets lumineux.

Il est facile de comprendre qu'un matériel tel que celui qui vient



Fig. 178. — Panneau Paz et Silva.

d'être décrit permette de réaliser, en quelques heures, avec la plus grande facilité et surtout très économiquement, les décorations lumineuses et les illuminations les plus importantes.

Perles électriques Weissmann. — Il est incontestable que l'éclairage électrique se prête beaucoup mieux que l'éclairage au gaz à la décoration artistique, tout en présentant le grand avantage d'être infiniment supérieur au point de vue hygiénique.

Les dispositifs imaginés par M. Weissmann sous le nom de *perles électriques* diffèrent totalement des appareils d'éclairage usuels, qui ressemblent trop souvent à ceux qui sont utilisés pour l'éclairage au gaz.

Avant de signaler les avantages que comporte l'emploi de ces perles, il convient d'abord d'en donner la description.

Comme on le voit sur la figure 180, les conducteurs sont constitués par des fils de cuivre nus sur lesquels sont enfilées des perles en cristal, se touchant les unes les autres, de manière à ne laisser entre elles aucun intervalle qui puisse permettre l'accès des conducteurs.

Les dérivations prises sur les conducteurs L (*fig.* 179, I et III) pour alimenter les lampes, sont établies à l'aide d'une torsade très serrée *e* qui assure un bon contact. Des perles spéciales *b*,*b*, à ouverture centrale évasée, recouvrent cette ligature en torsade.

Les lampes à incandescence n'ont pas de culot métallique. Les deux conducteurs sortant de l'ampoule sont nus et isolés à l'aide de perles; ils se terminent par un œillet *o* que l'on place dans un crochet *k*, après avoir soulevé jusqu'en P_1 la perle P qui recouvre ce dernier; une fois la connexion établie, il suffit de laisser retomber la perle P. Un tube de cristal *t* protège le conducteur dans la partie située au-dessus de la perle et permet, vu son faible diamètre, de relever la perle P lorsqu'il est nécessaire d'accrocher ou de remplacer une lampe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Toutes les parties constitutives des appareils d'éclairage réalisés avec des perles Weissmann sont en cristal, matière isolante et incombustible. Les conducteurs sont ainsi protégés parfaitement, et il ne peut se produire de courts circuits entre conducteurs de polarité différente, puisqu'ils sont toujours complètement noyés dans une gaine de cristal. Il en est de même des points de connexion qui sont toujours recouverts d'une perle spéciale pouvant se déplacer.

Dans ces conditions, les conducteurs présentent une grande surface de refroidissement puisque l'air circule entre eux et les perles isolantes;

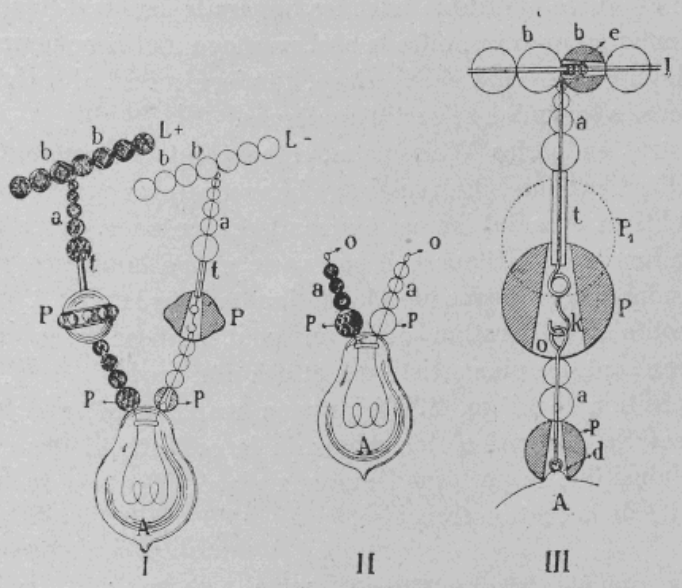


Fig. 179. — Perles Weissmann.

il n'y a donc plus à craindre que des échauffements anormaux viennent détériorer l'isolant, comme cela se produit dans les câbles isolés au caoutchouc.

Il convient également de signaler que le contact des fils de la lampe avec les conducteurs de la canalisation est beaucoup mieux assuré que celui que l'on obtient avec les douilles usuelles qui donnent lieu parfois à des dérangements, soit parce que le culot de la lampe est mal vissé dans sa douille, soit parce que les ressorts, dans la douille à baïonnette, ont perdu leur élasticité.

Les appareils en perles Weissmann permettent de faire varier à volonté le nombre de lampes en service, sans rien déplacer ni déranger. Le montage de ces appareils est des plus simples et des plus rapides.

D'autre part, ces appareils sont facilement transportables, toujours

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

prêts à être reliés à la canalisation et beaucoup plus légers que les appareils usuels. Dans ces conditions, ils permettent de réaliser rapidement des installations provisoires sans détériorer les murs, les fonds, etc.

L'emploi des perles Weismann permet d'obtenir un meilleur éclairement avec une moindre dépense d'énergie électrique, puisque, grâce à leur facilité d'installation, il est possible d'utiliser les glaces comme réflecteurs. De plus, ces appareils comportant des pendentifs taillés en prisme, on obtient des effets de lumière très agréables, lorsque l'appareil est en forme de guirlande placée devant une glace. Ce mode de décoration qui n'est guère réalisable avec les appareils usuels d'éclairage, tels que les appliques murales, offre le réel avantage d'utiliser pour l'éclairement la lumière réfléchie par la glace, lumière qui est absorbée par les parois murales lorsqu'on se sert d'appliques.

Les lustres en perles Weissmann, comportant des pendentifs et des perles taillées, produisent un éclairage beaucoup plus agréable que celui que l'on obtient avec des lampes à incandescence nues, grâce à la diffusion de la lumière. L'œil aperçoit une vaste nappe lumineuse au lieu de points lumineux fixes beaucoup plus fatigants pour la vue.

Les motifs de décoration que l'on peut réaliser avec les perles Weissmann sont des plus artistiques et des plus variés.

A l'Exposition de Liège, M. Weissmann avait réalisé, avec ses perles lumineuses, la décoration des salons de la collectivité des couturiers français, ainsi que le portique lumineux placé à l'entrée du groupe de l'Électricité de la section française.

Décorations électriques Véry. — M. Véry, de Paris, avait exposé un portique avec des motifs de décoration et des lettres lumineuses qui était du plus gracieux effet.

Bronzes d'éclairage et lustrerie. — M. E. Guinier, de Paris, avait une fort belle exposition comportant un grand nombre de bronzes d'éclairage, de modèles spécialement étudiés pour l'éclairage électrique et les décorations lumineuses. A signaler spécialement dans cette exposition très artistique trois frises lumineuses, l'une en style moderne, l'autre en style Louis XV, et la troisième en style Louis XVI.

Dans ces motifs de décoration, M. Guinier a cherché à conserver les lignes architecturales et à illuminer les motifs de décoration eux-mêmes, tels que les corniches, les coquilles, etc.

Un certain nombre de lustres figuraient également dans ce stand et M. Guinier a cherché et a réussi à donner aux modèles qu'il a créés un cachet artistique. Au lieu d'appliquer l'électricité à des modèles exis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tant, il a placé les lampes à incandescence dans des fleurs en cristal ou dans divers motifs de décoration du plus bel effet.

Parmi les constructeurs belges, il convient de citer les belles et importantes expositions de bronzes d'art et de lustres appliqués à l'éclairage électrique : de MM. H. Luppens et Cie, de Bruxelles ; de la Société anonyme Lempereur et Bernard, de Liège ; de MM. Moreau frères, de Liège ; de MM. Serrurier et Cie, de Liège ; de M. J. Wilmotte fils, de Liège.

Dans la section allemande, M. Theo. Cossman, d'Aix-la-Chapelle, exposait des montures en bois pour lustres et autres appareils d'éclairage.

Phares et projecteurs de la maison Barbier, Bénard et Turenne, de Paris. — L'exposition très importante de cette maison comportait des appareils très intéressants, parmi lesquels nous citerons les suivants :

1° Un appareil de feu-éclair permanent de quatrième ordre de 50 cm de diamètre et de 25 cm de distance focale, tournant au moyen d'un moteur électrique ; ce feu peut fonctionner pendant plus de deux mois sans aucune surveillance. Le moteur absorbe 0,2 ampère sous 6 volts et est alimenté par une batterie de piles.

2° Une bouée flottante munie de deux lampes dont une seule fonctionne et dont l'autre, de réserve, est mise automatiquement en circuit si la première ne fonctionne plus. Cette lampe est alimentée par une batterie de piles logée dans un coffre étanche. Cette bouée peut être munie d'une horloge à contacts provoquant l'extinction de la lampe pendant le jour et son allumage pendant la nuit.

3° Plusieurs modèles de phares électriques et de projecteurs pour la marine et pour les théâtres. A signaler tout spécialement les projecteurs à anneaux catadioptriques qui remplacent avantageusement les projecteurs à miroir en verre travaillé et argenté, car ils sont beaucoup moins fragiles, présentent moins d'encombrement, nécessitent des porte-charbons beaucoup plus courts et peuvent, enfin, se construire de diamètres aussi grands que l'on veut.

4° Un groupe électrogène à vapeur pour l'éclairage des bateaux.

5° Des lampes électriques d'un type spécial pour les phares.

Appareils de projection de MM. Radiguet et Massiot, de Paris. — Cette maison avait, dans son stand, différents modèles d'appareils pour projections scientifiques et de théâtre, entre autres un appareil de projection portatif, un projecteur universel à lentilles pour éclairage de scènes de théâtre, un projecteur de marine, divers modèles de cinématographes projecteurs, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Installations d'éclairage électrique des Palais et Jardins de l'Exposition. — Plusieurs maisons belges avaient entrepris les installations d'éclairage de l'Exposition. Il convient de citer tout particulièrement les suivantes :

MM. Andouche et Leclercq, de Charleroi, qui avaient installé environ 2500 lampes à incandescence et 100 lampes à arc dans le jardin d'acclimatation et dans diverses constructions ;

Les ateliers Tantôt frères, d'Etterbeek-Bruxelles, constructeurs de mâts métalliques de 10 mètres servant de support à des lampes à arc ;

La Mutuelle électrique de Liège, société coopérative ayant comme participants : la Compagnie internationale d'électricité de Liège, les ateliers de constructions électriques de Charleroi, la Société anonyme Force-Éclairage de Bruxelles, la Compagnie auxiliaire d'électricité, la Regina Bogenlampenfabrik et la Compagnie Jandus. Cette Société avait installé environ 10 000 lampes à incandescence, 500 lampes à arc, des jeux de lumière aux arènes liégeoises et des illuminations ;

La Société anonyme « les Ateliers de Rœulx » qui a construit et installé des mâts en fonte de 16 m et de 10 m pour supporter les lampes à arc éclairant les parcs et jardins ;

La Société civile des usines et mines de houille du Grand-Hornu, près Mons, qui a également exposé des mâts en fer de 12 m de hauteur.

Enfin, la Société anonyme des forges et ateliers de Tyberchamps qui présentait aussi des mâts en fer.

Éclairage électrique des trains de chemin de fer, système Lhoest-Pieper. — La Compagnie internationale d'électricité de Liège exposait le matériel spécial d'éclairage des trains, du système Lhoest-Pieper, appliqué déjà avec succès sur plusieurs trains de l'État Belge.

Le groupe électrogène (*fig.* 180) est placé sur la chaudière, en arrière du dôme de vapeur. Excessivement compact et robuste, il se compose d'un moteur à vapeur à grande vitesse angulaire accouplé directement à une dynamo à enveloppe hermétique. La vapeur nécessaire est prise directement sur la chaudière de la locomotive.

Le moteur à vapeur, à simple effet, est à couple constant et à vitesse angulaire variable ; son degré de détente est déterminé pour le maximum de rendement, quelle que soit la charge. Il est parfaitement équilibré et peut prendre une vitesse angulaire dépassant 1 000 t : m sans aucune vibration. Les purgeurs sont automatiques.

La dynamo hermétique rappelle, par certains détails de construction, les moteurs de tramways ; elle est à champ constant et ne comporte pas de rhéostat d'excitation. Elle est à quatre pôles avec épanouissements polaires feuilletés qui sont appliqués sur les faces alésées des noyaux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

polaires, venus de fonte avec la carcasse. La carcasse est coulée en deux pièces assemblées, à l'aide de charnières, suivant un plan horizontal passant par l'axe de l'induit.

La carcasse enveloppe complètement les inducteurs, l'induit, le collecteur et les balais, mettant ainsi toutes les parties à l'abri de la poussière et de l'humidité.

A la partie supérieure, au-dessus du collecteur, est pratiquée une ouverture munie d'un couvercle hermétique permettant l'examen facile du collecteur et le renouvellement rapide des balais.

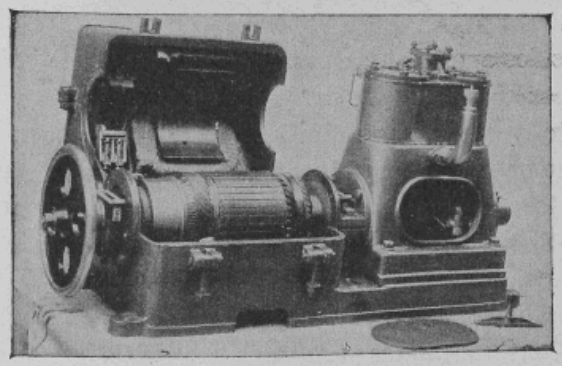


FIG. 180. — Groupe électrogène à courant continu.

Les porte-balais sont fixés rigidement à une pièce isolante boulonnée sur la demi-carcasse supérieure.

Cette dynamo débite normalement 40 ampères et la force électromotrice maximum peut atteindre 250 volts.

Sur la locomotive, dans la cabine de manœuvre, se trouvent à la fois l'appareil de mise en marche de l'éclairage dit « démarreur » et l'indicateur d'accouplement du train ou « amorceur ».

Ces deux appareils, d'une grande simplicité, réduisent au minimum le travail du mécanicien qui se borne chaque jour à une mise en marche et à un arrêt du groupe, quelles que soient, en cours de route, les modifications que subit le train remorqué (manœuvres, ruptures d'attelages, adjonction ou retrait de voitures, mise en éclairage ou extinction volontaire d'une ou de plusieurs voitures, etc.).

Tout le réglage est absolument automatique, toutes les sûretés possibles sont prévues, et il n'en résulte aucune perturbation pour le fonctionnement du groupe électrogène.

Le service sur la locomotive est d'une telle simplicité qu'on n'a pas jugé utile d'utiliser d'instruments de mesure électriques ou mécaniques.

De la locomotive, le circuit se continue sur le tender à l'aide d'accouplements spéciaux à boîte de jonction étanche, avec câble souple armé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'acier, puis du tender aux voitures composant le train à l'aide de l'accouplement « type » placé sur les faces d'attelages.

En principe, cet accouplement se compose de deux pièces formant contact à emboîtement, avec fixation à baïonnette. L'une de ces pièces, la douille, est directement fixée, l'ouverture par le bas, à la paroi de la voiture ; l'autre, le manchon, est reliée à cette paroi, symétriquement à la douille, par un câble souple armé d'acier, d'une longueur d'environ 2 m.

Le montage est identique sur les faces avant et arrière des voitures de telle manière :

1° Qu'un manchon se présente toujours en face d'une douille, et réciproquement ;

2° Que tous les appareils de connexion nécessaires soient suffisants par eux-mêmes ;

3° Que toute erreur de formation de circuit soit évitée.

Au milieu du câble souple des manchons se trouve le joint de sécurité en cas de rupture d'attelage. Ce joint est composé de deux pièces en bronze à emboîtement, solidement reliées par un tube en caoutchouc qui les enveloppe.

Dans le cas d'une traction exagérée du câble, le joint cède plutôt que d'amener la détérioration des parois des véhicules.

La remise en place immédiate n'offre aucune difficulté.

Outre la batterie d'accumulateurs, chaque voiture porte, comme dispositif spécial, un appareil magnétique dit conjoncteur (*fig.* 181).

C'est un simple électro-aimant très robuste et très compact, à armature libre, produisant les contacts nécessaires ; il est fixé sur l'impériale de chaque voiture et ne fonctionne qu'à la mise en marche ou à l'arrêt du groupe électrogène.

Cet appareil ne nécessite aucun réglage et n'a pas de position intermédiaire de fonctionnement ; il est hermétiquement enfermé dans une caisse possédant un voyant indiquant que la batterie est en charge.

Son poids est de 12 kg ; il cube $13 \times 20 \times 25$ cm.

La batterie d'accumulateurs peut être réduite au minimum, les éléments étant toujours en équilibre de tension avec la ligne. Toutes les batteries ont une capacité suffisante pour assurer l'éclairage de chaque voiture pendant trois heures.

Ce temps est bien suffisant lorsque les voitures sont séparées de la locomotive pendant les manœuvres de gare ou si, pour une cause quelconque, il fallait arrêter momentanément le groupe électrogène.

Ces batteries se composent de huit éléments pour l'éclairage des voitures de première et de deuxième classe et de six éléments pour les voitures de troisième classe.

La locomotive porte à l'avant une batterie de huit éléments répartis

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par moitié de chaque côté et fournissant l'éclairage à la cabine de manœuvre, au fanal, au fourgon, etc.

Le mécanicien, par la seule manœuvre d'une fiche, peut, pour la marche en arrière, transformer le feu blanc en feu rouge.

Les accouplements dont nous avons parlé plus haut permettent d'établir, dans l'ensemble du train, un circuit fermé, unique et complet, où tous les conjoncteurs et batteries sont disposés en série.

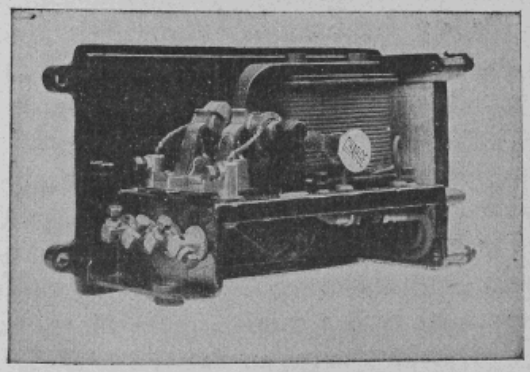


Fig. 181. — Conjoncteur-disjoncteur automatique.

La mise en marche s'effectue par l'ouverture d'une vanne ; dès que l'on ouvre celle-ci, la vapeur traverse d'abord un détendeur maintenant sur le groupe électrogène une pression constante de 5 à 6 kg : cm².

A sa sortie du détendeur, la vapeur rencontre une seconde vanne qui est commandée par le démarreur.

Le démarreur est du type coupleur de traction à deux crans. Dès que le chauffeur l'amène au premier cran, la vanne s'ouvre, un filet de vapeur se rend au moteur, tandis que le courant de trois éléments amorce la dynamo.

Le démarrage effectué, on passe au second cran, et le moteur à vapeur prend sa vitesse de régime.

Lorsque la tension est devenue suffisante, l'appareil dit « amorceur » ferme automatiquement le circuit principal qui alimente les conjoncteurs, les batteries et l'éclairage ; l'extinction générale s'opère simplement par la fermeture de la vanne.

Cette disposition permet donc l'allumage et l'extinction simultanés par le chauffeur. Cette disposition est précieuse lorsque le train doit franchir de longs tunnels pendant le jour.

L'équipement des voitures permet l'allumage et l'extinction par l'extérieur; chaque voiture porte sur l'une ou l'autre paroi longitudinale un interrupteur, de sorte que pendant les stationnements le surveillant n'a jamais à pénétrer dans les voitures, ni à passer d'un côté à l'autre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du train, ni encore à circuler sur les impériales pour y procéder.

Dans les trains à intercirculation, l'allumage ou l'extinction peut, de plus, se faire de l'intérieur, même pendant la marche du train.

En résumé, lorsque l'éclairage est établi par le mécanicien, les lampes sont alimentées par le groupe électrogène et la batterie (marche en parallèle); lorsque, au contraire, le surveillant procède à l'allumage, les lampes sont alimentées par la batterie seule.

La manœuvre du mécanicien est donc extrêmement simple, et il est inutile qu'il possède la moindre notion d'électrotechnique.

Les appareils automatiques assurent le démarrage du groupe, l'établissement des circuits et le réglage de la vitesse pour le maintien de la constance du courant. Lorsque, dans les manœuvres de décomposition du train, on rompt le circuit, c'est automatiquement encore que le groupe est mis dans l'impossibilité de s'emballer.

Le régime de charge se rétablit automatiquement dès que le circuit général est rétabli.

Le mécanicien peut se rendre compte de ces faits par l'examen d'un avertisseur à voyant, établi à sa vue sur la plate-forme de la locomotive.

Appareillage électrique. — La plupart des exposants constructeurs présentaient leurs modèles d'appareillage électrique pour installations d'éclairage, modèles qu'ils cherchent à établir à des prix modérés, tout en leur conservant les qualités nécessaires.

Interrupteurs. — Indépendamment des modèles ordinaires bien connus, il y a lieu de citer, parmi ceux qui présentent un caractère de nouveauté, l'interrupteur bipolaire de 15 ampères, exposé par la Société industrielle des Téléphones de Paris. Cet interrupteur est placé dans un coffret vitré, établi sur un socle en porcelaine sur lequel sont montés quatre porte-balais en cuivre; sur l'axe, les lames du ressort formant contact sont écartées par deux goupilles, ce qui assure ainsi un bon contact, en même temps qu'une rupture brusque au moment de l'ouverture du circuit.

La même Société présentait un interrupteur bipolaire avec coupe-circuit, un grand nombre d'autres modèles montés sur ivorine et notamment un interrupteur à deux directions, à mouvement rotatif, permettant d'allumer à volonté une lampe, une seconde lampe, les deux à la fois ou bien de produire l'extinction.

La Société d'appareillage électrique Grivolas de Paris exposait de nouveaux interrupteurs à poussoir, plus élégants que les interrupteurs à clé, se manœuvrant plus facilement et, de plus, très robustes; elle exposait également des interrupteurs à bascule en ivorine et des interrupteurs de dimensions très réduites pour automobiles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Interrupteurs à distance. — La Société industrielle des Téléphones, de Paris, présentait un modèle d'interrupteur destiné à allumer ou à éteindre des lampes à distance. Il se compose essentiellement de deux bobines avec noyau de fer; l'interrupteur proprement dit est monté sur une armature de fer doux qui peut osciller autour d'un axe parallèle à la droite qui joint les centres des bobines. En appuyant sur un bouton, on envoie le courant dans les bobines, l'armature oscille et l'interrupteur se ferme. Pour provoquer l'ouverture du circuit, il suffit d'appuyer sur le même bouton pour que l'armature soit attirée en sens contraire et l'interrupteur s'ouvre. Pour actionner ces interrupteurs on utilise des piles.

La même Société exposait une pendule d'allumage produisant automatiquement l'allumage et l'extinction à des heures déterminées pour un éclairage public. A une heure déterminée, cet appareil produit l'allumage de lampes à arc, par exemple, restant en service jusqu'à une heure déterminée; à ce moment, l'appareil fonctionne de nouveau pour éteindre les arcs et fermer en même temps le circuit des lampes à incandescence qui doivent assurer l'éclairage pendant le reste de la nuit, pour ensuite ouvrir ce circuit dès que l'heure d'extinction est arrivée.

La Société d'appareillage électrique Grivolas, de Paris, exposait un conjoncteur-disjoncteur horaire automatique, comportant une horloge à ancre marchant quinze jours, avec cadran divisé en vingt-quatre heures. Sur ce cadran est disposé un second cadran comportant également vingt-quatre heures, divisées par demi-heures, et au centre duquel se trouvent deux aiguilles mobiles que l'on peut placer à volonté sur des heures déterminées; une de ces aiguilles provoque l'allumage et l'autre l'extinction. La fermeture et la rupture du circuit s'effectuent par l'intermédiaire d'une fourche en cuivre plongeant dans des godets à mercure.

La Société Grivolas exposait également un allumeur extincteur automatique à remontage électrique, réglable de une à cinq minutes. Cet appareil permet l'allumage temporaire de plusieurs lampes à partir d'un nombre quelconque de points et est commandé électriquement à l'aide de boutons de sonnerie installés en ces différents points. Il se compose d'un solénoïde à noyau mobile, et le déplacement de ce dernier produit chaque fois le remontage du mouvement d'horlogerie servant de régulateur. Une tige, placée à l'intérieur de la boîte, porte une fourche en cuivre solidaire du levier fixé sur le noyau mobile ; cette tige s'abaisse à chaque attraction du noyau et fait plonger la fourche dans des godets à mercure, fermant ainsi le circuit qui est rompu brusquement lorsqu'une came, placée sur le levier, se dégage des tenons enclenchés par le mouvement d'horlogerie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le stand de la même Société figurait un allumeur-extincteur à thermomètre, permettant de réaliser une minuterie à bon marché et destiné à donner l'éclairage dans l'escalier ou l'entrée d'un appartement pendant un temps déterminé. Il se compose d'un électro-aimant recevant le courant au moyen d'un bouton de sonnerie ; aussitôt la lampe s'allume et l'armature de l'électro se trouvant attirée, le courant continue à passer dans l'électro par l'intermédiaire de l'armature. Un thermomètre à mercure, muni de contacts en platine, monté en dérivation sur la bobine de l'électro, est disposé dans l'appareil près de la lampe et se trouve chauffé par cette dernière. Dans ces conditions, le mercure monte et, dès qu'il atteint le contact supérieur, le courant passe par le mercure du thermomètre, l'électro cesse d'attirer son armature et l'extinction se produit.

La Société industrielle des Téléphones et la Société Grivolas exposaient aussi divers modèles de minuteries permettant d'obtenir l'allumage temporaire de plusieurs lampes en agissant sur des boutons placés en des endroits quelconques.

Coupe-circuit. — La Société d'appareillage électrique Grivolas, de Paris, présentait un modèle de coupe-circuit double avec commutateur, permettant de rétablir immédiatement le circuit sur un nouveau fusible lorsque le premier a fondu ; des coupe-circuit avec barrettes interchangeables, montés sur porcelaine et munis d'un dispositif spécial empêchant de placer un autre fusible que celui du modèle prévu pour l'intensité déterminée.

La Société industrielle des Téléphones de Paris et la Manufacture parisienne d'appareillage électrique présentaient des types nombreux de coupe-circuit.

Prises de courant. — Parmi les nombreux modèles exposés et de disposition bien connue, il convient de signaler un modèle à interrupteur, présenté par la Société d'appareillage électrique Grivolas, et muni d'un dispositif ingénieux, dû à M. Eug. Sartiaux, permettant l'enclenchement de la prise de courant pendant que l'interrupteur est fermé et empêchant de retirer le bouchon tant qu'il n'est pas ouvert. A signaler également des prises de courant spéciales pour installations de théâtres, exposées par la même Société.

La Société industrielle des Téléphones présentait de nombreux modèles de prises de courant en matière moulée.

Matériel isolant pour installations. — La Bergmann Elektricitäts Werke de Berlin avait exposé toute une collection de tuyaux isolants et d'articles spéciaux pour l'établissement des canalisations intérieures d'éclairage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SEPTIÈME PARTIE

INSTRUMENTS DE MESURE

CHAPITRE I

INSTRUMENTS DE MESURE POUR TABLEAUX DE DISTRIBUTION

INSTRUMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Ampèremètres et voltmètres à bobine fixe et à fer doux mobile. — Ces instruments sont trop bien connus pour qu'il soit nécessaire d'en donner une description détaillée ; nous nous bornerons, par conséquent, à signaler les particularités qui caractérisent les instruments présentés par les différents exposants.

MM. Chauvin et Arnoux, de Paris. — Ces instruments sont constitués par une bobine ayant comme noyau une bande de tôle mince de forme circulaire et dont une des extrémités est repliée, suivant un rayon de la circonférence, pour venir se terminer au centre de cette dernière ; une plaque de tôle en forme de volet, également très mince et mobile autour de deux pivots fixés au centre de la même circonférence, peut venir s'appliquer contre la partie repliée du noyau. Lorsqu'un courant circule dans la bobine, le noyau s'aimante, et le volet mobile, en contact avec lui, prend la même polarité ; il y a, par conséquent, répulsion. L'aiguille indicatrice, solidaire du volet, suit son déplacement et se meut devant les divisions du cadran gradué. Comme couple antagoniste, on utilise un ressort spiral qui tend constamment à ramener l'aiguille au zéro de la graduation. L'aiguille indicatrice étant équilibrée, l'instrument peut fonctionner dans toutes les positions.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La série de ces instruments, dite de demi-précision, a été l'objet de nombreux perfectionnements. Comme on le voit sur la figure 182, l'aiguille est visible dans toute sa longueur, ce qui facilite les lectures à distance, et elle est munie d'un amortisseur à air. De plus, le faible volume du fer, constituant le noyau de la bobine et le volet mobile, permet sa saturation complète dès le premier tiers de la déviation, ce qui diminue fortement les effets d'hystérésis lorsque l'instrument est utilisé pour la mesure des courants continus. En ce qui concerne l'emploi de ces

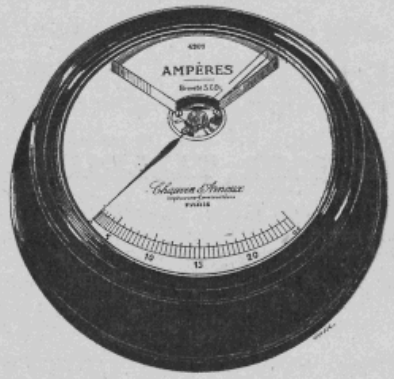


Fig. 182. — Voltmètre Chauvin et Arnoux.

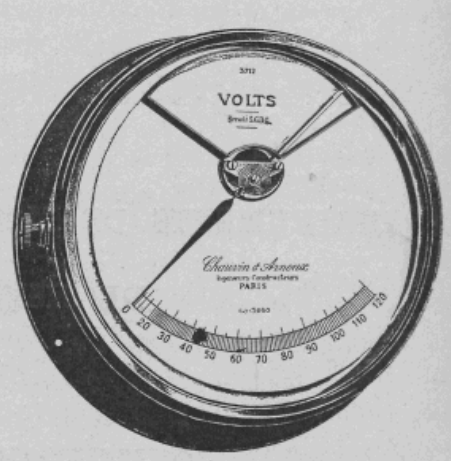


Fig. 183. — Ampèremètres Chauvin et Arnoux avec boîtier isolant.

instruments pour la mesure des courants alternatifs, le dispositif électromagnétique employé a permis de réduire le coefficient de self-induction à une valeur assez faible, pour toutes fréquences.

Parmi les modèles de cette série, il convient de citer celui à haute isolation avec boîtier en ivorine (*fig.* 183) qui peut être mis directement en circuit sur les installations à haute tension, solution plus économique que l'emploi d'un transformateur spécial. A noter également, le modèle à simple isolation, utilisé avec un transformateur de mesure, pour circuits à haute tension.

M. J. Richard, de Paris. — Ces instruments très robustes sont susceptibles de fonctionner aussi bien avec le courant alternatif qu'avec le courant continu. Généralement ce genre d'instruments présente l'inconvénient de manquer d'apériodicité ; mais M. J. Richard a su éviter ce défaut en utilisant un amortisseur à air constitué par une simple lame, fixée à l'aiguille indicatrice et mobile dans une boîte à air affectant la forme d'un secteur (*fig.* 184). Cet amortisseur permet de régler le degré d'apériodicité de l'instrument à l'aide d'une lame-ressort fermant la boîte plus ou moins complètement. Grâce à la faible masse de l'équipage

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mobile en tôle de fer et à la qualité du métal employé, ces instruments ont très peu d'hystérésis. Ils sont établis de manière à pouvoir rester constamment en circuit et sont construits pour être logés dans des boîtiers de 125, 180 et 250 mm de diamètre. Les ampèremètres de ce type sont munis d'une petite aiguille aimantée indiquant le sens du courant circulant dans la bobine de l'instrument. Lorsque ces instruments doivent fonctionner avec des courants alternatifs, il est nécessaire de les étalonner avec un courant ayant à peu près la fréquence des courants qu'ils devront mesurer.

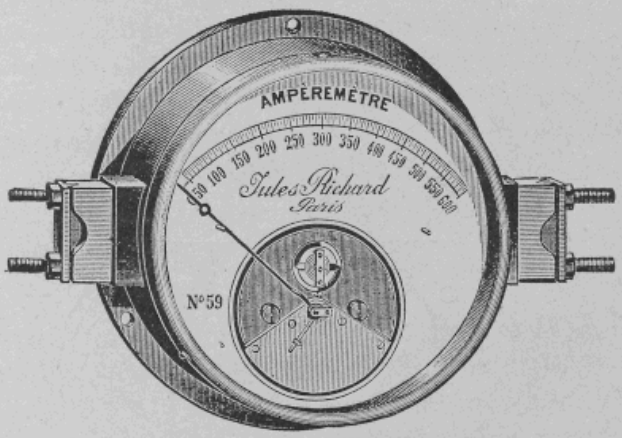


FIG. 184. — Ampèremètre électromagnétique avec indicateur de charge et de décharge.

Lorsqu'on recherche des instruments d'un prix peu élevé, on peut employer des voltmètres et ampèremètres du type simplement amorti, présentant moins d'apériodicité que le type précédent. L'amortissement est simplement obtenu en fixant sur l'index une lame extrêmement légère nommée *pavillon*. L'aiguille, en se déplaçant, entraîne ce pavillon, et la réaction qu'il éprouve, en se déplaçant dans l'air, réduit les oscillations. Cet amortisseur n'est pas réglable comme l'amortisseur comportant une boîte à air.

Société Gramme de Paris. — Les voltmètres et ampèremètres Javaux, exposés par la Société Gramme, sont fondés sur les actions attractive et répulsive de légères pièces de fer doux, aimantées par le courant qui traverse une bobine à l'intérieur de laquelle elles sont placées.

Ces pièces de fer doux sont au nombre de trois : deux sont fixes, et la troisième, mobile, peut osciller autour des pivots qui la supportent. Le couple antagoniste est dû à l'action de la pesanteur agissant sur un contrepoids qui tend constamment à ramener l'aiguille indicatrice au zéro de la graduation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Instruments système Meylan-d'Arsonval. — Ces instruments étaient exposés par la Compagnie pour la fabrication des compteurs, de Paris. Ils comportent une bobine fixe, en fil fin pour les voltmètres et en gros fil pour les ampèremètres, parcourue par le courant et agissant par attraction sur une petite pièce de fer doux que porte l'aiguille indicatrice ; le couple antagoniste est produit par l'action de la pesanteur. Un volet métallique, disposé sur l'axe de l'aiguille indicatrice, se déplace avec très peu de jeu à l'intérieur d'une boîte et constitue un puissant amortisseur. Ces instruments doivent être installés verticalement, puisque le couple antagoniste est obtenu à l'aide d'un contrepoids. Les voltmètres peuvent

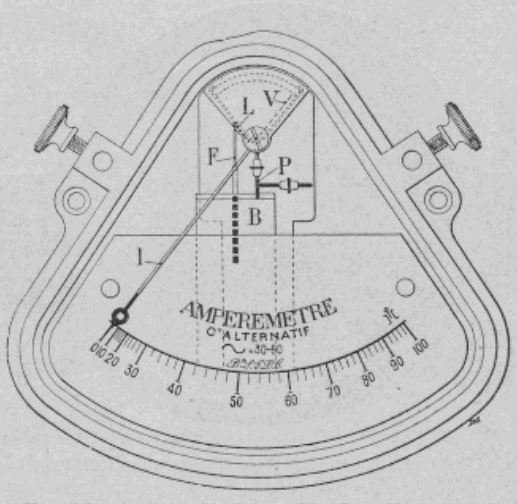


Fig. 185. — Ampèremètre Meylan-d'Arsonval.

rester constamment en circuit. La figure 185 montre les détails de construction : la bobine B est parcourue par le courant à mesurer ; cette bobine attire, dans le sens de son axe, une petite tige de fer doux F qui transmet son mouvement, par l'intermédiaire d'un levier L auquel elle est articulée, à l'aiguille indicatrice I. Un volet V, se déplaçant à l'intérieur d'une boîte fermée servant de support à l'équipage mobile, constitue un amortisseur à air simple et puissant. L'attraction de la pièce de fer doux F est contrebalancée par un poids P. Ces instruments sont très robustes et indéréglables ; il faut néanmoins éviter de les placer au voisinage immédiat de conducteurs parcourus par des courants de grande intensité.

Ces instruments ont d'assez grandes dimensions avec échelle très lisible ; ils sont très robustes et d'une exactitude suffisante pour les applications courantes.

Lorsqu'ils doivent être utilisés pour la mesure de courants alternatifs, ils sont spécialement étalonnés à cet effet. Les indications fournies sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pratiquement indépendantes de la forme du courant et elles sont exactes pour les fréquences comprises entre 30 et 60 périodes, les instruments étant généralement étalonnés à la fréquence moyenne de 40 périodes.

Les voltmètres consomment en moyenne 2,5 watts par 100 volts.

Ampèremètres et voltmètres à aimants et bobine fixes et fer doux mobile. — Ces instruments, exposés par M. J. Carpentier de Paris, sont connus sous la dénomination d'instruments Deprez-Carpentier. Créés à l'époque où il n'existait pas encore d'instruments de mesure pour les usages industriels, leur emploi se généralisa rapidement. Aujourd'hui, ils ne sont guère utilisés que dans les petites installations.

Ils se composent d'une bobine fixe et d'une pièce de fer doux, mobile autour de son axe. Cette armature, disposée à l'intérieur de la bobine, est orientée par un double aimant recourbé et porte l'aiguille indicatrice qui se déplace devant un cadran gradué. L'équipage est équilibré et l'instrument peut fonctionner dans n'importe quelle position. Ces instruments indiquent par construction le sens du courant.

Ampèremètre à fer doux mobile sans bobine. — M. L. Clerc, de Paris, avait exposé un ampèremètre industriel très robuste et peu coûteux dans lequel la bobine fixe est remplacée par une barre plate de maillechort, dont la section est suffisante pour que la valeur maximum du courant ne puisse l'échauffer. Cette barre agit, lorsqu'elle est traversée par le courant à mesurer, sur un petit équipage mobile muni de deux petites palettes de fer doux, une de chaque côté de la barre. L'axe de suspension de la barre supporte un contrepoids de réglage.

Plus le courant traversant l'instrument augmente d'intensité, plus les palettes tendent à se mettre en croix avec la barre; d'autre part, le contrepoids s'éloigne de plus en plus de la verticale, et l'équipage mobile prend une position d'équilibre. Les divisions de l'échelle graduée sont plus ou moins espacées, suivant que le contrepoids s'éloigne plus ou moins de l'axe de suspension.

Cet instrument peut mesurer des courants alternatifs aussi bien que des courants continus.

Si les palettes sont aimantées, au lieu d'être en fer doux, l'instrument ne fonctionne que pour un seul sens du courant.

Ampèremètres et voltmètres à bobine mobile et à aimant fixe. — Des instruments de ce genre, aujourd'hui d'un usage général dans toutes les installations à courant continu, figuraient dans les expositions des divers constructeurs d'instruments de mesure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Chauvin et Arnoux. — Ce type d'instrument (*fig.* 186) est bien connu. Il nous suffira de rappeler qu'il est constitué par un aimant fixe circulaire, sans pièces polaires rapportées, et par une bobine mobile sertie entre deux bagues de cuivre pur, découpées dans du tube sans soudure. Un perfectionnement intéressant apporté à ce type d'instruments a été l'adjonction d'un shunt magnétique qui assure la constance de l'aimant et permet d'effectuer un réglage précis et toujours possible, même à la suite d'une désaimantation partielle accidentelle.

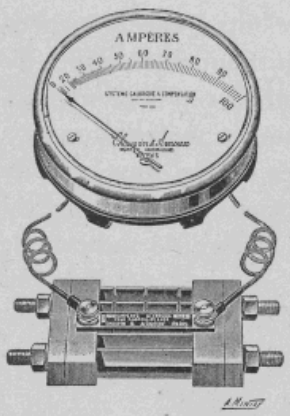


Fig. 186. — Ampèremètre Chauvin et Arnoux.

La différence de potentiel nécessaire pour obtenir la déviation totale dans les ampèremètres a été réduite à 0,02 volt, ce qui a permis l'emploi de shunts peu encombrants, dont les lames ne dépassent pas 40 mm de longueur; on peut ainsi placer facilement ces shunts, même sur les tableaux les plus encombrés.

Dans les voltmètres, la résistance dépasse 25 000 ohms par 100 volts. Grâce à la faible résistance de la bobine mobile et à l'emploi de résistances ayant un coefficient de température nul, on est assuré d'avoir toujours des indications exactes et indépendantes de la valeur de la température ambiante.

L'équipage mobile étant supporté par des pivots, les constructeurs se sont systématiquement attachés à ne pas donner à ces instruments, l'apériodicité absolue que l'on peut obtenir; ils ont préféré rester un peu en dessous de l'apériodicité complète, afin de permettre de constater si l'arrêt de l'aiguille n'est pas due à un défaut dans les pivots produisant un frottement anormal.

Appartenant à la même série d'instruments, il convient de citer un voltmètre-ohmmètre et un voltmètre pour station centrale avec cadran lumineux de 40 cm de diamètre, à lecture amplifiée, permettant de lire facilement à distance les indications de l'instrument.

M. J. Carpentier. — Les voltmètres et ampèremètres de précision pour tableaux de distribution, exposés par M. J. Carpentier de Paris, sont semblables comme construction aux instruments de contrôle décrits dans le chapitre suivant. Ils n'en diffèrent que par leur forme extérieure. Bien amortis, ils suivent rigoureusement les moindres variations; leur construction est très soignée et très précise.

Parmi les modèles exposés, on remarquait : un ampèremètre de 1 000 ampères ayant 18 cm de diamètre; un voltmètre à double face de 600 volts et un ampèremètre du même type de 600 ampères; un am-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pèremètre de 400 ampères, de 125 mm de diamètre, et un voltmètre semblable de 300 volts.

M. J. Richard de Paris. — Dans ces instruments, l'aimant permanent est construit avec tous les soins nécessaires, afin d'obtenir une parfaite constance d'aimantation qui, en outre, est parfaitement assurée par l'emploi d'un shunt magnétique consistant en une pièce de fer doux armant les pôles de l'aimant. On diminue, il est vrai, par ce dispositif, la valeur du flux dans l'entrefer, mais sa répartition est rendue beaucoup plus régulière ; ce shunt a également pour effet de compenser les petites irrégularités qui peuvent subsister dans le circuit magnétique et d'assurer la proportionnalité des indications dans toute l'étendue de l'échelle qui embrasse un angle de 75°. En modifiant la position du shunt magnétique, on peut régler de nouveau exactement un instrument qui aurait cessé, par suite d'un accident, de donner des indications exactes.

Un autre détail, très important au point de vue de la constance de l'aimant, est la faible valeur de la force magnétomotrice nécessaire pour produire la déviation de la bobine mobile; cette force magnétomotrice atteignant seulement 0,8 ampère-tour est moitié moindre environ que celle qui est d'ordinaire utilisée dans ce genre d'instruments. On sait que la force magnétomotrice de la bobine mobile tend à affaiblir le champ de l'aimant, par suite de son action démagnétisante; il y a donc tout avantage à réduire sa valeur.

On pourrait croire que la sensibilité de ces instruments est diminuée par suite de l'emploi du shunt magnétique et de la réduction de la valeur de la force magnétomotrice de la bobine ; mais le constructeur est parvenu à obtenir une sensibilité plus grande que dans les instruments du même genre en diminuant la raideur des ressorts spiraux et en soignant tout particulièrement la construction du pivotage. En effet, la sensibilité des voltmètres est telle qu'il suffit de faire passer un courant de 5 milliampères dans la bobine mobile pour obtenir la déviation totale de 75°.

En ce qui concerne l'apériodicité, elle est aussi complète qu'on le veut ; toutefois, le constructeur préfère ne pas obtenir une apériodicité absolue et, en effet, l'aiguille ne s'arrête sur la division exacte qu'après l'avoir dépassée légèrement. Cette faible oscillation unique permet de s'assurer que les pivots sont en bon état.

Dans les voltmètres, la bobine mobile a une résistance de 30 ohms. Les résistances additionnelles, établies en fil de constantan, sont réglées de manière que le voltmètre ait une résistance totale de 200 ohms par volt. Dans ces conditions, la dépense d'énergie est très faible.

Dans les ampèremètres, la résistance totale de la bobine mobile et du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

circuit additionnel est de 0,5 ohm. Il s'ensuit qu'un courant de 0,05 ampère permet d'obtenir la déviation totale de 75° et que la chute de tension dans l'instrument n'est que de 0,025 volt. Les shunts utilisés avec ces ampèremètres sont constitués par des lames de maillechort soudées à des mâchoires appropriées ; la surface des shunts, par watt dépensé, est d'environ 40 cm², ce qui fait que l'élévation de température due au passage du courant ne dépasse jamais 10°.

La figure 187 montre l'aspect extérieur d'un voltmètre de ce système monté sur un bras.

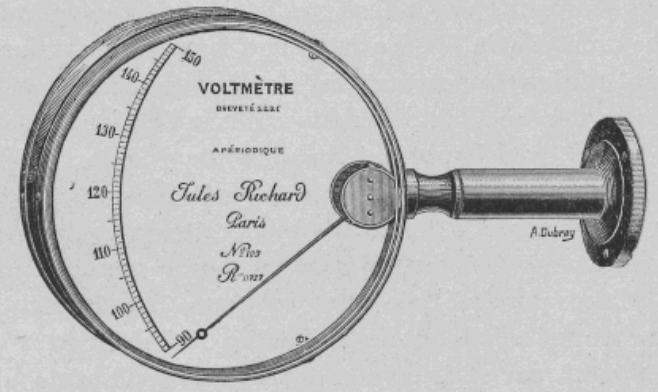


FIG. 187. — Voltmètre J. Richard.

Les instruments qui doivent être placés dans des locaux humides ou dans des endroits remplis de vapeurs nuisibles sont enfermés dans des boîtes en bronze absolument étanches.

Instruments Meylan-d'Arsonval. — Comme on le voit sur la figure 188, l'aimant fixe est muni de pièces polaires rapportées. La bobine mobile est constituée par un cadre amortisseur excentré, sur lequel est enroulé du fil isolé ; un côté seulement de cette bobine, le côté extérieur opposé à l'aiguille indicatrice, se déplace dans le champ circulaire de l'aimant. Cet aimant, très puissant, n'a qu'un seul entrefer très étroit (2 mm environ) et possède une constance remarquable ; en outre, comme le champ magnétique qu'il produit est très intense (1 200 à 1 400 unités), les influences extérieures dues à des courants, même intenses, sont pratiquement négligeables.

L'équipage mobile est extrêmement léger, et son axe pivote dans des chapes en saphir, montées elles-mêmes sur ressorts, afin de garantir les pointes contre toute détérioration provenant de chocs.

Ces instruments ont un boîtier de forme triangulaire, forme qui a l'avantage de donner le minimum d'encombrement ; de plus, l'enveloppe constituant le boîtier est entièrement métallique et ne com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

porte qu'une large fenêtre, fermée par une glace, qui permet de lire les déviations de l'aiguille sur l'échelle graduée. Ce mode de construction donne à ces instruments une grande solidité et évite les actions électrostatiques dues au nettoyage de la glace.

On sait que, dans les instruments à bobine mobile, cette dernière agit sur l'aimant, comme le ferait un induit de dynamo, en produisant une

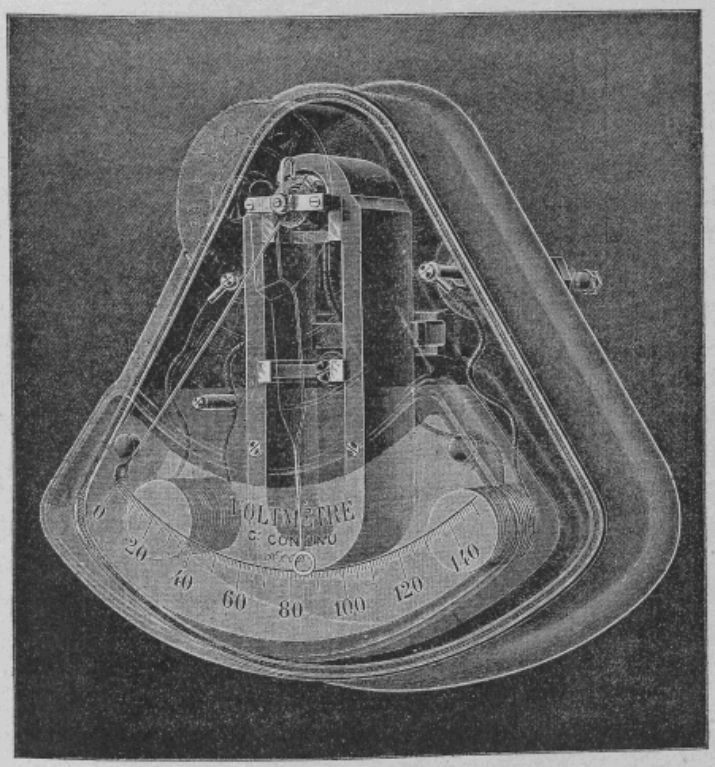


Fig. 188. — Voltmètre Meylan-d'Arsonval.

réaction électromagnétique : les ampères-tours démagnétisants de la bobine mobile tendent à faire perdre à l'aimant permanent une partie de son moment magnétique. Par suite de cet affaiblissement de l'aimantation, c'est-à-dire à cause de la diminution de l'un des facteurs du couple produisant la déviation, l'instrument donne, au bout d'un certain temps, des indications plus faibles que celles que donneraient les valeurs réelles mesurées. Afin d'éviter ce grave inconvénient, peu sensible dans les voltmètres, mais beaucoup plus accentué dans les ampèremètres, surtout lorsqu'ils ont à supporter de fortes variations de charge, on a disposé l'aimant de manière qu'un seul côté de la bobine mobile agisse pour produire le couple déviant qui, par suite,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est réduit de moitié, toutes choses égales d'ailleurs ; mais, par contre, la réaction d'induit due à la bobine tend plutôt, sinon à augmenter, du moins à maintenir constante la valeur du moment magnétique de l'aimant fixe.

Dans les voltmètres, la dépense de courant est généralement inférieure à 0,01 ampère, soit une consommation d'énergie de 1 watt par 100 volts. Les résistances additionnelles sont établies avec du fil métallique ayant un coefficient de température nul, de manière à rendre les indications de l'instrument absolument indépendantes de la température. Dans ces conditions, les voltmètres peuvent rester constamment en circuit sans aucun inconvénient.

Les ampèremètres sont généralement à *shunt extérieur*, c'est-à-dire que la bobine mobile, complétée par une résistance fixe et deux cordons souples, sert à mesurer la différence de potentiel aux extrémités d'une résistance ou shunt approprié parcouru par le courant dont on veut connaître l'intensité. Les indications fournies par ces instruments sont pratiquement indépendantes de la température. Tous les shunts d'un même calibre sont interchangeables, et leur résistance est indiquée et inscrite à côté de l'indication du calibre. On a adopté pour ces shunts une différence de potentiel relativement élevée (0,1 volt) ; on obtient ainsi un plus grand degré d'exactitude, parce que les effets thermo-électriques et les résistances de contact sont pratiquement négligeables.

Ampèremètres et voltmètres à électro-aimant fixe et à bobine mobile. — Ces instruments, du système Caron, étaient exposés par la Société industrielle des Téléphones de Paris. Ils diffèrent des instruments analogues à bobine mobile, par la substitution d'un électro-aimant à l'aimant fixe ; ils ont été établis spécialement pour la mesure des courants alternatifs.

Ils se composent de deux électro-aimants en fer à cheval FF′ (*fig.* 189), à noyaux feuilletés et dont les bobines sont traversées par le courant à mesurer. Entre les pièces polaires se meut, parallèlement à son plan, un cadre très plat C en fil fin, supporté par une chape en aluminium mobile autour de l'axe D. Cette chape est munie, à sa partie inférieure, d'une tige DO, le long de laquelle peut se déplacer le contrepoids P. Le courant, traversant les bobines et le cadre, tend à faire dévier ce dernier ; la pointe O peut ainsi décrire un arc de cercle autour de l'axe D.

Le champ étant très sensiblement uniforme dans l'entrefer des électro-aimants, la déviation de la bobine est proportionnelle à l'intensité du courant dans les ampèremètres et à la différence de potentiel appliquée dans les voltmètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le déplacement de la pointe O est amplifié au moyen de deux bielles OO‴, O‴O′, l'articulation O′ s'effectuant sur l'aiguille indicatrice AO″. Un petit ressort spiral S sert à fixer le zéro de l'instrument et à annuler l'effet des temps perdus dans les articulations des bielles.

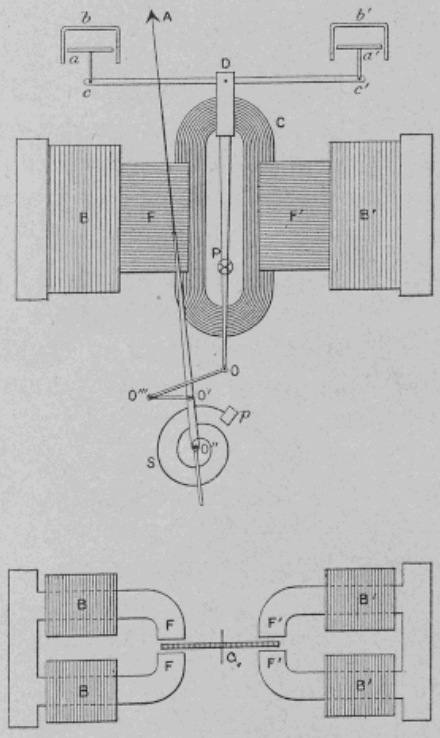


FIG. 189.

Ces instruments sont rendus sensiblement apériodiques par l'emploi d amortisseurs à air, constitués par des cloches bb', dans lesquelles se déplacent sans frottement les pistons aa', fixés d'une manière rigide sur la tige DO par l'intermédiaire d'une traverse cc'.

Le réglage de l'instrument s'effectue en déplaçant convenablement le contrepoids P. Il est nécessaire aussi que l'instrument soit fixé dans une position parfaitement verticale et, pour amener l'aiguille au zéro, on agit sur le piston p du ressort spiral, en manœuvrant des vis de rappel placées en dehors du boîtier.

Le voltmètre ne diffère de l'ampèremètre que par la résistance donnée aux enroulements des bobines. Les bobines des électro-aimants sont reliées en série avec la bobine mobile.

Les indications fournies par ces instruments sont indépendantes des variations de fréquence et de température et ne sont pas influencées par les champs magnétiques extérieurs ni par les effets d'hystérésis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

INSTRUMENTS THERMIQUES

Ampèremètres et voltmètres thermiques. — La plupart des constructeurs d'instruments de mesure avaient exposé des instruments thermiques.

MM. Chauvin et Arnoux. — Dans ces instruments, le fil thermique est de très faible longueur, et les indications fournies sont faciles à lire, grâce à l'emploi d'un dispositif amplificateur spécial.

Ces instruments sont pourvus d'un compensateur de température constitué par plusieurs fils identiques au fil thermique, tendus parallèlement et fixés, d'une part, au bâti du système et, d'autre part, à une des extrémités d'un fléau où vient aboutir également le fil thermique. Un ressort, placé à l'autre extrémité du fléau, assure une tension égale à tous les fils. On obtient ainsi une compensation immédiate.

Par suite de la disposition donnée à ces instruments, il n'est pas nécessaire d'employer d'amortisseur.

La faible consommation d'énergie des voltmètres permet de les laisser en circuit d'une façon permanente ; en ce qui concerne les ampèremètres, la faible longueur du fil thermique conduit à l'emploi de shunts de dimensions très réduites et, par suite, faciles à installer.

Les mêmes instruments se construisent également avec un dispositif enregistreur.

M. J. Carpentier. — Dans ces instruments, le fil thermique AB (*fig.* 190), de 15 cm environ de longueur, est parcouru par le courant à mesurer, et l'influence des variations de température est compensée par un fil identique AC, placé dans les mêmes conditions que le premier, mais qui n'est pas parcouru par le courant. Les deux fils AB et AC sont attachés respectivement en B et en C à des bornes fixes et viennent s'enrouler en A sur un trébuchet cylindrique dont la figure 191 montre la section. Les fils sont toujours maintenus tendus par un ressort R, muni, à son extrémité libre de deux couteaux qui viennent appuyer dans le fond de la rainure du trébuchet, soutenant ainsi ce dernier dans l'espace. Afin d'amplifier le mouvement de rotation de ce trébuchet, on l'a muni d'un levier L en aluminium. Ce levier, par l'intermédiaire d'un fil flexible, commande une petite poulie fixée sur l'axe de l'aiguille indicatrice ; le fil flexible est toujours maintenu tendu par un ressort r. Tel est le dispositif d'amplification.

En ce qui concerne la compensation, le dispositif est le suivant ; lorsque, par suite d'une variation de température, le fil thermique AB s'allonge, le fil compensateur AC s'allonge de la même quantité et le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

déplacement correspondant du trébuchet est une translation s'effectuant dans le sens de la longueur du levier d'aluminium. L'extrémité *e* de ce levier vient en *e'*. Le fil flexible commandant la poulie de l'aiguille remonte, mais il n'en résulte aucun mouvement de rotation de la poulie et de l'aiguille, le mouvement de translation étant très petit et perpendiculaire à la direction du fil flexible. L'instrument est donc compensé.

Lorsque le courant passe dans le fil actif, celui-ci s'allonge, tandis que la longueur du fil compensateur ne varie que d'une quantité correspondant à la variation de la température, variation très faible. Dans ces conditions, le trébuchet

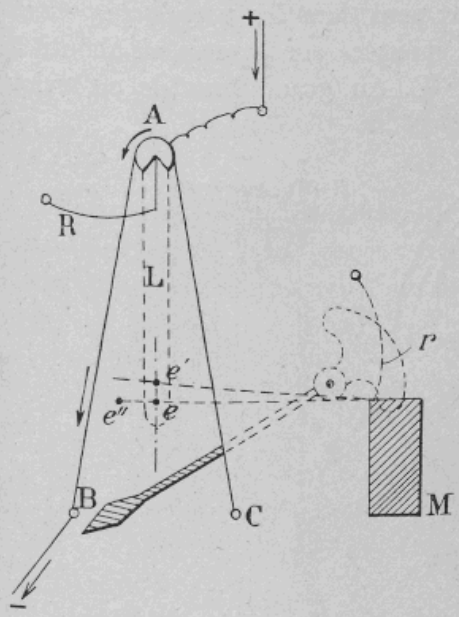


Fig. 190.

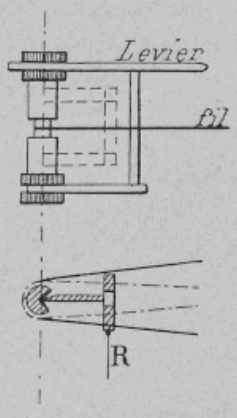


Fig. 191.

bascule : l'extrémité *e* du levier L vient en *e''*, et il en résulte un mouvement de rotation de la poulie, rotation proportionnelle à *ee''*, c'est-à-dire sensiblement à l'angle dont a tourné le trébuchet. Cet angle est à peu près proportionnel à la différence d'allongement des deux fils et, par conséquent, varie, à peu près, comme le carré du courant à mesurer. La graduation de l'instrument n'est donc pas proportionnelle ; elle suit une loi parabolique.

L'amortissement est obtenu par un secteur en aluminium fixé sur l'axe de l'aiguille et qui se déplace dans l'entrefer d'un aimant permanent M.

Voltmètre J. Richard. — Dans le but de supprimer les dispositifs amplificateurs de dilatation du fil, M. Richard emploie comme fil thermique un fil fin d'une certaine longueur. Grâce à une série de cinq poulies de renvoi (*fig.* 192), cette longueur de fil peut se loger dans une boîte de 18 cm de diamètre extérieur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le fil traversé par le courant est en alliage spécial dont la résistivité est pratiquement constante malgré les variations de température. Le fil est fixé, d'abord, en A à un système compensateur B qui a pour effet de rendre les indications de l'instrument indépendantes de la température ambiante. Ce compensateur est constitué par un ensemble de deux métaux, dont les coefficients de dilatation sont très différents et qui ne sont autres que le zinc et l'acier-nickel, connu sous le nom d'acier Guillaume.

Du point A, le fil passe successivement dans les gorges de petites poulies en ivoire P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, montées sur pointes, et aboutit à l'extrémité d'un petit bras de levier C. Au grand bras de ce levier

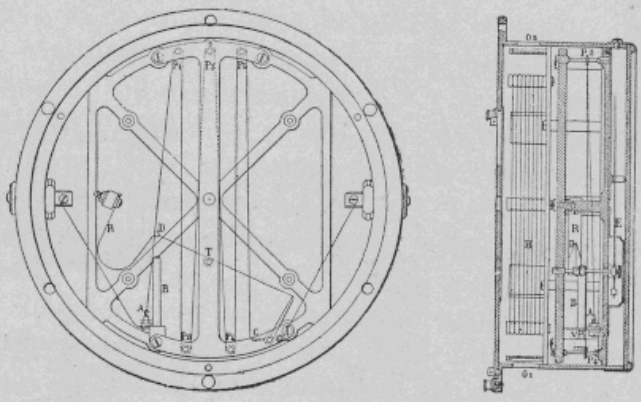


FIG. 192.

s'attache un autre fil, inactif, qui, après avoir fait un tour sur le tambour T calé sur l'axe de l'aiguille E, vient se souder à l'extrémité D d'un ressort R destiné à maintenir l'ensemble dilatable constamment tendu.

On amène l'aiguille au zéro de la graduation en agissant sur une vis V qui fait varier la position du compensateur B. On accède à cette vis par une fenêtre pratiquée sur le pourtour du boîtier, cette fenêtre étant normalement fermée par une petite porte. Le fil dilatable est monté en série avec un rhéostat H, établi avec un fil identique au fil thermique; ce rhéostat ne présente pas de self-induction, et sa résistance est réglée d'après la tension maximum que doit supporter le voltmètre.

Le même instrument se construit avec enregistreur.

INSTRUMENTS ÉLECTROSTATIQUES

Électromètre apériodique Chauvin et Arnoux. — La mesure directe de hautes tensions, pour éviter l'emploi de transformateurs, peut

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

être effectuée avec des instruments construits d'après le principe de l'électromètre à quadrants de lord Kelvin.

MM. Chauvin et Arnoux ont réalisé un instrument de ce genre dont les différents organes sont disposés sur un plateau en ébonite qui leur assure une isolation parfaite. Les bornes d'attache sont placées derrière ce plateau et seul le couvercle métallique, qui peut être mis en communication avec la terre, est à la portée de la main.

L'instrument est protégé par des fusibles constitués par des traits de crayon tracés sur un verre dépoli.

INSTRUMENTS ÉLECTRODYNAMIQUES

Wattmètres électrodynamiques Chauvin et Arnoux. — Ce wattmètre électrodynamique est destiné à être placé sur les tableaux de distribution. Cet instrument (*fig.* 193) est d'un type nouveau.

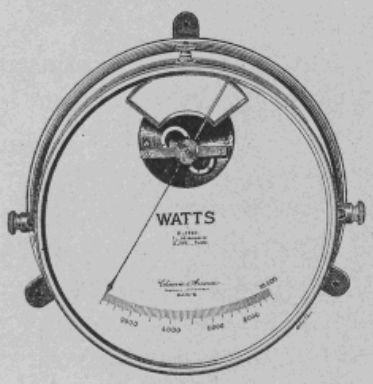


FIG. 193. — Wattmètre Chauvin et Arnoux.

Le fonctionnement de cet instrument est fondé sur les effets d'attraction et de répulsion exercés par une bobine fixe sur deux bobines mobiles en fil fin enroulées en sens inverses. Grâce à cette disposition, le système mobile n'est pas influencé par les champs extérieurs voisins; de plus, le coefficient de self-induction des bobines en fil fin et celui d'induction mutuelle des deux circuits étant réduits au minimum, l'instrument donne des indications exactes, même avec les plus grands décalages.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II

INSTRUMENTS DE CONTROLE

Les instruments de contrôle sont des instruments de précision, à lecture directe ou enregistreurs, munis de shunts interchangeables ou d'une série de résistances, permettant d'effectuer avec un seul instrument des mesures de valeurs très différentes dans une très large limite.

Instruments électro-magnétiques à aimant fixe et à bobine mobile. — La plupart des constructeurs avaient exposé des instruments de ce genre.

Instruments Meylan-d'Arsonval. — Les voltmètres et ampèremètres de ce système, décrits dans le chapitre précédent, se construisent également avec un dispositif enregistreur donnant un tracé continu. L'aiguille indicatrice se déplace devant un cadran gradué en volts (*fig.* 194) ou en ampères et ayant un développement de 100 mm environ. L'extrémité de cette aiguille porte une plume, genre Richard, rendue beaucoup plus sensible, grâce à une articulation à pivots, ce qui assure un tracé très précis. Cette plume appuie très légèrement contre un papier divisé dans un sens, en volts ou en ampères et, dans l'autre sens, en heures subdivisées en quarts d'heure. Ce papier est fixé sur un tambour effectuant une révolution complète en vingt-quatre heures et commandé par un mouvement d'horlogerie pouvant marcher une semaine sans être remonté. Le mouvement d'horlogerie peut être disposé pour que le tambour ne fasse un tour complet qu'en une semaine.

Ces voltmètres et ampèremètres se construisent également avec plusieurs sensibilités et sont alors à lecture directe et d'un modèle transportable. Dans ce type d'instruments, l'aiguille est en forme de lame mince et se déplace sur un cadran métallique ; une glace réfléchissante permet d'éviter les erreurs de parallaxe. Le modèle usuel de voltmètre, renfermé dans une boîte à poignée pour le transport, comporte généralement 5 sen-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sibilités, par exemple : 3, 75, 150, 300 et 600 volts. Pour les ampèremètres, les bornes de l'instrument portent un cordon double terminé par deux fiches qui servent à établir le contact avec le shunt approprié ; la série complète des shunts permet d'obtenir 10 sensibilités différentes, l'étendue complète de l'échelle étant respectivement égale pour chacune d'elles à 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 et 1 000 ampères. Le voltmètre et l'ampèremètre avec ses shunts, réunis dans une même boîte, constituent un ensemble très commode pour effectuer des vérifications.

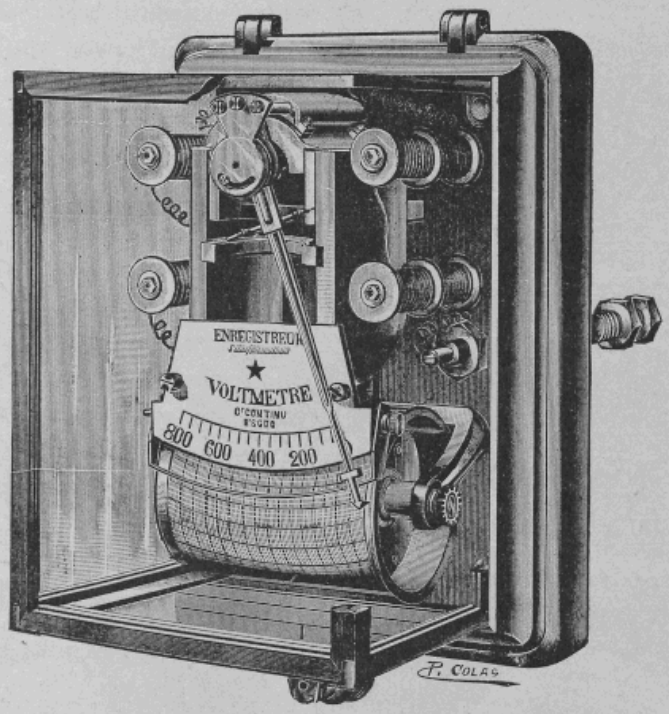


FIG. 194. — Voltmètre enregistreur Meylan-d'Arsonval.

Pour les mesures très précises de laboratoire, on a réalisé un modèle de voltmètre et d'ampèremètre dit étalon (*fig.* 195), dont l'échelle a une plus grande étendue que celle des modèles précédents, avec graduation gravée sur métal et aiguille indicatrice se déplaçant au-dessus d'une glace réfléchissante. Ces intruments, d'une exécution très soignée, sont établis pour plusieurs sensibilités.

MM. Chauvin et Arnoux. — Ces instruments, de construction analogue aux instruments pour tableaux déjà décrits, ont été l'objet de nombreux perfectionnements, parmi lesquels il faut citer l'addition d'un shunt magnétique assurant la constance de l'aimant permanent, la division des cadrans obtenue avec la plus grande précision par une nouvelle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

méthode et, enfin, l'emploi d'un miroir, disposé sous l'aiguille indicatrice en forme de couteau, afin de supprimer les erreurs de parallaxe et permettant d'effectuer des lectures avec approximation de 1/1 000 de la valeur totale de la graduation.



Fig. 195.
Voltmètre étalon Meylan-d'Arsonval.

Les voltmètres de précision (*fig.* 196) peuvent avoir jusqu'à six sensibilités différentes et permettent, avec un seul instrument, de mesurer jusqu'à 1 000 volts.

Les ampèremètres peuvent être munis d'une série de shunts et servent à mesurer des intensités depuis 0,1 ampère jusqu'à 1 000 ampères.

Les boîtes de contrôle (*fig.* 197), créées par la maison Chauvin et Arnoux, comportent, logés dans une boîte gainée spéciale, un voltmètre à plusieurs sensibilités et un ampèremètre avec sa série de shunts.

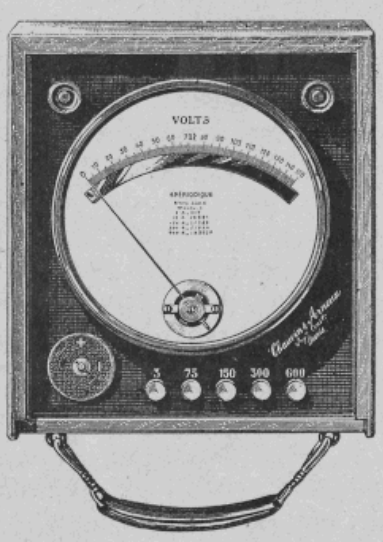


Fig. 196.
Voltmètre de précision Chauvin et Arnoux.

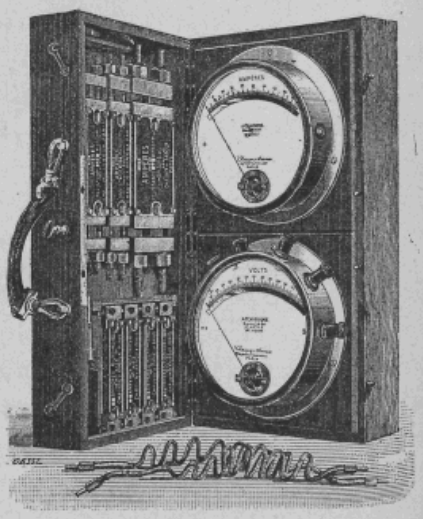


Fig. 197.
Boîte de contrôle Chauvin et Arnoux.

Deux modèles de caisse de contrôle figuraient à l'Exposition : l'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec des instruments de 15 cm de diamètre permet de mesurer depuis 0,01 jusqu'à 1 000 ampères et de 0,02 volt jusqu'à 600 volts; le second modèle comporte des instruments de 10 cm de diamètre et peut servir à effectuer des mesures d'intensité de 0,01 à 500 ampères et des mesures de tension de 0,02 à 300 volts.

Une autre disposition a été donnée par les constructeurs à ces boîtes de contrôle qui portent alors le nom de galvanomètres jumelés (*fig.* 198) et sont d'un poids plus léger. Les shunts sont alors fixés sur une planchette et ont une de leurs extrémités reliée à une barre commune ; l'extrémité opposée peut être à volonté mise en communication avec une

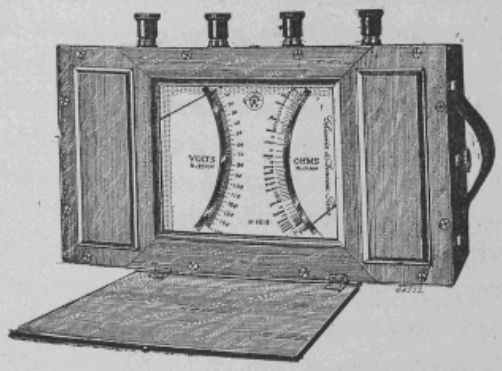


FIG. 198. — Galvanomètres jumelés Chauvin et Arnoux.



FIG. 199. — Ampèremètre enregistreur Chauvin et Arnoux.

seconde barre à l'aide d'une vis à bouton molleté. Cette seconde barre, ainsi que la première, est munie d'une borne où l'on fixe les extrémités du circuit; cette disposition présente l'avantage de ne pas obliger l'opérateur à couper le circuit toutes les fois qu'il faut changer de shunt.

Les ampèremètres et voltmètres de précision peuvent être disposés comme instruments enregistreurs et présentent certaines particularités qui méritent d'être relevées.

L'aimant permanent (*fig.* 199) ne comporte pas de pièces polaires rapportées et est très puissant ; d'autre part, le noyau de fer, placé au centre de la bobine mobile, rend le champ magnétique uniforme, et les déviations sont, par suite, rigoureusement proportionnelles aux intensités ou aux tensions.

La consommation d'énergie nécessaire au bon fonctionnement de ces instruments a été réduite au minimum, grâce à l'emploi d'une plume molette, formée de deux coquilles montées sur un même axe pivotant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entre deux pierres; une rondelle poreuse, imbibée d'encre et serrée entre les deux coquilles, trace, par roulement et non par frottement, un trait délié suivant son propre plan.

L'ampèremètre enregistreur exposé est destiné à être employé sur les voitures de tramways électriques; à cet effet il est muni d'un amortisseur à disque, mobile dans un récipient rempli de glycérine.

Les mouvements d'horlogerie utilisés dans ces enregistreurs sont caractérisés par l'entraînement direct du cylindre par l'axe du barillet, ce qui évite le jeu dû aux rouages intermédiaires. Ces mouvements d'horlogerie sont à durée de révolution fixe ou à vitesse variable; dans ce dernier cas, on freine le dernier mobile à l'aide d'un disque d'aluminium tournant entre les branches d'un aimant permanent muni d'un shunt magnétique. En réglant convenablement ce shunt, on peut obtenir toutes vitesses angulaires depuis un tour en trois minutes jusqu'à un tour en trois heures.

M. J. Carpentier. — Les voltmètres et ampèremètres de précision sont fondés sur le même principe que le galvanomètre Deprez-d'Arsonval. L'aimant fixe, de forme circulaire, est muni à ses deux extrémités de pièces polaires en fer doux; un noyau en fer doux, disposé au centre de la bobine mobile, ne laisse qu'un entrefer de 3 mm. La bobine mobile est formée par un cadre rectangulaire, en cuivre rouge, sur lequel est enroulé le fil de cuivre constituant le circuit de la bobine. Le voltmètre exposé comporte deux circuits permettant d'obtenir deux sensibilités différentes; la résistance de chacun de ces circuits est d'environ 100 ohms par volt. L'équipage mobile, monté sur pivots, est supporté par des chapes en saphir; deux ressorts spiraux, en métal non magnétique, constituent le couple antagoniste et sont, en même temps, utilisés comme conducteurs pour amener le courant au circuit de la bobine mobile.

M. Carpentier exposait également des boîtes de contrôle avec un voltmètre à quatre sensibilités et un ampèremètre accompagné de sa série de shunts.

M. J. Richard. — Les ampèremètres et voltmètres de précision sont du même système que les instruments à bobine mobile pour tableaux décrits dans le chapitre précédent; mais les cadrans sont munis d'une glace et l'aiguille indicatrice est en forme de lame, afin d'éviter les erreurs de parallaxe.

Les voltmètres utilisés pour les essais de piles et pour la mesure des résistances d'isolement ont une résistance qui atteint jusqu'à 900 ohms par volt. Un voltmètre établi spécialement pour l'essai des piles est enfermé dans une boîte hermétique munie de deux boutons saillants en ébonite. En appuyant sur le premier bouton, on mesure la force électromotrice;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en appuyant sur le second bouton, on fait débiter la pile sur une résistance de 10 ohms et on lit la différence de potentiel aux bornes. On a alors toutes les valeurs nécessaires pour calculer la résistance intérieure de l'élément.

Les instruments J. Richard à bobine mobile sont également construits avec un dispositif enregistreur. Ils comportent alors deux aimants permanents conjugués, ayant même section et même développement (*fig.* 200). Les épanouissements polaires de ces aimants affectent une forme cylindrique, convexe pour l'un et concave pour l'autre. L'entrefer compris entre ces épanouissements cylindriques est le siège d'un double champ magnétique très intense, et c'est dans cet entrefer que se déplacent les deux côtés de la bobine mobile enroulée sur un cadre amortisseur.

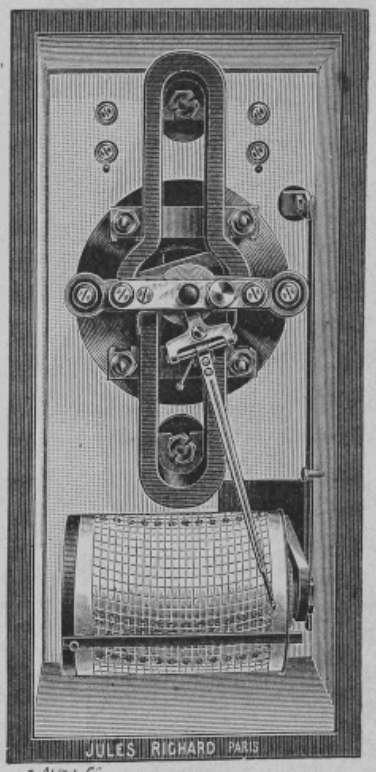


FIG. 200. — Ampèremètre enregistreur Richard.

Cette bobine mobile est constituée par un cadre comportant deux parties cylindriques réunies par des pièces en forme de V; l'enroulement est fait sur les parties cylindriques en passant sur les bases du cylindre suivant des cordes. Tout ce système est excentré par rapport à l'axe de rotation qui coïncide avec l'axe du cylindre, c'est-à-dire que le plan de cet enroulement ne passe pas par l'axe. Cet axe de rotation a une large section et sert en même temps à entretoiser les deux plans du cadre et à diminuer sa résistance électrique afin d'augmenter l'amortissement; cet axe se termine à chacune de ses extrémités par un pivot tournant dans des crapaudines à ressort. Les deux extrémités de l'enroulement sont reliées respectivement à deux ressorts spiraux qui servent en même temps de conducteurs du courant et de couple antagoniste. L'axe de l'équipage mobile porte un style terminé par une plume enregistrante du modèle ordinaire Richard.

Les boîtes de contrôle exposées à Liège sont d'un modèle nouveau et très commode. En vue de diminuer l'encombrement et de rendre plus facilement transportable l'ensemble des instruments nécessaires pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

effectuer le contrôle de la tension et de l'intensité, le nouveau modèle comporte deux coffrets séparés et de poids relativement restreint (4,500 kg), ce qui le rend très portatif. L'un de ces coffrets contient deux instruments jumelés, voltmètre et ampèremètre à cadre mobile et à aimant armé; l'autre contient une série de shunts dont la valeur varie suivant les mesures que l'on veut effectuer et permettant de mesurer des intensités depuis 2 jusqu'à 600 ampères.

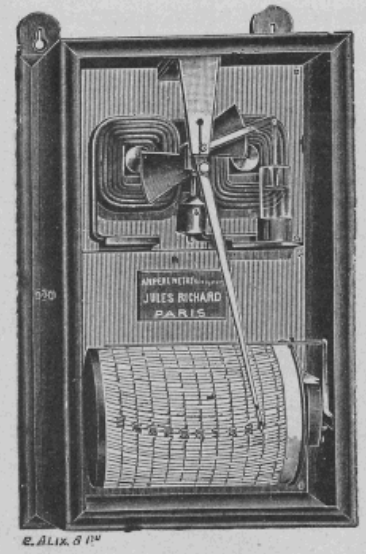


Fig. 201.
Ampèremètre enregistreur Richard.

Le voltmètre, à plusieurs sensibilités, permet de mesurer des tensions depuis 2,5 jusqu'à 625 volts. On obtient la sensibilité désirée en faisant tourner un bouton qui commande un commutateur; ce bouton porte des chiffres indiquant la sensibilité sur laquelle est placé le commutateur et, au-dessous, la valeur par laquelle il faut multiplier les indications lues sur le cadran. En outre, un bouton moleté, commandant un inverseur, permet de changer le sens du courant dans l'instrument si les connexions ont été inversées.

Le coffret contenant les shunts est disposé d'une manière très judicieuse : deux barres en cuivre de forte section portent deux bornes auxquelles sont reliés les conducteurs. Les deux barres, à leur partie supérieure, sont munies d'une plaque en fibre, munie de trous garnis de canons isolants dans lesquels passent des boulons qui viennent se visser sur les extrémités des différents shunts. Il suffit de serrer, à l'aide d'une petite clé, les deux boulons correspondant au shunt choisi, pour que les plaques terminales de ce dernier soient reliées aux conducteurs.

Instruments électromagnétiques à bobine fixe et à fer doux mobile. — M. J. Richard avait également exposé des voltmètres et ampèremètres à bobine fixe et à fer doux mobile munis d'un dispositif enregistreur.

La figure 201 montre la disposition donnée à ces instruments qui, normalement, sont munis d'un cylindre effectuant un tour complet en vingt-six heures.

Instruments thermiques. — Ces instruments ont le grand avantage de se prêter aussi bien à la mesure des courants continus que des courants alternatifs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Instruments Meylan-d'Arsonval. — Ces instruments, de construction très soignée, sont principalement utilisés pour effectuer des vérifications et, naturellement, permettent de mesurer aussi bien des courants continus que des courants alternatifs.

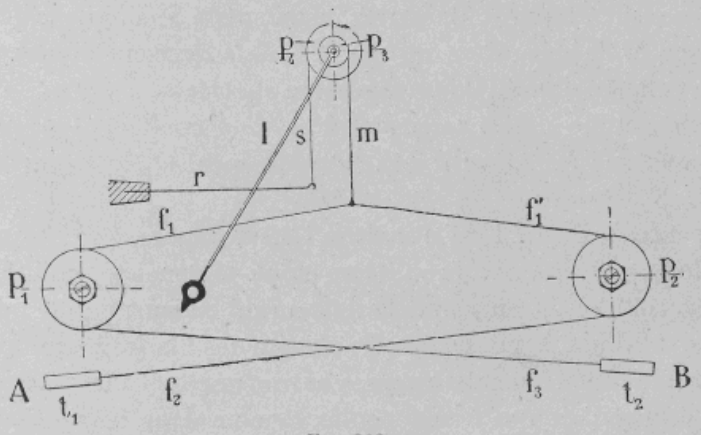


FIG. 202.

Dans les voltmètres de ce système on mesure la différence de flèche que prend un fil spécial, très résistant f_1, f'_1, f_2, f_3 (*fig.* 202), fixé en deux points A, B et passant sur deux poulies p_1, p_2.

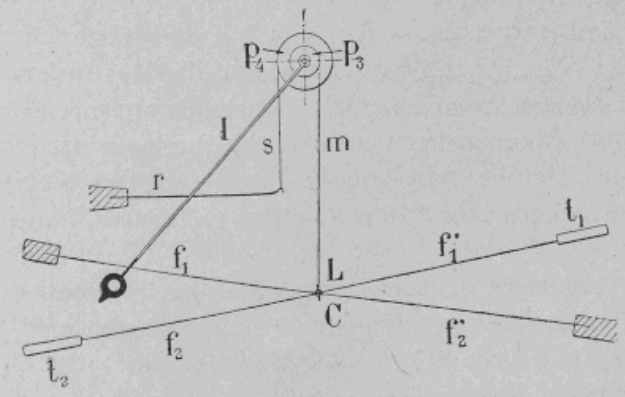


FIG. 203.

Les mouvements du fil sont transmis à l'axe de l'aiguille I par le brin m s'enroulant sur la poulie p_3, le fil étant toujours maintenu tendu par l'action du ressort droit r agissant sur une deuxième poulie p_4 au moyen d'un fil de transmission.

L'invariabilité du zéro est assurée par le fait que le coefficient de dilatation du bâti qui porte tout l'instrument est sensiblement le même que celui du fil f_1, f_3.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lorsque l'instrument est en service, l'échauffement du fil tend à échauffer le bâti, ce qui ferait reculer l'aiguille ; pour éviter cet effet, le fil est fixé à deux tirettes t_1, t_2 en alliage ayant un grand coefficient de dilatation et dont l'échauffement direct par conductibilité compense la dilatation du bâti.

On a souvent employé, dans des instruments analogues, des transmissions en fil de soie ; il en résulte des effets hygrométriques que l'on évite par l'emploi d'un fil de transmission spécial m.

Le fil thermique est en acier-nickel et a un coefficient de dilatation un peu supérieur au laiton ; il est mécaniquement et électriquement très résistant.

La dépense de courant est d'environ 1/10 d'ampère.

Dans les ampèremètres, le système employé consiste en 2 fils f_1, f'_1, f_2, f'_2 (*fig.* 203), reliés en parallèle, le courant entrant par le milieu des fils au moyen d'une lame flexible C ; chacun des fils forme un système à flèche dont les mouvements inverses se transmettent à un levier L, relié par une transmission m à une poulie, comme dans les voltmètres. Le ressort antagoniste est disposé de la même manière et on a employé les mêmes procédés pour obtenir l'invariabilité du zéro. Le fil est un alliage relativement peu résistant. Dans ces divers appareils, une surcharge accidentelle produit généralement un déplacement du zéro. On ramène l'aiguille à la position initiale en produisant, au moyen d'une vis de rappel, une déformation du bâti.

MM. Chauvin et Arnoux. — Dans le but de réaliser des caisses de contrôle pour courants alternatifs, on a utilisé des instruments thermiques avec résistances additionnelles et shunts appropriés.

La sensibilité de ces instruments est telle que, pour produire la déviation totale de l'aiguille indicatrice, les ampèremètres n'exigent qu'une différence de potentiel de 0,15 volt, et les voltmètres, une intensité de 0,15 ampère.

Dans les voltmètres, la borne commune aux différentes sensibilités est munie d'un fusible constitué par un fil identique au fil thermique, mais placé dans des conditions de refroidissement telles qu'il protège efficacement l'instrument en cas de surcharge supérieure aux deux tiers de la totalité de la graduation.

Cette boîte de contrôle permet de mesurer des intensités depuis 0,25 jusqu'à 1 000 ampères, et des tensions de 1 à 600 volts.

Un autre instrument thermique, figurant dans la même exposition, est un galvanomètre universel (*fig.* 204) constitué, en principe, par deux fils thermiques dont la différence des dilatations subies par chacun d'eux permet de lire, directement sur la graduation qui est double, la valeur efficace de l'intensité, ou celle de la tension, ou encore celle de la puis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sance. De plus, on peut mesurer indirectement la valeur du décalage dans le circuit d'utilisation. Les lectures sont indépendantes de la forme et de la fréquence des courants.

Ce galvanomètre peut être muni d'un nombre quelconque de shunts interchangeables et aussi de résistances additionnelles permettant d'étendre à volonté les limites d'utilisation de cet instrument.

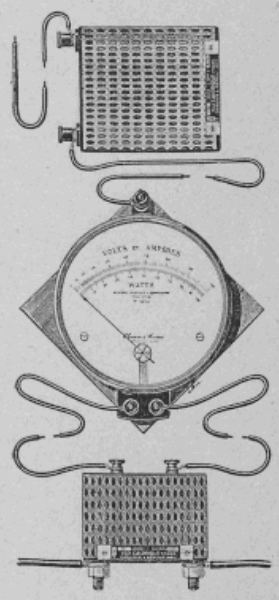


Fig. 204.
Galvanomètre thermique universel.

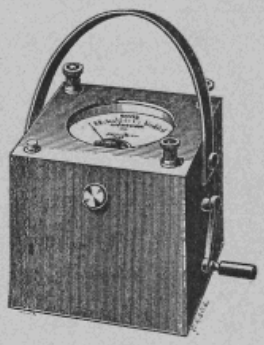


Fig. 205. — Ohmmètre Chauvin et Arnoux.

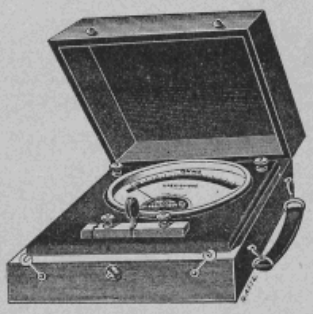


Fig. 206. — Ohmmètre Chauvin et Arnoux.

Ohmmètres. — MM. Chauvin et Arnoux, de Paris, présentaient un nouveau type d'ohmmètre à lecture directe constitué par un galvanomètre à bobine mobile, de grande sensibilité, fonctionnant comme voltmètre-ohmmètre à l'aide d'une batterie de piles de 25 volts environ.

L'aimant permanent de ce galvanomètre est muni d'un shunt magnétique permettant d'effectuer un réglage précis, afin d'éviter toute erreur provenant, soit des variations de la force électromotrice des piles, soit de la diminution de l'intensité du champ magnétique.

Un des modèles exposés comporte une graduation allant jusqu'à 1 mégohm ; un autre modèle, permettant de mesurer jusqu'à 10 mégohms, avait une batterie minuscule de piles de 160 volts.

Un troisième modèle (*fig.* 205), gradué également jusqu'à 10 mégohms, fonctionne à l'aide d'une magnéto.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces différents modèles d'ohmmètres permettent de mesurer la résistance d'isolement d'une ligne en charge à courant alternatif, en utilisant avec l'instrument un courant continu de tension égale à celle de la ligne à mesurer ; ils donnent directement la valeur de la résistance d'isolement d'une ligne en charge à courant continu.

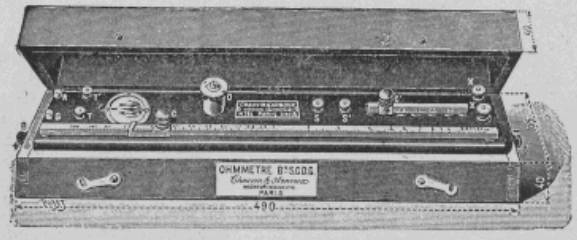


Fig. 207. — Ohmmètre à curseur.

La série des ohmmètres à cadran exposés était complétée par un modèle spécial (*fig.* 206) pour mesure de faibles résistances comprises entre 0,01 et 10 ohms. L'intensité de courant à employer avec cet instrument ne doit pas être supérieure à 0,05 ampère.

Les ohmmètres à curseur (*fig.* 207 et 208) étaient représentés par trois types d'aspect et de forme analogues. Le galvanomètre, utilisé pour la méthode de réduction à zéro, est du type à suspension élastique et présente une grande sensibilité.

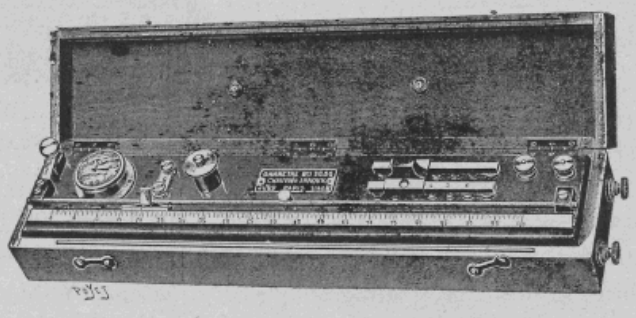


Fig. 208. — Ohmmètre Chauvin et Arnoux.

Le premier de ces types (*fig.* 207) est établi pour mesurer des résistances comprises entre 1 microhm et 1 ohm. Il est établi d'après le principe du pont double de Thomson. La résistance de comparaison est constituée par un fil métallique, à coefficient de température nul, sur lequel se déplace le curseur.

Les deux autres types (*fig.* 208) sont établis d'après le principe du pont de Wheatstone : l'un permet de mesurer des résistances comprises entre 200 mégohms et 1 ohm ; l'autre, des résistances allant depuis

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

0,1 ohm jusqu'à 20 mégohms. Ces instruments, à cause de leur facilité d'emploi, peuvent être mis entre les mains des monteurs et des électriciens dans les stations centrales.

Il convient aussi de citer dans la catégorie des ohmmètres, le mégohmmètre portatif (*fig.* 209) pour la mesure de grandes résistances d'isolement jusqu'à 10 000 mégohms, et dont l'emploi peut être recommandé pour les mesures d'isolement de câbles ou de lignes à haute tension.

Cet instrument comporte l'emploi d'un galvanomètre à réflexion. La méthode de mesure utilisée est celle des comparaisons successives

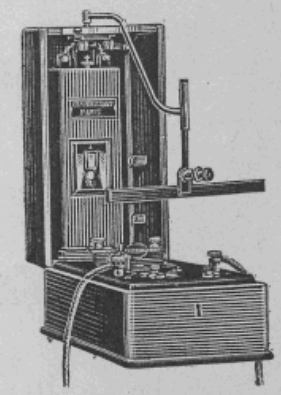


Fig. 209. — Mégohmmètre portatif.

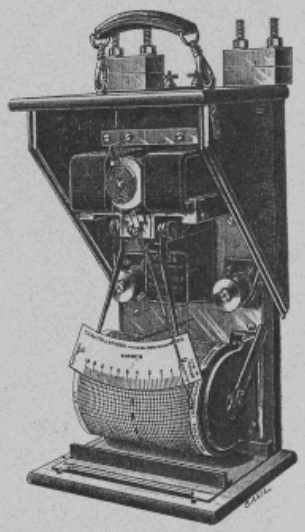


Fig. 210. — Wattmètre enregistreur Chauvin et Arnoux.

entre la résistance à mesurer et une résistance étalon de 100 000 ohms par l'intermédiaire d'un réducteur universel. Un pied pliant à trois branches et une batterie légère de 100 éléments de pile complètent l'instrument, dont ils sont séparés afin d'en rendre le transport facile.

L'ohmmètre exposé par M. J. Carpentier, de Paris, est destiné à la la mesure des résistances d'isolement des canalisations électriques. Il se compose essentiellement de deux cadres galvanométriques superposés et placés dans deux plans perpendiculaires ; ce système, monté sur un axe vertical, est placé dans un champ magnétique intense produit par des aimants permanents. Un cylindre de fer doux, placé au centre de chacun des cadres, concentre les lignes de force dans l'entrefer laissé libre pour le déplacement du système mobile. L'orientation des deux cadres mobiles est indiquée à chaque instant par le déplacement d'une aiguille sur un cadran divisé. L'équilibre du système ne dépend que du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rapport des intensités des courants parcourant les deux cadres, de sorte que la graduation de l'instrument est indépendante de la force électromotrice employé. Cet ohmmètre est réglée pour fonctionner avec des forces électromotrices pouvant varier de 100 à 300 volts et, dans ces conditions, il permet de mesurer des résistances allant jusqu'à 5 mégohms. Le courant utilisé pour actionner l'ohmmètre est généralement produit par une petite magnéto mise en mouvement à l'aide d'une manivelle.

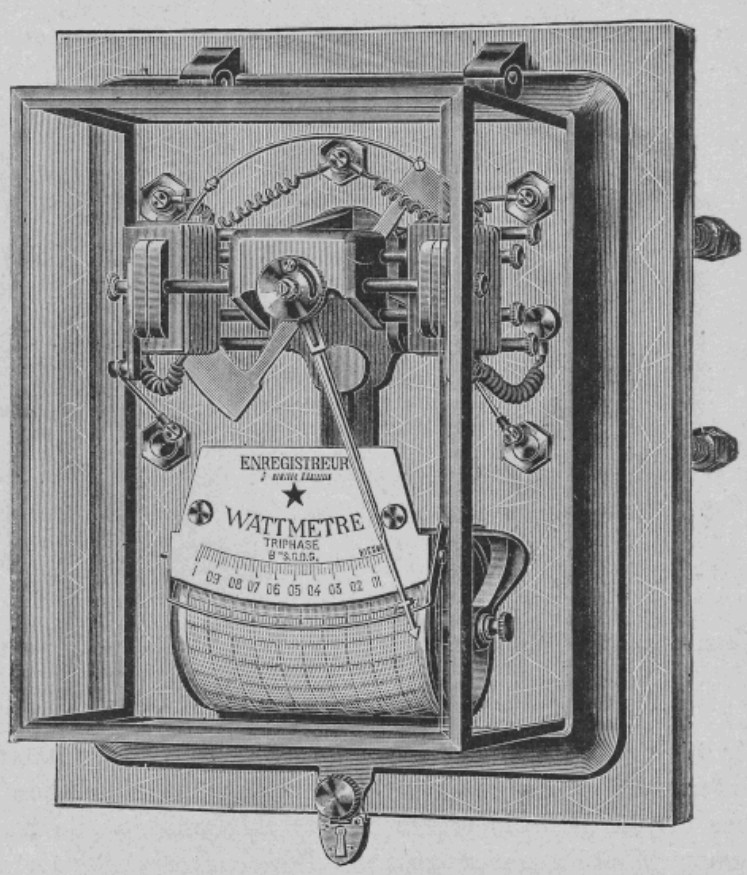


FIG. 211. — Wattmètre Meyland-d'Arsonval.

Wattmètres. — MM. Chauvin et Arnoux avaient exposé un wattmètre enregistreur (*fig.* 210) constitué par un cadre rectangulaire mobile, placé entre deux bobines et portant la plume molette d'enregistrement. Ce type de wattmètre se construit aussi bien pour courant continu que pour courant alternatif.

Le wattmètre enregistreur, système Meylan-d'Arsonval, exposé par la Compagnie pour la fabrication des compteurs (*fig.* 211), est fondé sur l'emploi des champs tournants et sur les actions réciproques de deux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

flux diphasés et des courants induits par eux dans un disque mobile portant l'aiguille indicatrice.

Pour que le même instrument puisse être utilisé pour mesurer des courants alternatifs simples, diphasés ou triphasés, il est muni de deux systèmes inducteurs agissant sur un même disque et, suivant les cas, on les relie à une phase ou à deux phases (méthode des deux wattmètres).

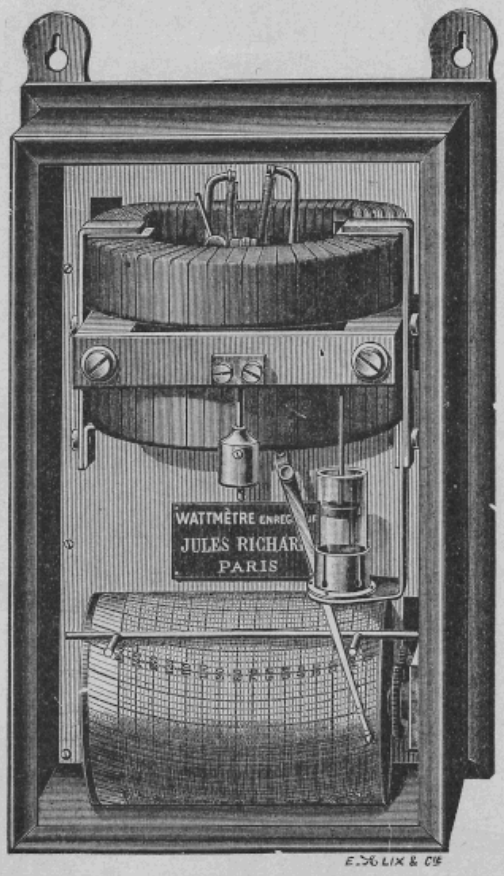


Fig. 212. — Wattmètre Richard.

Ce wattmètre comporte trois bobines : une bobine de voltmètre, une bobine d'ampèremètre et une bobine correctrice parcourue par une fraction du courant et destinée à rendre la mesure exacte pour les watts déphasés. Un ressort constitue la force antagoniste et les échelles sont proportionnelles. L'influence de la température est réduite à une très faible valeur, 1,5 0/0 pour 10° C., par suite de l'emploi d'un disque en laiton.

M. J. Richard avait exposé plusieurs types de wattmètres électrodynamiques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les wattmètres enregistreurs (*fig.* 212), pour courant continu ou alter-

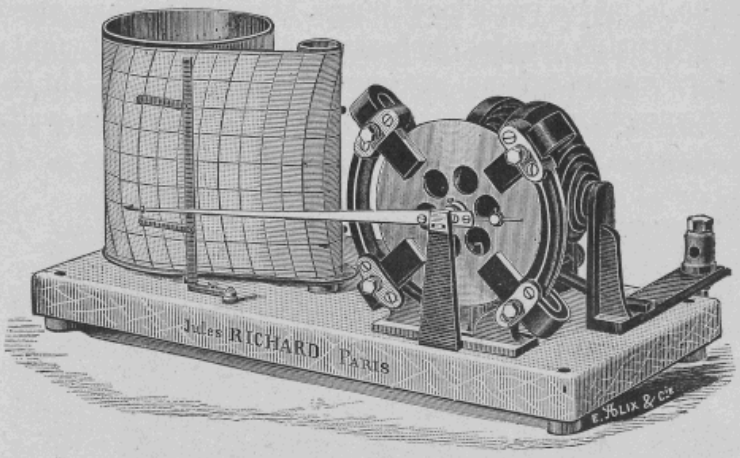


Fig. 213. — Wattmètre Richard.

natif, sont constitués par une bobine sphérique mobile en fil fin, montée

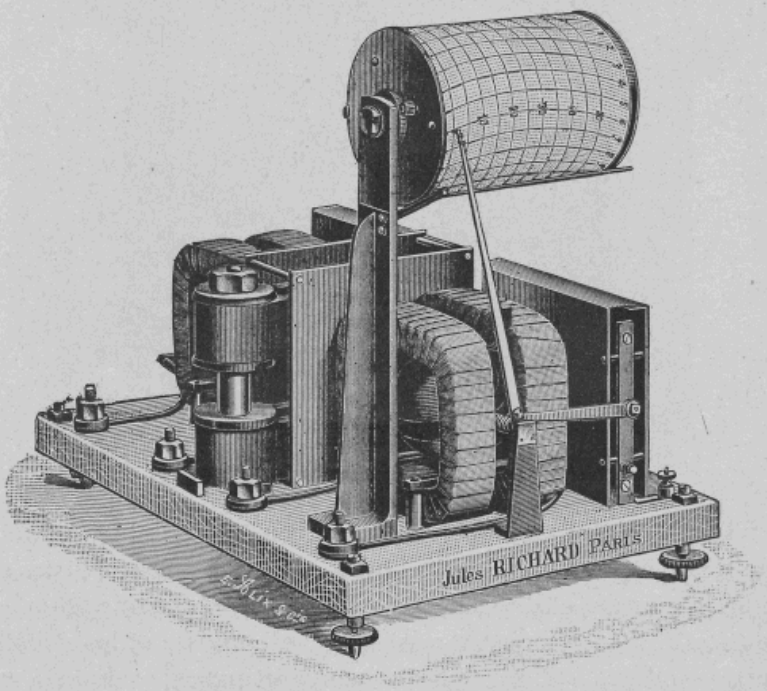


Fig. 214. — Wattmètre triphasé Richard.

en dérivation et pouvant se déplacer dans le champ produit par une bobine fixe, montée en série. Le couple antagoniste est produit par un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

petit contrepoids. L'amortissement est obtenu au moyen d'un cylindre à glycérine.

Les wattmètres électrodynamiques enregistreurs pour distribution à trois fils (*fig.* 213) permettent d'éviter l'emploi d'un wattmètre indépendant sur chaque pont en totalisant automatiquement la consommation de chacun d'eux. A cet effet, la bobine fixe est divisée en deux circuits qu'on intercale respectivement dans les deux conducteurs extrêmes de la distribution, tandis que les deux enroulements distincts que porte la bobine mobile sont placés respectivement en dérivation sur le fil neutre et l'un des conducteurs extrêmes. Dans ces instruments, l'amortisseur à glycérine est remplacé par un frein magnétique composé de quatre puissants aimants permanents agissant sur un disque métallique.

Le wattmètre enregistreur pour courants triphasés (*fig.* 214) se compose en réalité de deux instruments reliés suivant la méthode des deux wattmètres et agencés de manière à agir simultanément sur une plume unique.

M. E. Ducretet, de Paris, exposait le wattmètre industriel de MM. Blondel et Labour. Cet instrument a pour but de rendre faciles et précises les mesures de puissance électrique dans les laboratoires et usines d'électricité. Ce wattmètre peut supporter des intensités de courant atteignant jusqu'à 2 500 ampères. Pour la mesure des courants alternatifs de 2 000 à 3 000 volts, le wattmètre est muni d'un transformateur abaissant la tension à 110 volts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III

INSTRUMENTS DE LABORATOIRE

Galvanomètres apériodiques à bobine mobile. — MM. Chauvin et Arnoux, de Paris, exposaient plusieurs modèles de galvanomètres. Dans l'un la bobine mobile est à suspension élastique, donne sa dévia-

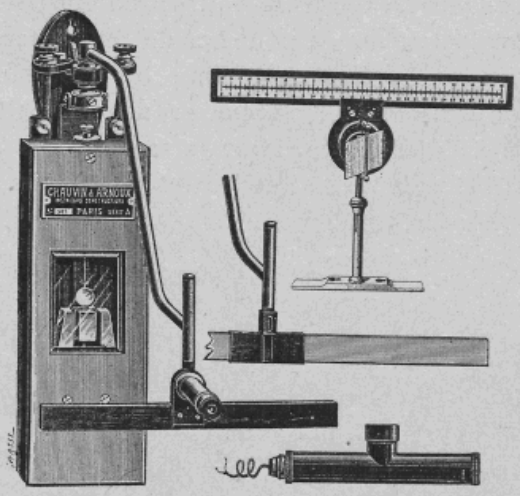


Fig. 215. — Galvanomètre portatif Chauvin et Arnoux.

tion totale sous l'action d'un courant de 0,0001 ampère ou d'une tension de 0,001 volt. Il est à lecture directe, c'est-à-dire qu'il comporte une aiguille se déplaçant sur un cadran gradué.

Il se construit un autre modèle de galvanomètre à bobine mobile et à miroir (*fig.* 215), très facilement transportable, très peu encombrant et très léger. Il est muni d'une suspension à la cardan, ce qui facilite son installation en n'importe quel endroit.

La lecture des déviations peut s'effectuer, soit par pinnule et lunette sans source lumineuse spéciale, soit par spot lumineux sur une échelle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

transparente. Le dispositif utilisé pour ces deux méthodes de lecture est fixé à l'extrémité d'une tige-support, mobile autour de la tête de suspension du galvanomètre, permettant ainsi facilement d'amener l'instrument au zéro.

Un courant de 0,5 microampère produit une déviation d'une division sur une échelle placée à 30 cm du miroir; dans le modèle de très grande sensibilité, la même déviation est obtenue avec 0,1 microampère.

Cet instrument peut être rendu balistique par l'emploi d'un balancier fixé sur le cadre.

M. J. Carpentier, de Paris, exposait deux galvanomètres, système Deprez-d'Arsonval. L'un, du type à miroir, a une constante pouvant atteindre 200 mégohms, grâce à sa suspension à fil plat et à la disposition donnée aux pièces polaires. Ayant une durée d'oscillation de dix à douze secondes, il peut être utilisé comme galvanomètre balistique.

Le second modèle est portatif, forme un ensemble bien compact et convient particulièrement pour effectuer au dehors des mesures de résistance d'isolement jusqu'à 300 mégohms.

Dans l'exposition de M. E. Ducretet, de Paris, figuraient un galvanomètre Deprez-d'Arsonval, dont la bobine mobile se déplace dans le champ magnétique intense créé par un aimant permanent, formé de cinq aimants juxtaposés, ainsi qu'un autre galvanomètre, du même système, muni d'un dispositif enregistreur, et appliqué avec succès au pyromètre thermo-électrique de M. Le Chatelier.

Fluxmètre Grassot. — Cet instrument (*fig.* 216), exposé par la Compagnie pour la fabrication des compteurs, peut remplacer le galvanomètre balistique dans ses nombreux emplois.

Il permet de mesurer :

1° La quantité d'électricité qui traverse une résistance de valeur connue et ne présentant pas de self-induction ;

2° L'intensité d'un champ magnétique sensiblement uniforme, lorsque l'instrument est relié à une bobine ayant une surface et un nombre de tours déterminés.

Cet instrument est constitué par un galvanomètre, genre d'Arsonval, dont le couple de torsion est très petit et a, par conséquent, un très grand amortissement.

Il se compose (*fig.* 217) d'un aimant permanent dont les deux pôles NS entourent un noyau cylindrique en fer doux A, en laissant un entre-fer de quelques millimètres dans lequel on obtient un champ magnétique intense d'environ 1 000 unités *C. G.S.* Dans ce champ, et entourant le noyau A, est placée une bobine B en fil de cuivre isolé. Cette bobine est suspendue au moyen d'un étrier et par l'intermédiaire d'un fil de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cocon C, à un ressort spiral plat P. Cette suspension sans frottement est très robuste, parce que les chocs et les vibrations qui casseraient infailliblement le fil de cocon, s'il était fixé à une pièce rigide, n'ont d'autre effet que de faire fléchir le ressort P qui suit tous les mouvements verticaux de la bobine B. Les bornes L et L′ de l'instrument sont respectivement reliées aux extrémités de l'enroulement de la bobine B par l'intermédiaire de deux ressorts spiraux R et R′ en ruban d'argent

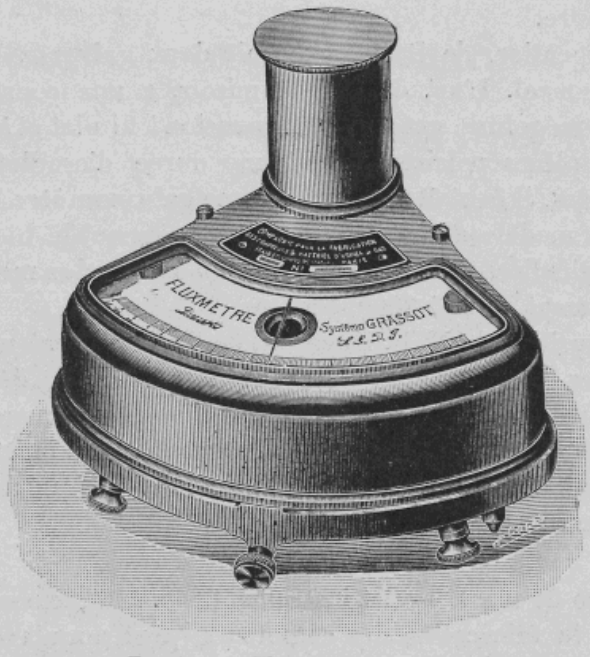


Fig. 216. — Fluxmètre Grassot.

excessivement mince. La bobine porte une aiguille indicatrice qui se déplace devant un cadran gradué; elle peut être ramenée mécaniquement au zéro en manœuvrant un bouton disposé sur le socle.

Le fluxmètre étant un galvanomètre excessivement amorti, on ne doit l'utiliser que relié aux bornes d'une résistance aussi faible que possible, ne devant pas dépasser 20 à 50 ohms. Cette résistance ne doit pas présenter de self-induction notable lorsqu'il s'agit de mesurer une quantité d'électricité; elle doit être constituée par une bobine ayant un nombre de tours connu, dans le cas où l'instrument est utilisé pour mesurer le flux d'un aimant; enfin, il est nécessaire qu'elle ait un nombre de tours et une surface connus, lorsqu'on a à mesurer l'intensité d'un champ magnétique.

Le cadran du fluxmètre est divisé en 100 parties de part et d'autre du zéro. Une division vaut environ 10000 unités *C. G. S.* ou maxwells, ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui équivaut à 100 microvolts-seconde ; la valeur exacte d'une division est indiquée sur le cadran.

L'instrument est accompagné d'une bobine ayant une surface moyenne de 10 cm² et un nombre de tours tel qu'une division de l'échelle corresponde exactement à 100 unités de flux ou à 10 unités de champ ou gauss.

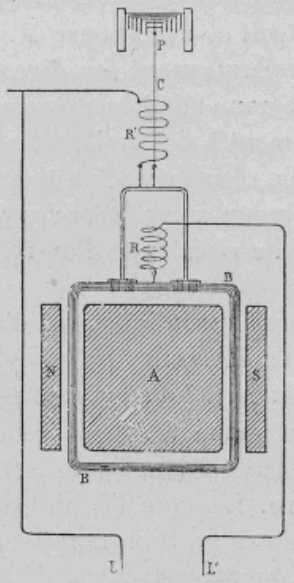


FIG. 217.

Lorsque le fluxmètre est utilisé comme galvanomètre, sa résistance critique d'amortissement étant d'environ 1000 ohms, il ne peut être utilisé que sur une résistance plus grande. Dans ces conditions, la déviation de l'aiguille est de l'ordre d'une division pour 0,01 microampère.

Galvanomètre à aimant mobile. — Plusieurs modèles de galvanomètres astatiques figuraient à l'Exposition.

M. J. Carpentier, de Paris, présentait ses modèles bien connus de galvanomètres Kelvin, à bobines amovibles, permettant d'utiliser le même instrument pour les mesures les plus diverses, grâce à une série de bobines de rechange ayant des résistances appropriées. Le même constructeur exposait le galvanomètre Broca de grande sensibilité, convenant tout particulièrement aux mesures délicates que nécessitent les recherches physiologiques et aussi les expériences de thermoélectricité.

M. E. Ducretet exposait son modèle de galvanomètre Kelvin avec amortisseur à air et bobines amovibles. L'aimant directeur peut être

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

animé à volonté d'un mouvement lent ou d'un mouvement rapide.

A signaler également, dans l'exposition de M. E. Ducretet, une boussole des sinus et des tangentes de Pouillet, à cercle inclinant, permettant de mesurer avec précision des intensités variant depuis 0,05 jusqu'à 200 ampères.

Galvanomètre enregistreur universel. — Ce galvanomètre, du système Callendar, construit et exposé par M. J. Carpentier, de Paris, permet d'enregistrer graphiquement les diverses quantités physiques dont la mesure peut être ramenée à la détermination d'une résistance électrique. Il sert notamment à déterminer les températures élevées, en mesurant les variations de résistance d'un thermomètre à fil de platine; il est utilisé également pour enregistrer les variations de tension en mesurant les variations de résistance d'un fil métallique parcouru par le courant.

L'instrument se compose essentiellement d'un pont de Wheatstone, d'un galvanomètre Deprez-d'Arsonval, d'un cylindre enregistreur et de trois mouvements d'horlogerie. Le curseur à contact du pont de Wheatstone se déplace automatiquement, parallèlement au fil du pont et ses déplacements, dans un sens ou dans l'autre, sont provoqués par les déviations du galvanomètre. Lorsque l'équilibre est établi, le cadre du galvanomètre ayant repris sa position normale, le curseur reste immobile; une plume à encre, montée sur le chariot du curseur, trace sur le cylindre enregistreur la position d'équilibre. Pour obtenir ce résultat, le galvanomètre est disposé en relais; son cadre mobile porte une longue aiguille parcourue par un courant local qui vient actionner, suivant le sens des déviations du galvanomètre, l'un ou l'autre des deux petits électro-aimants commandant la manœuvre du curseur du pont. Chaque électro-aimant, pendant le temps de son action, libère un rouage auquel est attelé le chariot portant la plume de l'enregistreur.

Le troisième mouvement d'horlogerie sert à entraîner le cylindre enregistreur qui fait un tour complet en vingt-quatre heures.

Électromètres. — L'électromètre Thomson, modifié par M. Mascart, figurait dans les vitrines de M. J. Carpentier de Paris. Cet électromètre fondé sur le même principe que celui de Thomson, dont il possède les principaux organes, a été très simplifié dans sa construction, ce qui a grandement facilité son emploi.

M. E. Ducretet, de Paris, exposait un électromètre à quadrants de Thomson, modèle symétrique de M. Mascart. La suspension de l'équipage mobile est constituée par un fil métallique; la cuve servant d'amortisseur est à deux compartiments concentriques; l'un reçoit le liquide

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dessiccateur, l'autre de l'huile dans laquelle plonge la palette fixée à l'équipage mobile, constituant ainsi un excellent amortisseur.

Résistances et ponts de Wheatstone. — Peu d'appareils de ce genre figuraient à l'Exposition.

M. J. Carpentier, de Paris, présentait une résistance étalon de 0,1 ohm contenue dans une enveloppe métallique et mise à l'abri des variations de la température extérieure par une gaine de paraffine ; une boîte de résistances de 36 bobines, montées en décades, avec pont de Wheatstone ; un rhéostat circulaire à deux décades ; un rhéostat circulaire à quatre décades ; un second rhéostat circulaire à quatre décades avec pont de Wheastone et, enfin, un pont pour la mesure des faibles résistances combiné pour réaliser, facilement et commodément, le dispositif imaginé par lord Kelvin, connu sous le nom de pont double de Thomson.

M. E. Ducretet, de Paris, avait exposé un rhéostat de Wheatstone à cylindres pour la mesure rapide des résistances et des conductances.

Potentiomètres. — Le potentiomètre Chauvin et Arnoux, de Paris (*fig.* 218), sert à mesurer sans difficulté et avec précision l'étalonnage des instruments de mesure. Il présente le grand avantage d'être trans-

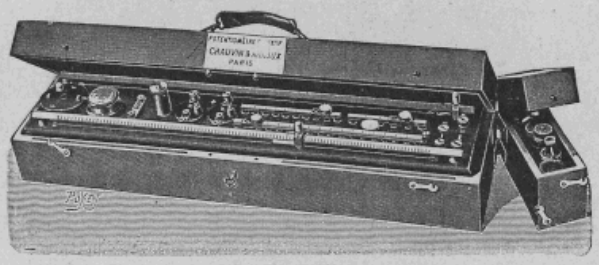


FIG. 218. — Potentiomètre Chauvin et Arnoux.

portable. Il permet de mesurer des forces électromotrices comprises entre 0,0001 et 1 600 volts et, en utilisant des shunts spéciaux, des intensités depuis 0,00001 à 10 000 ampères.

Le potentiomètre de M. J. Carpentier, de Paris, se compose de deux parties distinctes : le potentiomètre proprement dit et le rhéostat de réglage. Ces deux parties sont complètement séparées, de sorte qu'aucune confusion n'est possible dans la manœuvre ; une fois le réglage effectué, l'opérateur n'a plus qu'à utiliser les manettes qui se trouvent sur le devant de l'appareil et qui correspondent au circuit potentiométrique. Ce potentiomètre permet de mesurer des différences de potentiel variant de 0,0001 à 600 volts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Caisses de mesures. — MM. Chauvin et Arnoux, de Paris, avaient exposé une caisse constituant un laboratoire complet de mesures électriques (*fig.* 219) permettant de mesurer des intensités, des forces électromotrices et des résistances dans des limites très étendues.

Cette caisse comporte :

1° Un pont double de lord Kelvin pour la mesure des faibles résistances ;

2° Un pont de Wheatstone avec boîte de résistances à décades ;

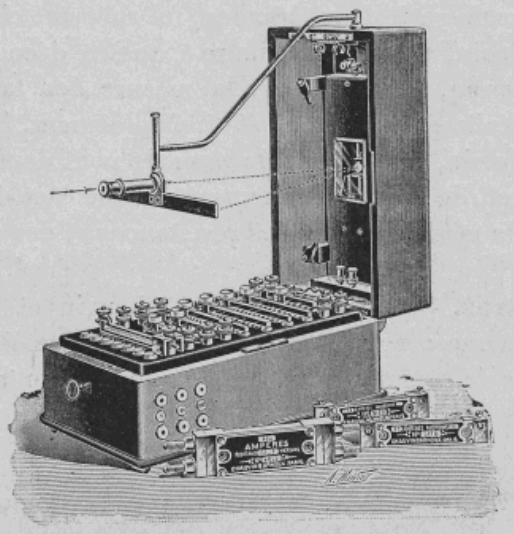


Fig. 219. — Caisse de mesures Chauvin et Arnoux.

3° Un galvanomètre du type décrit précédemment avec son shunt ;

4° Une échelle graduée ;

5° Trois shunts et un réducteur pour les mesures d'intensité ;

6° Une résistance de 100 000 ohms pour la mesure des résistances d'isolement.

La limite des résistances que l'on peut mesurer avec cette caisse atteint 1 500 mégohms ; pour les intensités, les limites sont 0,1 microampère et 300 ampères et, pour les forces électromotrices, 0,001 volt et 300 volts.

Appareils accessoires pour installations de mesures. — Dans les vitrines de M. J. Carpentier, de Paris, on voyait plusieurs appareils intéressants parmi lesquels nous citerons :

Un condensateur étalon au mica, de 1 microfarad, subdivisé en quatre sections ;

Des réducteurs de galvanomètres à deux et à trois pouvoirs multipli-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cateurs, réglés pour les instruments avec lesquels ils doivent être utilisés ;

Des réducteurs universels différant des réducteurs ordinaires en ce qu'ils ne sont pas, comme ces derniers, réglés et tarés, par construction, pour un galvanomètre déterminé, mais qu'ils sont combinés de telle sorte qu'ils peuvent être utilisés avec un galvanomètre quelconque. A cet effet, la résistance totale du réducteur reste constamment en série avec le circuit propre au galvanomètre et l'on obtient les différents pouvoirs multiplicateurs en faisant varier, sur le réducteur, le point d'entrée du courant. Un des grands avantages de cette disposition est de conserver au circuit galvanométrique une résistance invariable ;

Une échelle divisée transparente pour l'observation des instruments à miroir, facile à mettre en place et à régler. La lumière utilisée, émise par une source quelconque, est recueillie et renvoyée sur le miroir de l'instrument à l'aide d'une petite glace rectangulaire supportée par une monture à deux rotations ;

Différents modèles de clés : clé d'inversion à double touche ; clé de décharge de Sabine, modèle Carpentier ; clé de court-circuit ; clé à deux contacts successifs ;

Un commutateur inverseur à mercure sur socle en ébonite ;

Un contact tournant, destiné à la mesure des courants alternatifs par la méthode de M. Joubert et consistant essentiellement en une petite clé de décharge actionnée, mécaniquement, par une came solidaire de l'axe d'un petit moteur synchrone à six pôles ;

Dans l'exposition de M. E. Ducretet, figurait l'échelle divisée transparente, pour lecture des déviations des instruments à miroir, munie d'un dispositif d'éclairage consistant soit en un bec de gaz, soit en une lampe à incandescence.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE IV

INSTRUMENTS POUR MESURES DIVERSES

Pyromètres. — MM. Chauvin et Arnoux, de Paris, exposaient une série de pyromètres industriels constitués par des couples thermo-électriques très robustes et des galvanomètres à bobine mobile, gradués en degrés centigrades.

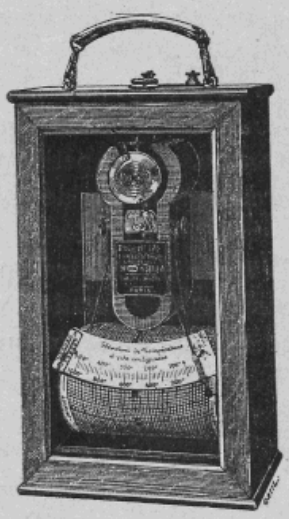


Fig. 220.
Enregistreur pyrométrique.

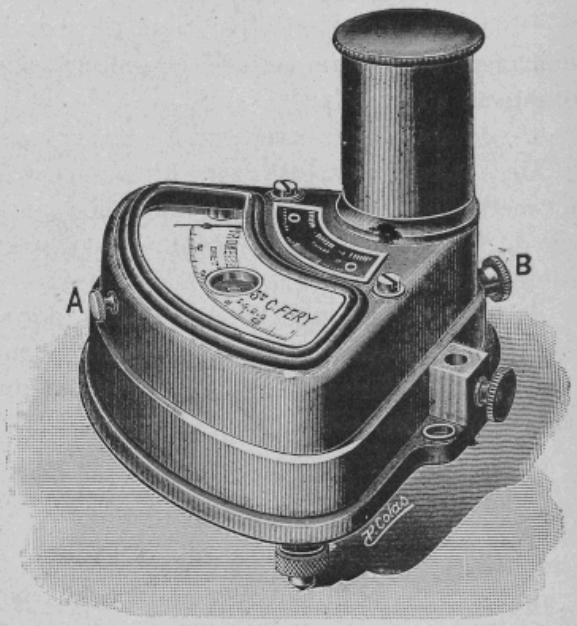


Fig. 221. — Galvanomètre du pyromètre Féry.

Les cannes à couple thermo-électrique, utilisées avec le galvanomètre pour la mesure des températures élevées, peuvent être également employées avec un enregistreur spécial (*fig.* 220) du type à bobine mobile et peuvent aussi actionner un pyromètre à cadran commandant une sonnerie, à l'aide d'un contact, lorsque la température vient à dépasser la limite voulue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La Compagnie pour la fabrication des compteurs, de Paris, avait exposé le pyromètre système Féry, constitué par un télescope et par un galvanomètre (*fig.* 221). Le miroir M du télescope (*fig.* 222) est recouvert d'une couche d'or sur la surface directement réfléchissante. Sur l'axe optique du télescope se trouve un couple thermo-électrique formé par les soudures de deux fils, constantan et fer, disposés en forme de croix et fixés à deux lames de laiton D et R reliées aux bornes *bb'*. Deux fils conducteurs relient ces bornes à celles d'un galvanomètre.

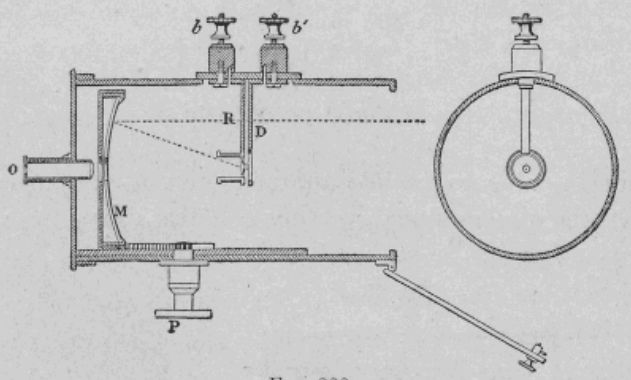


FIG. 222.

Pour mesurer avec cet appareil la température d'un four ou d'un corps placé dans le four, il faut tout d'abord mettre au point le télescope pointé sur le four ou sur le corps. Pour cela, on vise par l'oculaire O un regard percé dans le four ou le corps lui-même, et on amène l'image du regard ou du corps sur la soudure du couple, laquelle se présente à l'œil sous la forme d'un disque noir placé au centre du champ de la visée. Il est indispensable que l'image de l'ouverture du four ou l'image du corps visé déborde légèrement autour de la soudure.

L'image est réfléchie dans l'oculaire O par un système de deux miroirs à plans inclinés placés près du couple. Ces miroirs servent à la mise au point. Ils sont disposés de telle manière que l'image du four ou du corps visé semble coupée en deux parties. Ces deux parties ne coïncident que lorsque la mise au point est exacte. La mise au point se fait en déplaçant le miroir au moyen du pignon P (*fig.* 222). Les mesures de température sont rendues par ce moyen indépendantes de la distance du télescope au four.

L'image qui se forme sur la soudure est calorifique. La soudure s'échauffe rapidement ; mais, d'après les dispositions mêmes de l'appareil, sa température ne s'élève jamais à plus de 100° C., ce qui fait que les indications de l'appareil restent toujours comparables. Le courant électrique qui prend naissance dans ces conditions est mesuré par un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

galvanomètre dont l'échelle est graduée directement en degrés de température.

La graduation du galvanomètre est établie d'après la loi de Stéfan qui est la suivante :

La quantité de chaleur rayonnée par un four ou par un corps noir sur un autre corps noir est proportionnelle à la quatrième puissance de la température absolue du corps rayonnant.

Les échelles de température que l'on réalise avec cet appareil sont les suivantes :

400 à 1 000°
500 à 1 100°
600 à 1 300°
700 à 1 400°, etc.

Dans le but de créer un modèle unique de pyromètre pouvant mesurer des températures quelconques avec des échelles plus étendues, le téles-

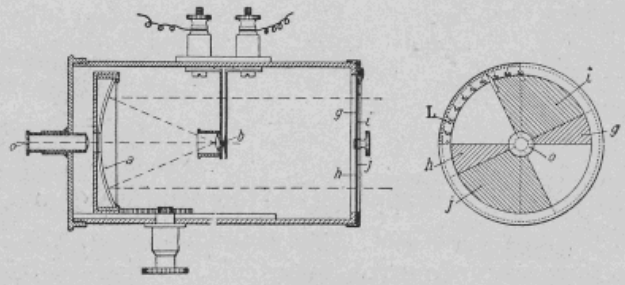


FIG. 223.

cope a été muni d'un diaphragme à papillon qui permet d'obstruer radialement une partie des rayons calorifiques (*fig.* 223).

Le galvanomètre, qui forme avec le télescope à diaphragme l'ensemble du pyromètre, comporte deux échelles de températures. L'une correspond à la pleine ouverture du diaphragme, c'est l'échelle des températures les plus basses ; l'autre correspond à la fermeture partielle du diaphragme, c'est l'échelle des températures les plus élevées. Un trait de repère tracé sur le limbe L donne la position de fermeture du diaphragme mobile correspondant à cette dernière échelle.

Les températures que l'on peut mesurer avec un seul galvanomètre en employant cette disposition sont comprises dans les limites suivantes :

400 à 1 600°
500 à 1 800°
600 à 2 000°
700 à 2 300°

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En adjoignant aux deux échelles du galvanomètre une table de références des températures aux millivolts, on peut, avec un seul appareil, mesurer les températures comprises entre 400 et 2 500°.

Cette échelle de références correspond à un autre angle d'ouverture déterminée du diaphragme mobile tracé également sur le limbe.

Le pyromètre à lecture directe de M. Le Chatelier, exposé par M. Carpentier, se compose d'un couple thermo-électrique que l'on place dans le milieu dont on veut connaître la température. La force électromotrice produite par l'échauffement du couple donne naissance à un courant dont on mesure la tension à l'aide d'un millivoltmètre à bobine mobile, dont le cadran porte une graduation en millivolts et une seconde, en regard de la première, donnant directement les valeurs de la température.

Oscillographe Blondel. — Ce précieux instrument, construit et exposé par M. J. Carpentier, de Paris, constitue un ensemble complet et portatif qui permet d'observer et de relever les courbes des courants étudiés. Dans l'oscillographe on peut utiliser soit un galvanomètre à fer doux, soit un galvanomètre bifilaire.

Le galvanomètre à fer doux se compose de deux équipages, placés chacun au centre d'une paire de bobines parcourues par le courant à étudier. L'instrument permet alors d'obtenir, simultanément et avec leurs phases respectives, deux courbes : différence de potentiel et intensité, différence de potentiel primaire et secondaire d'un transformateur, etc. Chaque équipage en fer doux est constitué par une lame mince et étroite, tendue sur un chevalet et portant, en son milieu, un petit miroir. Le tout est placé dans un tube rempli d'huile pour amortir les oscillations.

Le galvanomètre bifilaire se compose de deux équipages bifilaires réunis dans une armature qui se met entre les pôles de l'aimant, à la place du galvanomètre à fer doux. Ces équipages sont constitués par deux rubans de bronze, tendus l'un à côté de l'autre sur des chevalets isolés; un miroir est fixé au milieu des deux fils. Le courant étudié traverse les deux rubans et produit une torsion du système que le miroir permet d'observer.

Le synchronoscope, faisant partie de l'instrument, se compose d'un miroir oscillant autour d'un axe horizontal; le miroir est actionné par une came montée sur l'axe d'un moteur synchrone. Le profil de la came est tracé de telle sorte que, pendant les deux tiers de sa course, elle imprime au miroir un mouvement proportionnel au temps et, pendant l'autre tiers, elle le ramène rapidement à sa position initiale. Un obtu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rateur électrique, en relation avec la came, supprime l'image correspondant à la course de retour au zéro du miroir.

L'instrument est complété par une lampe à arc, et le tout est disposé de façon à permettre la photographie instantanée de la courbe du courant ; à cet effet, un châssis photographique se substitue à la glace dépolie recevant l'image : dans ce cas, l'obturateur reste fermé et ne découvre le rayon lumineux que pendant le temps correspondant à une seule oscillation du miroir du synchronoscope.

Indépendamment de l'observation directe et de la photographie des courbes de courant, l'oscillographe se prête, mieux que tout appareil, à l'analyse des courants périodiques par la méthode de résonance.

Ondographe Hospitalier. — Cet instrument, construit et exposé par la Compagnie pour la fabrication des compteurs, de Paris, a pour objet d'inscrire, sur une bande de papier, les courbes représentatives d'un phénomène électrique périodiquement et rapidement variable.

L'ondographe est fondé en principe sur une combinaison de la méthode par points successifs de M. Joubert, dont l'emploi est rendu continu et automatique par des combinaisons d'engrenages et l'utilisation d'enregistreurs électriques ; il est commandé par un petit moteur synchrone.

Les principales applications qui peuvent être réalisées avec cet instrument sont les suivantes :

Enregistrement d'une différence de potentiel alternative ;

Enregistrement d'une intensité ;

Enregistrement simultané de la différence de potentiel et de l'intensité avec indication directe du décalage ;

Enregistrement des harmoniques de divers degrés, etc. ;

Le tout pour des fréquences variant de 25 à 70 périodes par seconde. Pour des fréquences plus élevées, l'instrument comporte l'emploi d'un moteur synchrone dont les données sont modifiées en conséquence.

Instruments pour l'étude des propriétés magnétiques des fers. — M. J. Carpentier, de Paris, exposait le perméamètre Picou et l'hystérésimètre Blondel-Carpentier.

Le perméamètre Picou a été disposé pour éviter les erreurs, souvent considérables, qui résultent des joints magnétiques entre l'échantillon étudié et la culasse en fer destinée à fermer le circuit magnétique. La méthode de mesure de la perméabilité, utilisée avec cet instrument, est une méthode de compensation, grâce à laquelle la force magnétomotrice, destinée à vaincre la réluctance des joints et des culasses, est produite par un courant auxiliaire. Le courant principal ayant seulement à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fournir le flux dans l'échantillon étudié, la valeur du champ magnétisant est exactement connue, quelle que soit la réluctance des joints. Les mesures se font en observant l'élongation d'un galvanomètre balistique. L'éprouvette d'essai est un barreau carré de 18 à 20 cm de longueur et

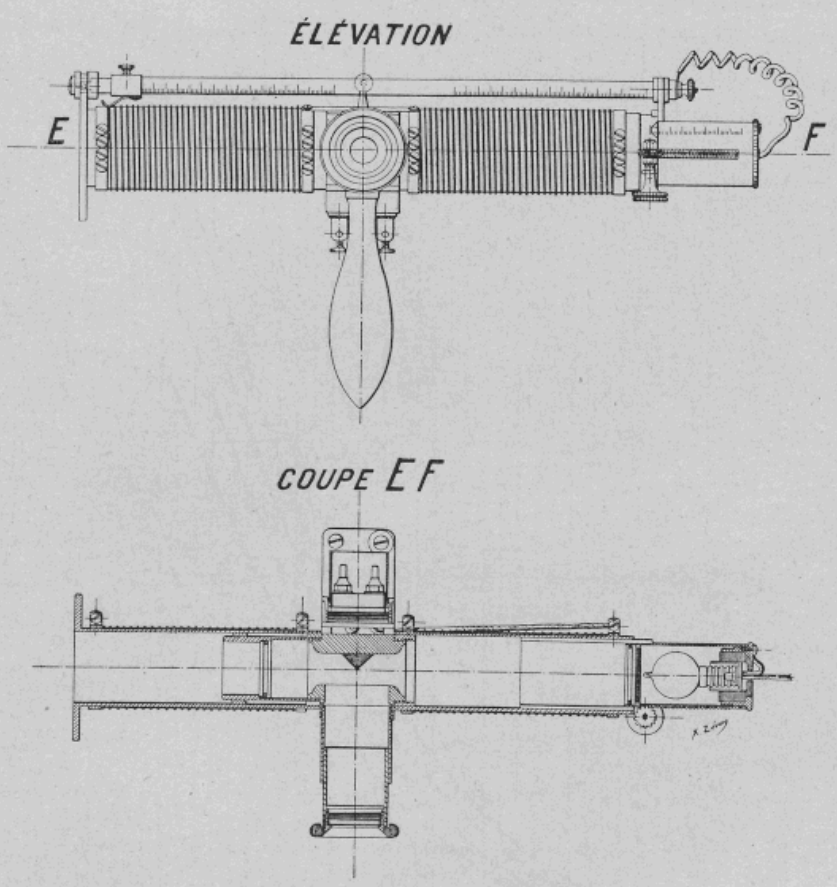


FIG. 224 et 225. — Lunette photométrique G. Roux.

de 1 cm de côté, plein ou en lames superposées, selon les cas. Un dressage très grossier des surfaces des joints suffit et rend très simple la préparation des éprouvettes d'essai.

L'hystérésimètre Blondel-Carpentier sert à l'essai industriel des fers au point de vue de l'hystérésis. Il permet de comparer l'échantillon essayé avec un autre d'hystérésis connu ; la torsion d'un ressort en boudin, fixé à l'arbre vertical de l'instrument, s'oppose au mouvement qui tend à entraîner le fer soumis à l'essai. Le rapport des torsions de l'échantillon type et de l'échantillon étudié donne le rapport des pertes par hystérésis, celles de l'échantillon type étant constantes et bien connues.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Instruments pour l'étude du magnétisme terrestre. — Les instruments magnétiques de M. Mascart, destinés à l'étude du magnétisme terrestre, figuraient dans l'exposition de M. Carpentier qui en est le constructeur. Ces instruments sont :

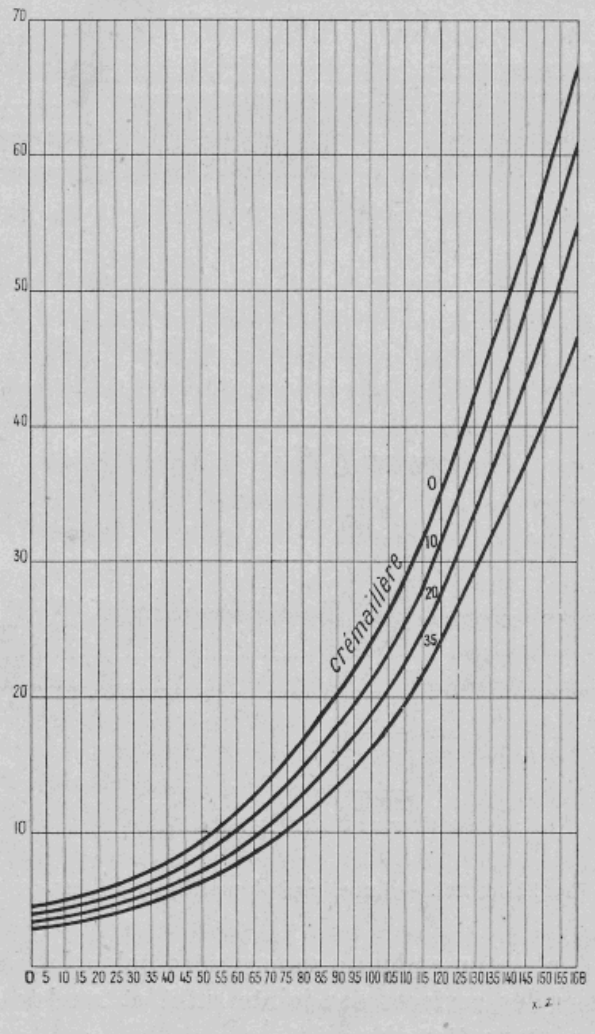


FIG. 226.

1° Le déclinomètre servant à observer les variations de la déclinaison ;

2° Le bifilaire destiné à mesurer les variations de la composante horizontale ;

3° La balance magnétique permettant d'observer les variations de la composante verticale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lunette photométrique Gaston Roux, de Paris. — Cette lunette permet de déterminer sur place l'intensité lumineuse des lampes à incandescence.

Cet instrument (*fig.* 224 et 225) se compose essentiellement de deux tubes métalliques, dont l'un, le plus court, est disposé perpendiculairement

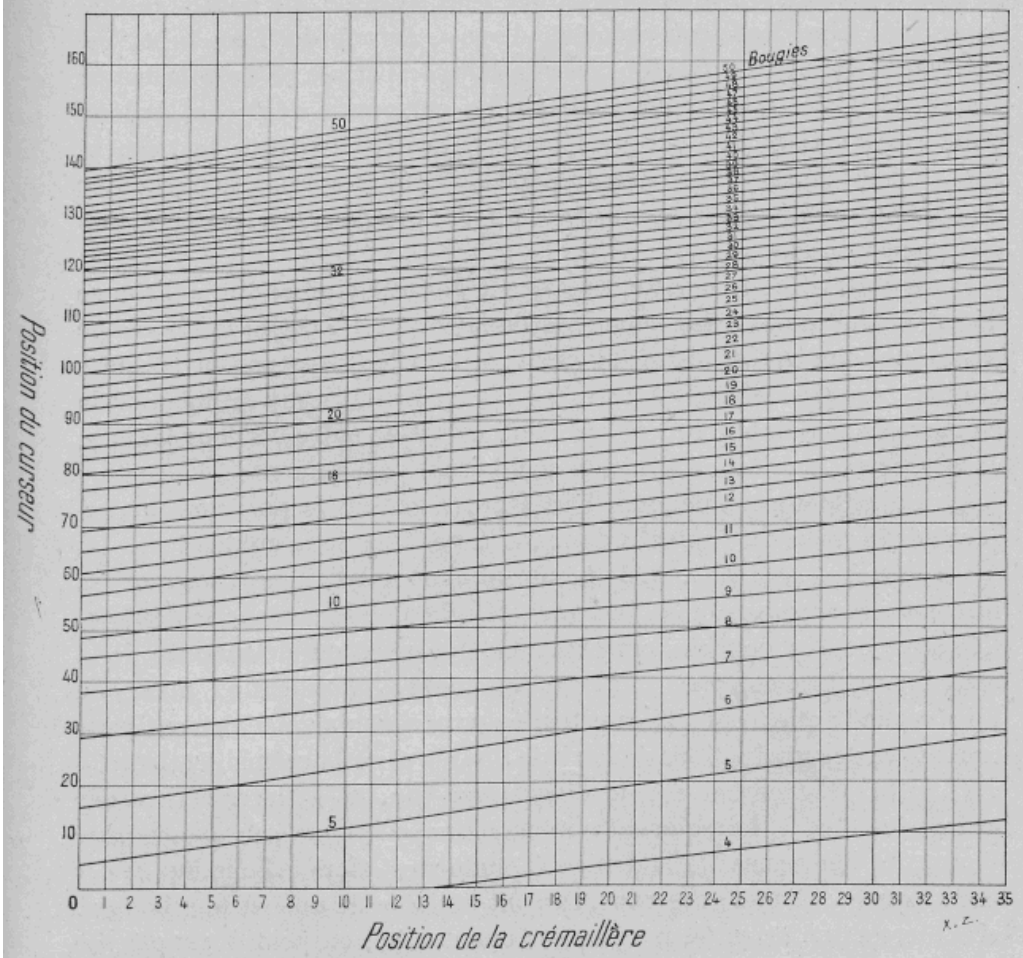


FIG. 227.

au milieu du second. Ce tube court reçoit un oculaire qui permet d'examiner un prisme de Foucault placé à l'intérieur de l'instrument et à l'intersection des deux tubes. Ce prisme est éclairé, sur l'une de ses faces, par une petite lampe étalon disposée sur une pièce mobile qui peut se déplacer, à l'aide d'une crémaillère graduée, à l'extrémité du tube le plus long. L'extrémité opposée de ce tube est ouverte et laisse pénétrer les rayons émis par la source lumineuse à étudier, rayons qui viennent frapper une des faces du prisme.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une chaîne inextensible, dont l'extrémité porte une griffe se fixant sur la douille de la lampe à étudier, permet de placer la lunette de telle façon que l'arête visible du prisme se trouve à une distance fixe de la lampe à étudier.

La lampe étalon est montée en tension avec une lampe de 10, 16 ou 20 bougies, affectée à la lunette et que peut recevoir une douille faisant corps avec elle. Enfin un rhéostat, disposé autour du long tube, est également monté en tension avec la lampe spéciale et avec la lampe étalon. Ce rhéostat est commandé par un curseur se déplaçant le long d'une règle divisée. Les lampes spéciales affectées à chaque instrument sont choisies de telle façon que, lorsqu'elles sont en circuit, la manœuvre du curseur le long du rhéostat permette de faire passer la lampe étalon du rouge au blanc.

Pour se servir de la lunette, on place la lampe à étudier à une distance déterminée et on agit sur le curseur de façon à faire donner à la lampe étalon une lumière de même intensité que celle émise par la lampe à étudier : rouge sombre, rouge vif ou blanc. En agissant ensuite sur la crémaillère, on établit l'équilibre photométrique entre les deux lampes, en observant le prisme à l'aide de l'oculaire.

On a ainsi deux coefficients : l'un A provenant de la position du curseur sur le rhéostat, l'autre B donnant la position de la crémaillère.

Les courbes n° 1 (*fig.* 226) montrent dans quel rapport varient les intensités lumineuses de la lampe étalon lorsque le curseur se déplace. Chacune de ces courbes correspond à une position déterminée de la crémaillère. Les courbes n° 2 sont les courbes d'utilisation même de l'instrument ; elles ont été construites expérimentalement et ont pour ordonnées des graduations de la règle divisée et de la crémaillère.

Il suffit de chercher sur le diagramme (*fig.* 227) l'intersection des ordonnées A et B. Lorsque cette intersection se trouve sur une courbe, l'intensité lumineuse de la lampe à étudier est alors celle indiquée par cette courbe. Comme ces courbes sont établies de une en une bougie, si l'intersection ne se trouve pas sur une courbe, on peut à simple vue faire l'approximation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE V

COMPTEURS

Les compteurs exposés à Liège étaient presque tous de construction française. Une seule maison allemande présentait quelques types de ces instruments.

Compteurs O'Keenan. — Ces compteurs sont construits par la *Compagnie pour la fabrication des compteurs*, de Paris, qui les exposait. Ils sont fondés sur le principe suivant :

1° Dans une machine magnéto-électrique, la force électromotrice est proportionnelle à la vitesse angulaire ;

2° Le rendement d'un moteur magnéto-électrique est maximum lorsque le travail produit est nul ; la vitesse angulaire de l'induit est alors proportionnelle à la différence de potentiel appliquée au balais.

Dans ces conditions, le nombre de tours est donc rigoureusement proportionnel au produit de la différence de potentiel aux balais par le temps.

Le compteur O'K est constitué par une machine magnéto-électrique fonctionnant en réceptrice. Le travail qui lui est demandé consiste uniquement à vaincre les frottements des pivots et à entraîner les rouages d'un totalisateur. Grâce à une construction très soignée, le rendement du moteur atteint 99 0/0.

La figure 228 montre les détails de construction, et la figure 229 montre l'aspect extérieur de ce compteur.

L'induit du moteur est constitué par une cloche en matière isolante, montée sur un axe vertical. Sur cette cloche sont fixées six bobines affectant la forme d'une galette; ces bobines sont reliées entre elles et avec un collecteur à six segments, comme le sont les sections de l'induit Siemens en tambour. Cet induit est logé dans l'étroit entrefer ménagé entre les pièces polaires d'un aimant permanent E et un noyau de fer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

doux G maintenu en H. Aucune des pièces de fer n'étant mobile, il n'y a pas à craindre de pertes par hystérésis pendant la rotation de l'induit.

Le courant est amené au collecteur par de petits balais en argent DD′; les segments du collecteur sont également en argent. Les balais sont reliés respectivement avec les bornes AA′.

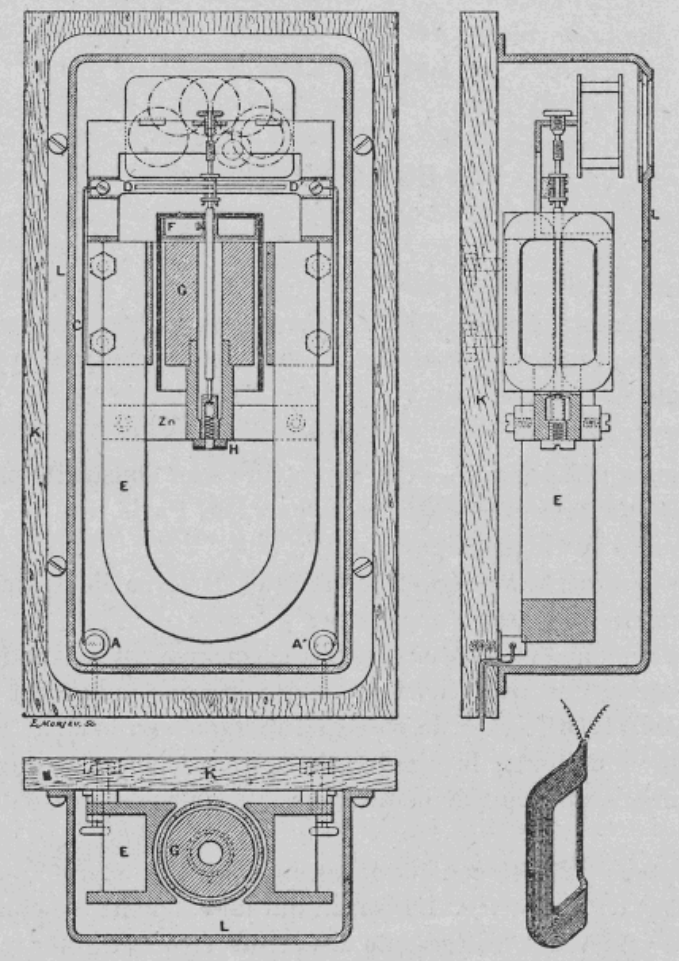


Fig. 228.

Pour totaliser le courant de charge et de décharge des batteries d'accumulateurs et pour se rendre compte à chaque instant de l'état de charge de la batterie, il a été créé un type spécial de compteur O′K. A cet effet, on utilise un shunt étalonné divisé en deux parties R et R′. Le courant de charge ne traverse que la résistance R, tandis que le courant de décharge passe dans les deux résistances $R + R'$. Si le rapport $\frac{R}{R+R'}$ est égal au rendement admis pour la batterie d'accumulateurs,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le compteur indiquera les ampères-heure fournis à la batterie, puis ceux utilisés et reviendra au zéro à la fin de la décharge, puisque le sens de rotation de l'induit se modifie suivant le sens du courant dans le shunt.

Il se construit aussi des compteurs O'K pour distribution à trois fils et, dans ce cas, l'instrument comporte deux petits moteurs magnéto-électriques. Un système d'engrenages spécial totalise mécaniquement les nombres de tours des deux induits.

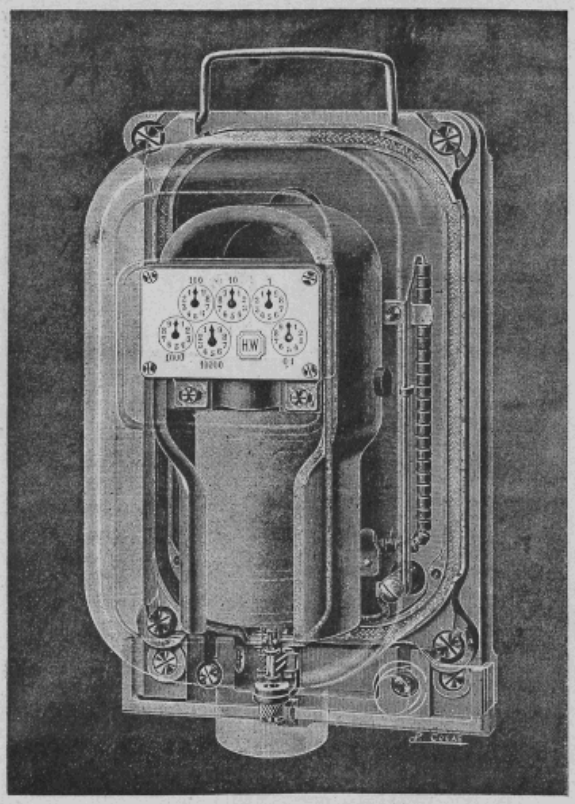


Fig. 229. — Compteur O'Keenan.

Compteurs Thomson. — La *Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz*, de Paris, avait exposé plusieurs modèles du compteur Thomson qu'elle construit et auquel elle a apporté d'importants perfectionnements.

Le compteur Thomson (*fig.* 230) est un compteur-moteur fondé sur le principe du wattmètre électrodynamique.

Cet instrument se compose d'un petit moteur électrique et d'un frein amortisseur destiné à absorber le travail produit par le moteur.

Le moteur électrique ne comporte pas de fer dans sa construction. L'inducteur est constitué par deux bobines enroulées de gros fil, de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lames ou de barres de cuivre, suivant la puissance du compteur; ces bobines font partie d'un même circuit et sont parcourues par le courant total du circuit de distribution.

L'induit de ce moteur, monté en dérivation sur le circuit de distribution, se compose d'une carcasse formée de deux flasques polygonales en

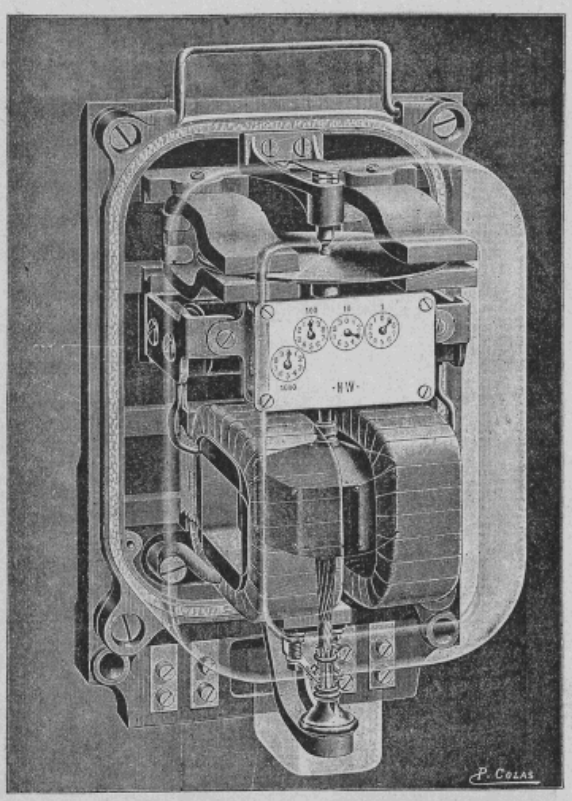


Fig. 230. — Compteur Thomson.

matière isolante, fixées sur un arbre vertical monté sur pivots, et d'un enroulement en tambour comportant huit bobines ou sections en fil fin isolé à la soie et à la gomme-laque. Les extrémités de ces bobines aboutissent à un petit collecteur en argent sur lequel appuient deux balais élastiques en cuivre rouge. Ces balais sont mobiles autour de l'axe passant par leur centre d'inertie, afin de les rendre moins sensibles aux vibrations; le contact s'effectue par les bords de petits étriers très mobiles de façon à obtenir deux points de contact certains par balai.

Une résistance assez grande est intercalée dans le circuit dérivé de l'induit; elle a pour effet de diminuer la valeur de la différence de potentiel entre les deux balais afin d'éviter toute production d'étincelles,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quoique l'absence de fer dans le moteur rende cette production d'étincelles à peu près impossible. Cette résistance a une valeur suffisamment grande pour que l'on puisse admettre que l'intensité du courant dans l'induit est proportionnelle à la différence de potentiel qui doit entrer dans le facteur UI. Dans ces conditions, le couple moteur de ce système est, à chaque instant, proportionnel au produit UI, c'est-à-dire à la puissance; ce produit, multiplié par la vitesse angulaire, donne, à tout instant, la quantité d'énergie utilisée.

Le frein amortisseur, destiné à absorber le travail du moteur, se compose d'un disque en aluminium fixé sur l'arbre portant l'induit du moteur; il tourne entre les pôles de deux aimants permanents, dont la position peut être réglée facilement, afin de modifier le couple de freinage, lors du réglage de l'instrument. La puissance absorbée par ce frein, par suite de la production de courants de Foucault dans le disque d'aluminium, étant fonction de l'intensité de ces courants multipliée par la vitesse angulaire ω, et l'intensité de ces courants étant elle-même proportionnelle à la vitesse angulaire, la puissance absorbée est proportionnelle au carré de la vitesse angulaire :

$$UI\omega = k\omega^2,$$
$$UI = k\omega,$$

expression dans laquelle k est une constante à déterminer, et ω la vitesse angulaire. Il s'ensuit qu'à chaque instant la vitesse angulaire du système est proportionnelle à la puissance à mesurer.

Le mécanisme totalisateur est un simple compteur de tours actionné par une vis sans fin, placée à la partie supérieure de l'arbre vertical portant l'induit du moteur.

Dans les nouveaux modèles de ce compteur, la dépense d'énergie dans la dérivation a été notablement diminuée sans nuire à la sensibilité de l'instrument.

Dans ce genre de compteurs, la principale cause d'erreur, principalement aux faibles charges, est due aux frottements. Une bonne construction mécanique a permis de réduire les frottements au minimum; en outre, l'extrémité inférieure de l'arbre vertical repose dans une crapaudine garnie de saphir poli et, enfin, l'instrument est établi pour que la vitesse angulaire de l'organe mobile soit toujours très faible, même à pleine charge.

Tous ces compteurs sont à lecture directe en hectowatts-heure pour les modèles de faible et de moyenne puissance. Quant à ceux de grande puissance, les lectures doivent être multipliées par une constante marquée sur l'instrument et généralement égale à 2, 3, 4, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La Compagnie avait exposé un compteur s'appliquant indifféremment aux circuits à deux ou trois fils, pour des intensités de 2 à 500 ampères sous 110 volts, en ce qui concerne les circuits à deux fils et pour des intensités de 2 à 100 ampères sous 220 volts, lorsque le compteur est utilisé sur un circuit à trois fils. Elle avait également exposé un compteur pour circuit à trois fils de 150 à 600 ampères.

On a établi un modèle spécial de ces compteurs destiné à être placé sur les tableaux de distribution.

Compteur Gramme. — Le compteur Gramme appartient à la catégorie des compteurs moteurs à enroulements sans fer. Ils peuvent être utilisés indistinctement pour le courant continu et pour les courants alternatifs simples, avec distribution à deux ou à trois fils.

Les modèles courants sont établis pour toutes intensités jusqu'à 500 ampères et pour des tensions variables ne dépassant pas 500 volts.

Ils ne diffèrent des autres types de compteurs-moteurs que par les points suivants :

1° Balais flexibles, indéréglables, indéformables et à pression constante ;

2° Calage automatique de l'équipage mobile pour le transport ;

3° Réglage micrométrique de la vitesse angulaire du disque mobile.

Ces compteurs démarrent normalement avec le 1/50 de leur charge maximum pour les instruments de puissance moyenne, et avec 1/100 pour les grands débits.

De forme circulaire, légers et robustes, ils sont très faciles à régler et fonctionnent avec une très grande précision.

Compteur Lux. — Ce compteur, exposé par la *Luxsche Industriewerke*, de Munich, est fondé sur le même principe que le compteur Thomson, dont il ne diffère que par l'enroulement de l'induit du moteur, qui est un induit à enroulement ouvert, composé de trois bobines plates identiques, dont les axes, perpendiculaires à l'axe de rotation, font entre eux des angles de 120°. L'une des extrémités de chaque bobine aboutit à un même point neutre, et chacune des extrémités libres est reliée à une des trois lamelles d'un collecteur sur lequel appuient deux balais. Grâce à cette disposition, on obtient, pour un même poids de cuivre dans l'induit, un couple moteur plus grand que celui des induits à enroulement fermé.

La minuterie de ce compteur ne comporte pas de cadrans à aiguille ; elle présente des disques à chiffres sauteurs, ce qui rend la lecture plus facile et moins sujette à erreurs.

Ce compteur s'applique aussi bien à la mesure des courants alternatifs qu'à celle des courants continus.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Compteur Vulcain. — Le compteur Vulcain exposé par la Compagnie anonyme continentale pour la fabrication des compteurs, de Paris, est un compteur-moteur à intégration continue. Il se compose d'un petit moteur électrique dont le système inducteur A (*fig.* 231) est constitué, suivant les puissances, soit par un enroulement en fil isolé, soit par un enroulement formé de lames de section appropriée.

L'induit mobile B a un enroulement en fil fin disposé sur une carcasse très légère, afin de diminuer le poids de la masse à mettre en mouvement. L'arbre de l'induit repose par sa partie inférieure sur un grain de saphir, taillé en forme de cuvette et encastré dans une pièce K, coulissant dans un tube et repoussée vers le haut par un ressort *u*, assez long pour que ses mouvements soient très doux.

Le frein est constitué par un cylindre C en cuivre rouge fixé sur un support à branches qui, à l'aide d'un écrou I, peut monter ou descendre à volonté le long d'un filetage établi sur une partie de l'arbre de l'induit. Les bords de ce cylindre tournent entre les branches d'une série d'aimants M en fer à cheval.

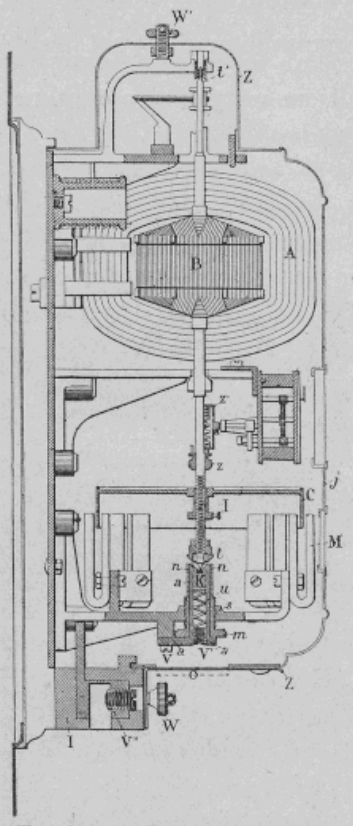


FIG. 231. — Compteur Vulcain.

Le collecteur est constitué par une série de lamelles de platine serties sur un support en ébonite et isolées entre elles par l'air. Les balais sont formés de fils d'argent juxtaposés et soudés à une lame de clinquant très flexible qui permet à tous les brins du balai de s'appliquer sur le collecteur avec une pression aussi légère qu'on le désire.

Ce modèle de compteur se construit pour des distributions à deux ou à trois fils.

Compteur d'induction dit « Cosinus ». — Ce type de compteur, exposé par la Compagnie anonyme continentale pour la fabrication des compteurs, de Paris, est destiné à la mesure des courants alternatifs simples ou polyphasés.

Dans ce compteur, il y a deux champs magnétiques parallèles agissant normalement sur un mobile de révolution. Pour qu'un compteur établi

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans ces conditions fonctionne régulièrement, il faut utiliser un dispositif d'amortissement puissant, extérieur au compteur proprement dit, et obtenir un décalage entre les deux champs moteurs égal à $\frac{\pi}{2}$, lorsque le courant et la tension sont en concordance de phase, et égal à $\frac{\pi}{2} \pm \varphi$ lorsque le courant est décalé par rapport à la tension.

Dans ce type de compteur, le décalage $\frac{\pi}{2}$ entre les deux champs moteurs

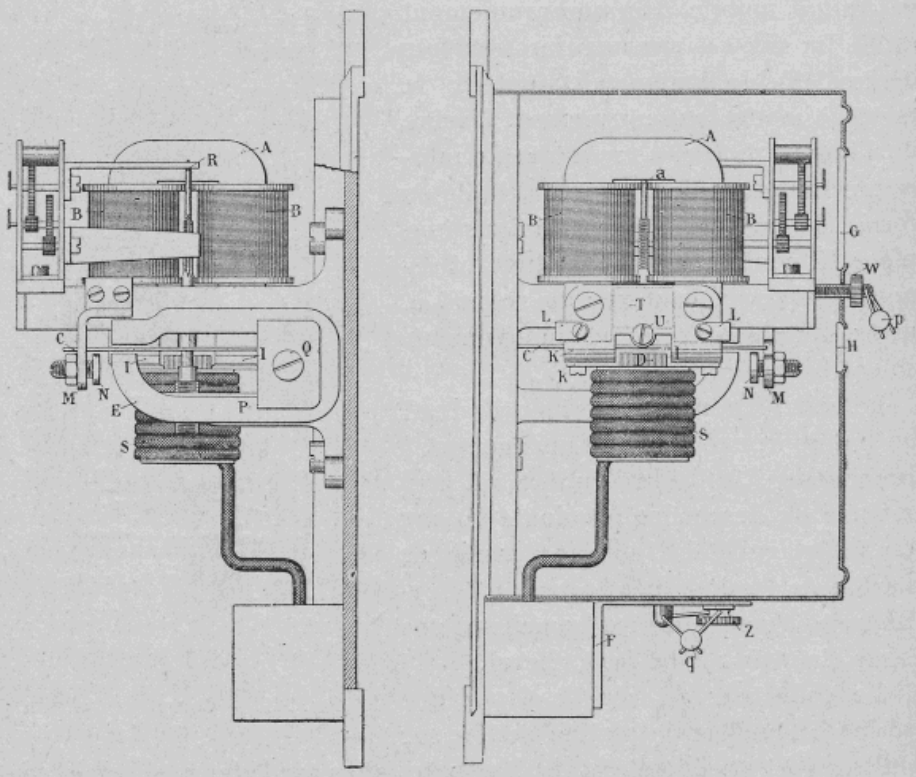


Fig. 232 et 233. — Compteur «Cosinus».

a été réalisé en se fondant sur la propriété de l'induit, conducteur mobile, de constituer un circuit secondaire en court-circuit pour tous les flux qui le traversent et, par conséquent, de retarder ces flux en leur ajoutant une composante de réaction.

Le dispositif utilisé réduit la réaction d'induit et, parsuite, ramène en avant le flux résultant d'un angle plus grand que $\frac{\pi}{2}$.

Pour arriver à ce résultat, le compteur est disposé de manière que la plus grande partie du flux principal ne puisse traverser le disque, mais produise cependant son action attractive sur le flux dérivé. Dans ces conditions, la réaction d'induit est considérablement diminuée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'organe mobile du compteur, servant en même temps d'amortisseur, est un disque de cuivre C (*fig.* 232 et 233), fixé sur un arbre *a* en acier qui se termine par une pointe démontable reposant sur un saphir. Cet arbre porte une vis sans fin commandant la minuterie. Le disque de cuivre C tourne entre les pôles d'un aimant permanent E, fixé à demeure sur le support de l'instrument par une plaque P que maintient la vis V. On règle cet aimant en dérivant une partie du flux dans une pièce de fer doux M réglable à l'aide de la vis N.

Le saphir, sur lequel repose l'extrémité inférieure de l'arbre *a*, coulisse dans le support de crapaudine où il est maintenu en place par une vis et par un ressort qui sert à amortir les chocs et les vibrations ; il est très facile de le remplacer au besoin. Il n'est pas nécessaire de caler l'organe mobile lors du transport de l'instrument ; le support de crapaudine porte un collet très élevé qui empêche les déplacements latéraux du pivot et, de plus, ce déplacement est parfaitement limité dans le sens vertical par un renflement R de l'arbre, renflement qui vient s'appuyer contre la plaque portant le trou de pivotage supérieur. Dans ces conditions, le compteur est toujours prêt à fonctionner sans manœuvre préalable.

Les champs magnétiques sont produits par deux électros inducteurs à noyau feuilleté.

Le premier A, en fer à cheval, porte les bobines BB montées en dérivation sur le circuit ; il présente une fuite magnétique obtenue à l'aide d'une pièce T en tôle douce qui dérive une partie du flux, l'autre partie traversant normalement le disque C pour venir se fermer par la pièce IK, dite pont dérivé, en fer doux massif, fixée sur l'électro A et sur le support à l'aide d'un montage assurant l'isolement magnétique de ces deux pièces.

Le second électro D porte la bobine S montée en série sur le circuit ; son noyau, à la partie supérieure, est placé entre les branches H de la pièce IK sur laquelle elle est fixée par deux pattes à coulisse *k*. C'est ce dispositif qui permet d'obtenir le décalage voulu en permettant de distribuer le flux de manière à obtenir à la fois le minimum de réaction d'induit et un couple puissant.

Une lamelle de fer doux L, fixée sur le pont dérivé IK, peut être éloignée ou rapprochée de la tranche du noyau de l'électro A, de façon à produire une dérivation partielle du flux dérivé, afin de créer une dissymétrie suffisante entre les flux dans les deux entrefers et provoquer ainsi le mouvement dans le sens convenable sous la seule action de la tension.

Ce même type de compteur se construit également pour courant alternatif simple avec distribution à trois fils et, dans ce cas, la bobine en série S comporte deux enroulements égaux au lieu d'un.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour les distributions diphasées à trois et à quatre fils, le même type de compteur est utilisé; mais, dans ce cas, il est muni d'un second groupe d'inducteurs symétrique au premier.

Enfin, pour les distributions triphasées à trois et à quatre fils, ce modèle de compteur est également employé. Lorsque le circuit est à trois fils non équilibrés, le compteur comporte deux systèmes inducteurs à courant alternatif simple à deux fils. Avec un circuit à quatre fils ayant des charges quelconques, on utilise deux systèmes inducteurs produisant des flux série en concordance de phase avec $(i_1 - i_3)$ et $(i_2 - i_3)$ et des flux dérivés décalés de 90° par rapport à $(U_1 - U_0)$ et à $(U_2 - U_0)$.

Les deux inducteurs en série ont, comme dans le compteur à courant alternatif simple d'un circuit à trois fils, chacun une bobine comportant deux enroulements identiques. Les enroulements montés respectivement en série avec les fils 1 et 2 sont indépendants ; les deux enroulements de l'autre inducteur sont en série et le sens de l'enroulement est l'inverse de celui des deux premiers.

Dans le cas où le compteur doit être utilisé sur un circuit triphasé à trois fils équilibrés, et pour éviter l'établissement d'un point neutre artificiel, on utilise un compteur à courant alternatif simple muni d'un totalisateur spécial et d'un circuit approprié pour l'inducteur en dérivation.

Compteur A. C. T. de la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, de Paris. — Ce compteur, construit spécialement pour la mesure des courants alternatifs, totalise l'énergie dépensée dans un circuit d'utilisation quelconque.

Il comporte deux enroulements dont les champs produits sont respectivement proportionnels à l'intensité et à la tension du circuit. Ces deux champs agissent sur un disque métallique qu'ils tendent à faire tourner avec un couple proportionnel à la puissance du circuit ($EI \cos \varphi$). Un aimant permanent, agissant sur le disque mobile, sert de frein avec un couple proportionnel à la vitesse angulaire.

Pour obtenir des indications exactes, il est nécessaire que les deux champs produits soient décalés l'un par rapport à l'autre de 90° ; ce résultat est obtenu à l'aide de moyens spéciaux qui en assurent la permanence.

Ce type de compteur est caractérisé par sa simplicité de réglage, une grande sensibilité, l'impossibilité de marcher à vide, une consommation d'énergie négligeable et des indications pratiquement indépendantes des variations de température, de tension et de fréquence.

Pour la mesure des courants triphasés, deux compteurs semblables monophasés agissent sur un même disque mobile, et les indications

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fournies sont rigoureusement exactes, quelles que soient les valeurs des charges sur les différentes phases.

Compteurs Westinghouse. — Ces compteurs pour courants alternatifs sont du type à induction ; le champ magnétique produit par les

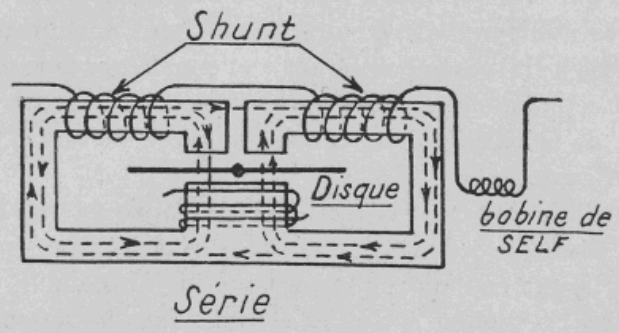


Fig. 234.

enroulements de l'instrument donne naissance dans un disque mobile à des courants de Foucault, ce qui a pour effet d'imprimer à ce disque un mouvement de rotation.

L'électro-aimant qui actionne le disque est formé d'un certain nombre de tôles découpées à l'emporte-pièce. Deux bobines de fil fin, enroulées à la partie supérieure et reliées en série avec une bobine de self, forment

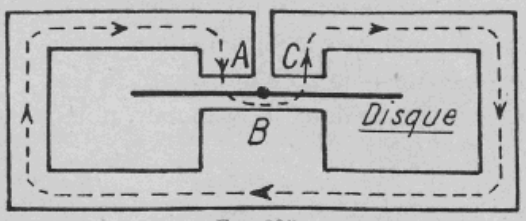


Fig. 235.

le circuit de dérivation branché sur la ligne. Le courant dans ce shunt est proportionnel à la tension de la ligne.

On remarque, sur la figure 234, que la partie inférieure de l'électro-aimant porte en saillie une pièce polaire autour de laquelle se trouve enroulée la bobine série, reliée directement avec le circuit extérieur. Cette bobine est formée d'un petit nombre de spires de gros fil.

Le disque en aluminium tourne dans l'entrefer ménagé au-dessus de la bobine série, appelé entrefer série.

On a ménagé également un entrefer dans le circuit magnétique shunt. Les lignes de force de chaque bobine shunt passent en partie par l'entrefer shunt, par le noyau de l'autre bobine shunt, pour revenir par la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

partie inférieure de l'électro-aimant ; une autre partie change de direction et passe à travers la bobine série pour revenir directement à la même bobine shunt.

On remarquera que deux séries de lignes de force passent à travers l'entrefer série et en sens contraire. Il y a donc neutralisation de flux, de telle sorte que leur passage à travers la bobine série n'est pas susceptible d'induire une force électromotrice ; on peut donc négliger le flux shunt qui passe à travers la bobine série et considérer la marche du flux comme étant celle indiquée par la figure 235 qui représente un flux virtuel passant de la pièce polaire A dans la pièce polaire C, en coupant deux fois le disque.

Par suite de la grande self-induction, ou du faible facteur de puissance de la bobine shunt, le courant dérivé est en retard de presque 90° sur la tension de la ligne ; en d'autres termes, au moment où le courant est maximum dans la bobine série, le courant dans la bobine shunt est minimum. Sans les pertes dans le fer et la petite perte due à la résistance du circuit dérivé, l'angle de décalage serait exactement de 90°.

Durant une partie de chaque alternance, la bobine série agit dans le même sens que le flux de la bobine shunt C, et en sens contraire du flux de la bobine shunt A. Durant une autre partie de l'alternance, l'effet produit est inverse, la bobine A a son flux renforcé, et la bobine C a son flux diminué.

Ces variations successives ont pour résultat d'orienter les lignes de force dans une seule direction. Il est facile de s'en rendre compte en représentant, par exemple, par le signe + un pôle qui émet le flux magnétique, et par le signe — le pôle qui reçoit le flux.

Pour un cycle complet de deux alternances, nous avons :

	Si A est		B est		C est
Au début	+	.....	0	.....	—
Au 1/4	0	.....	+	.....	0
A 1/2	—	.....	0	.....	+
Aux 3/4	0	.....	—	.....	0
Période suivante	+	.....	0	.....	—

Pendant chaque période, le phénomène se répète. On remarquera que les deux signes + et — se déplacent constamment vers la droite, ce qui indique une orientation du champ dans cette direction. Cette variation continuelle du champ entraîne la rotation du disque d'aluminium.

Ce disque est monté sur un arbre qui se termine, à sa partie inférieure, par un pivot d'acier afin de réduire au minimum toutes les résistances au mouvement ; la crapaudine est constituée par un rubis.

Le mouvement se transmet de l'arbre aux aiguilles du cadran au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moyen d'un mouvement d'horlogerie. Les indications de l'enregistreur sont proportionnelles à la puissance totale fournie au réseau et non au carré du courant ; c'est pourquoi la force antagoniste doit être directement proportionnelle à la vitesse et non au carré de la vitesse.

Compteurs Aron. — Les compteurs Aron appartiennent à la catégorie des compteurs oscillants, dans lesquels la force motrice qui met en marche l'instrument est proportionnelle à la puissance à mesurer et dont le couple résistant est proportionnel à la vitesse.

Les compteurs Aron sont trop bien connus pour qu'il soit nécessaire d'en donner une description complète, et nous nous bornerons à en rappeler simplement le principe. Ce sont des watts-heure-mètres à intégration continue comportant deux mouvements d'horlogerie distincts, munis de balanciers spéciaux. Ces balanciers, au lieu d'avoir des lentilles massives comme les balanciers ordinaires, se terminent par des bobines faisant partie du circuit dérivé sur la canalisation. Pendant les oscillations des balanciers, les bobines qu'ils portent se déplacent devant d'autres bobines fixes, parcourues par le courant dont on veut mesurer l'énergie. Les balanciers sont très courts, leur longueur ne dépassant pas 10 centimètres et, dans ces conditions, le nombre d'oscillations effectué pendant un temps donné est très considérable, environ 12000 par heure.

La section du fil des bobines fixes est proportionnée à l'intensité maximum du courant dont on veut mesurer l'énergie.

Les deux mouvements d'horlogerie ont leur roue d'échappement en relation avec les roues dentées d'un train différentiel, dont la roue planétaire reste fixe ou tourne autour d'un axe, suivant que les rouages des mouvements défilent avec la même vitesse angulaire ou avec des vitesses différentes.

Quand le courant principal est nul, les bobines fixes sont inactives, et seules les bobines des balanciers sont le siège de flux proportionnels à la tension du réseau. Dans ces conditions, les balanciers se comportent comme s'ils étaient munis de lentilles ordinaires, et on règle leur longueur de manière que les oscillations qu'ils effectuent pendant un temps donné soient égales. La planétaire reste alors immobile et il en est de même de la minuterie du compteur qui est commandée par l'axe de ce planétaire.

Inversement, lorsque les bobines sont traversées par le courant, elles sont le siège de flux proportionnels à l'intensité de ce courant. Les flux développés dans les bobines des pendules et ceux développés dans les bobines fixes exercent alors l'un sur l'autre des forces attractives ou répulsives, suivant qu'ils sont de même sens ou de sens contraire. Dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le premier cas, le balancier se comporte comme si l'intensité de la pesanteur était augmentée, et ses oscillations deviennent plus rapides; dans le second cas, tout se passe comme si l'intensité de la pesanteur était diminuée, et les oscillations du balancier sont ralenties.

Les connexions des bobines sont établies de manière à augmenter le nombre d'oscillations d'un des balanciers et à diminuer celui de l'autre. Le planétaire tourne alors dans l'espace en entraînant la minuterie du compteur proportionnellement à la différence des nombres d'oscillations des balanciers. Ces nombres sont d'ailleurs proportionnels au produit des flux développés par les courants, dérivé et principal, c'est-à-dire proportionnels à la puissance à mesurer.

Les bobines fixes et mobiles constituent les circuits du wattmètre du compteur.

Tous ces compteurs sont munis d'un dispositif de remontage électromagnétique et peuvent être utilisés pour la mesure des courants alternatifs et des courants continus.

Compteur Cervera. — Le compteur exposé par M. Domingo Cervera de Paris est fondé sur le principe suivant : si un instrument de mesure électrique, ampèremètre ou wattmètre, détermine à n'importe quel moment l'intensité ou la puissance d'un courant et à des intervalles de temps aussi petits que possible, en notant les différentes valeurs obtenues, il suffit d'en faire la somme en un certain temps pour obtenir la quantité totale consommée.

Ce compteur à intégration discontinue comprend un instrument de mesure, ampèremètre dans le cas actuel, une horloge destinée à la mesure du temps et un dispositif d'embrayage qui, à intervalles de temps égaux, relie le système électrique à un mécanisme totalisateur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

HUITIÈME PARTIE

APPLICATIONS DIVERSES

CHAPITRE I

APPAREILS INDICATEURS ET DE SÉCURITÉ

Appareil avertisseur d'effraction pour coffre-fort de M. Ch. Kaisser de Lille. — Cet appareil renfermé dans une boîte (*fig.* 236) est constitué par un mécanisme formé de quatre supports C sur lesquels reposent des leviers D. Chacun de ces leviers est muni, à son extrémité, d'un contrepoids à vis et d'une lamelle, fixée perpendiculairement au levier D et isolée électriquement de ce dernier. Ces lamelles servent à établir le contact entre les colonnes BB et AA situées dans chaque angle de la boîte. Les premières B se règlent à volonté au moyen d'une vis.

L'axe E, porté par deux coussinets, se termine par une double fourche touchant par sa partie supérieure aux quatre leviers, tant que ces derniers occupent la position horizontale. On voit également, au centre de l'appareil, un disque légèrement bombé à sa partie supérieure et creusé à sa partie inférieure. La partie creuse appuie sur une vis tant que la position des leviers est horizontale. Cette vis est fixée sur un plateau en fonte, indépendant de l'appareil, reposant sur le fond de la boîte. La colonne G porte à sa partie supérieure un bras muni d'un trou correspondant exactement avec le centre du disque sur lequel repose la boule H.

La mise en marche de l'appareil est la suivante : après avoir fermé la boîte, on place une fiche (munie de cache-entrées de serrure) sur l'axe E

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(cette fiche n'est pas représentée sur le plan) ; on enlève le couvercle

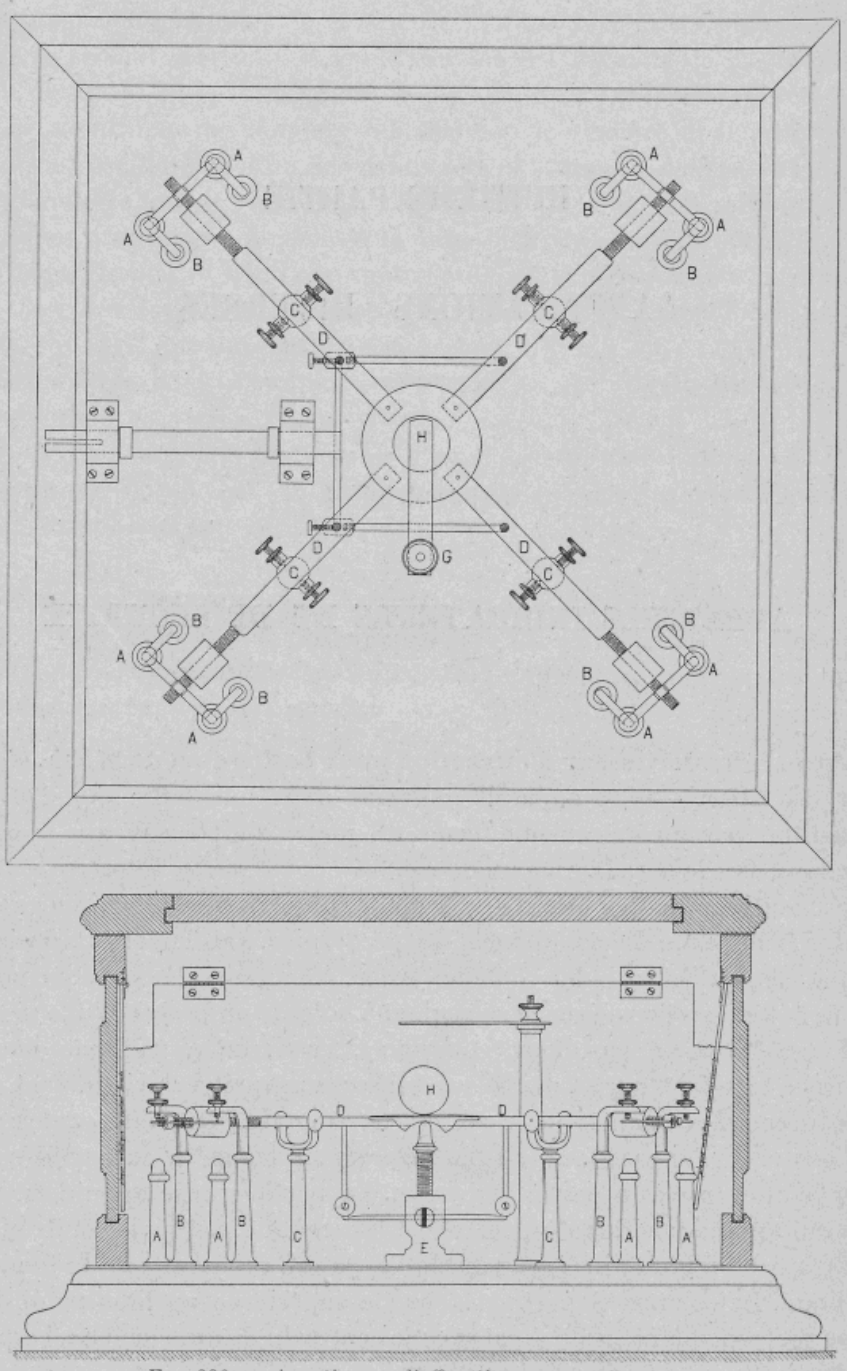


Fig. 236. — Avertisseur d'effraction pour coffre-fort.

pour la mise en place de la boule, laquelle est munie d'un petit anneau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et d'un fil permettant de la poser de la même manière qu'un fil à plomb en se servant comme guide du trou du bras de la colonne G.

Par le poids de la boule, les leviers D sont maintenus en position horizontale et les lamelles ferment le circuit d'une pile.

La moindre secousse ou le plus petit déplacement de la boîte entraîne *infailliblement* la chute de la boule H. Aussitôt la boule tombée, le circuit de la pile est interrompu sur les leviers B et le circuit d'une autre pile, fermée par le levier A, fait fonctionner les sonneries. Il est également impossible de déplacer la boîte, car la vis qui touche au creux du disque reste à sa place, étant donné que cette vis repose sur un plateau indépendant de la boîte, tandis que le disque se déplace avec la boîte et perd par conséquent sa position horizontale, ce qui provoque la chute de la boule. La fiche masquant les entrées de serrure ne peut non plus être touchée ou déplacée étant absolument équilibrée et faisant corps avec l'axe E et, par conséquent, avec les fourches touchant aux quatre leviers; ces dernières soulèvent les leviers de gauche ou de droite (selon le sens de déplacement de la fiche) provoquant ainsi la chute de la boule.

Dans le cas où l'on essaierait de percer la boîte pour maintenir les leviers en position horizontale, quatre volets, suspendus sur les côtés de cette boîte viennent toucher les colonnes A, dès que l'outil a traversé le bois, ce qui occasionne le déclenchement des sonneries aussi bien que si la boule était tombée. Il va de soi que le couvercle ne peut non plus être soulevé, ne serait-ce que d'un millimètre, sans donner l'alarme. Ce couvercle est également armé pour pouvoir éviter qu'il soit percé.

La marche du courant est réglée de manière à empêcher toutes tentatives de mise hors de service de l'appareil, alors même qu'elles seraient tentées par quelqu'un initié au fonctionnement de l'avertisseur.

L'appareil indique automatiquement tout dérangement du mécanisme et l'état des piles peut être facilement vérifié à l'aide de voltmètres installés sur la boîte.

Un thermomètre, muni d'un contact métallique, peut servir d'avertisseur d'incendie en mettant les sonneries en action dès que la température atteint un certain nombre de degrés.

Indicateurs et contrôleurs divers. — M. Paul Vaudrey, de Paris, exposait divers appareils de mesure, de contrôle et de surveillance pour usages industriels, tels que contrôleurs de ronde, indicateur enregistreur électrique de niveau d'eau à distance, etc.

Indicateur vibratoire d'appel de la Société d'appareillage électrique Grivolas de Paris. — Ce curieux appareil est une application pratique de la transformation des vibrations acoustiques en travail

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mécanique. Cet indicateur d'appel permet, en effet, de commander à distance un certain nombre de récepteurs avec un nombre correspondant de boutons transmetteurs au moyen d'un seul circuit à deux fils dans lequel est intercalé une pile.

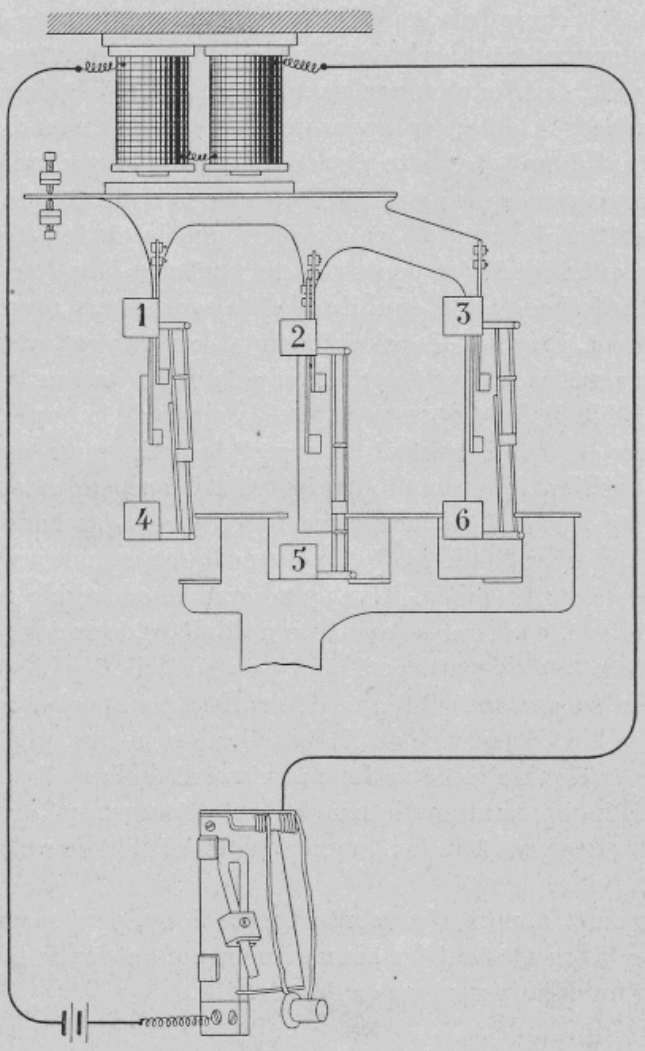


Fig. 237. — Indicateur vibratoire d'appel.

Comme on le voit sur la figure 237, les transmetteurs sont chacun constitués par une lame d'acier formant ressort et les ressorts des divers boutons sont réglés chacun avec une amplitude différente. En appuyant sur le bouton, celui-ci agit sur deux fils formant ressort et mettant en vibration le ressort lame en acier. En même temps qu'il vibre, ce ressort, à chaque vibration, établit un contact commun à tous les bou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tons de commande qui a pour effet de fermer le circuit de la pile sur l'électro-aimant du tableau récepteur à l'aide de deux fils reliant ce dernier au transmetteur.

Le récepteur se compose d'un électro-aimant recevant les émissions de courant des boutons transmetteurs et pouvant attirer un châssis en fer portant un nombre de lames d'acier égal à celui des transmetteurs. Chacune de ces lames est réglée de manière à avoir une amplitude de vibrations égale à celle du ressort du transmetteur correspondant et porte, à sa partie inférieure, un petit marteau pouvant faire déclencher une armature portant un voyant.

Dans ces conditions, lorsque l'on appuie sur l'un des boutons transmetteurs, le circuit de la pile est fermé et l'électro-aimant reproduit le même nombre de vibrations. Toutes les lames que porte l'armature de l'électro-aimant vibrent à la fois, mais seule, celle dont les vibrations sont synchrones avec celles du transmetteur vibre avec une amplitude suffisante pour faire déclencher le voyant. Plusieurs appels peuvent être produits simultanément, et l'on est averti, dès qu'un voyant apparaît, par le tintement d'une sonnerie disposée à cet effet : un des fils de la sonnerie est relié à une pièce métallique placée au-dessous du voyant, et l'autre est relié à l'armature portant les marteaux ; en déclenchant, chaque voyant tombe sur la pièce métallique et ferme le circuit de la sonnerie qui fonctionne jusqu'au moment où le voyant est relevé.

Cet ingénieux appareil est susceptible de recevoir de nombreuses applications, car il permet de supprimer les nombreux fils utilisés dans les installations d'indicateurs à distance, deux conducteurs seulement étant suffisants.

Dateur auto-électrique de la Deutsche Telephonwerke de Berlin. — Cet appareil est destiné à marquer sur les papiers de commerce de toute sorte, les dossiers judiciaires, les minutes des dépêches télégraphiques, enfin sur toutes les pièces exigeant une inscription rigoureusement exacte, la date et l'heure de leur dépôt ou de leur sortie. Il permet l'addition d'une ou plusieurs désignations quelconques, telles que le nom du receveur, juge ou greffier, de l'administration, de la maison ou de l'employé, etc., etc.

L'appareil exposé a été spécialement construit pour l'Administration des Postes et Télégraphes de l'Allemagne et sert à marquer sur les minutes de télégrammes les mentions que l'employé devait auparavant inscrire à la main, c'est-à-dire : l'heure et la minute, la date du jour, le mois et l'année, le lieu de destination ou d'origine, etc.

Le dateur électrique se compose essentiellement de trois parties : 1° le rouage ; 2° le moteur ; et 3° le mécanisme imprimeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sur un axe d'acier, tournant entre deux platines et portant à l'une de ses extrémités une roue à rochet, se trouve, solidement calée, la roue des types portant les chiffres représentant les unités des minutes. La roue à rochet, recevant toutes les minutes une impulsion du moteur, fait tourner la roue des types, de manière à placer un nouveau chiffre prêt à être imprimé.

Cette roue des types engrène, par un mécanisme spécial, avec une seconde roue, identique à la première et tournant librement sur l'axe, de telle sorte qu'une révolution complète de la première a pour effet de faire avancer la seconde d'une division, chacune d'elles représentant une dizaine de minutes.

L'axe porte, espacées convenablement et tournant librement sur lui, dix roues des types correspondant aux heures et aux minutes, aux mentions M et S pour matin et soir, à la date du jour, au mois et à l'année. Toutes ces roues engrènent convenablement les unes avec les autres. Cet ensemble de roues des types vient se placer hors d'un cadre, muni d'un nombre d'encoches en queue d'hirondelle, dans lesquelles on peut insérer des blocs métalliques, portant des inscriptions gravées en relief; le tout se trouve en regard et à petite distance d'un ruban imprégné d'encre.

Le moteur se compose d'un électro-aimant, dont le noyau, mobile dans l'axe de ce dernier, est attaché, au moyen d'une bielle, à un double levier tournant sur l'axe des roues des types et portant à l'un de ses bras un cliquet s'engageant avec la roue à rochet. L'électro-aimant, recevant un courant d'une horloge à contact toutes les minutes, pendant une seconde, fait tourner la roue à rochet et, avec elle, la première roue des types.

Le rouage et l'électro-aimant moteur sont montés sur un bâti en bronze, fixé sur une table de manière à tourner la partie à imprimer contre le ruban encreur, situé entre un plateau et les roues des types; le mécanisme imprimeur est placé sous la table et se compose d'un petit plateau mobile, pouvant se mouvoir de bas en haut, attaché à un double parallélogramme pour assurer son *parallélisme* avec les roues des types. A ce petit plateau se trouve fixé le noyau mobile d'un électro-aimant. C'est sous cette pression que le *ruban encreur* est poussé contre les caractères.

Appareil de sécurité et d'arrêt à distance pour machines à vapeur. — M. Berlingin de Penchot (Aveyron) avait exposé cet appareil applicable à toutes les machines à vapeur et qui est surtout indispensable lorsque le régulateur est commandé par courroie. Dans ce dernier cas, en effet, la rupture ou la chute de cette courroie peut entraîner les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus graves accidents et, notamment, la rupture du volant par suite de l'emballement de la machine. L'appareil de sécurité supprime toute cause de danger et permet, en outre, l'arrêt des machines d'un ou de plusieurs points quelconques d'une usine.

Une dynamo *a* (*fig.* 238), pouvant débiter 3 ampères sous 25 volts, est

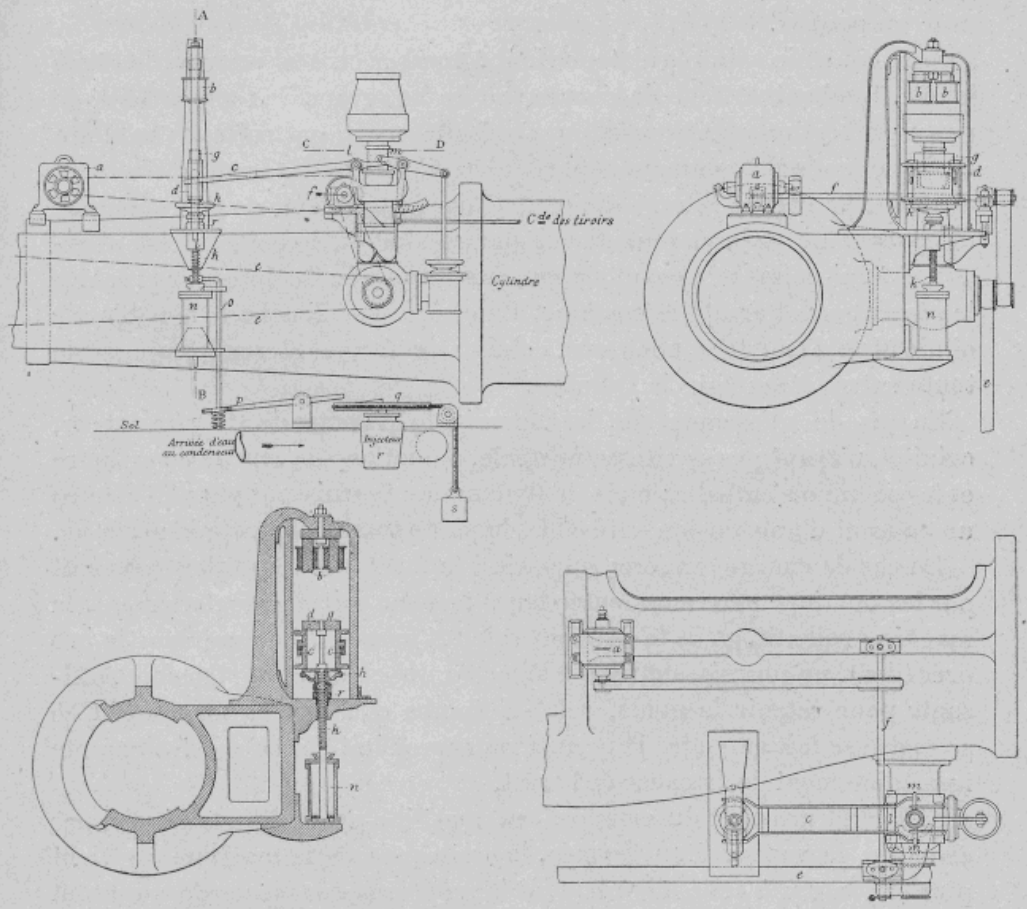


FIG. 238. — Appareil de sécurité et d'arrêt à distance pour machines à vapeur.

actionnée par la courroie de commande *e* du régulateur au moyen de l'arbre intermédiaire *f* et envoie le courant produit dans l'électro *b*. Cet électro *b* est calculé pour soutenir un poids *d* qui, en tombant sur l'extrémité du levier *c*, relève le régulateur et ferme l'admission de vapeur aux tiroirs. Le poids *d* porte une queue filetée *k* sur laquelle se meut un écrou volant *h*. En tournant ce volant, le poids monte et l'armature *g* vient en contact avec l'électro *b*. Le volant est alors tourné en sens inverse pour venir au contact du poids. Celui-ci devient libre et n'est plus soutenu que par le courant qui passe dans l'électro. L'extré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mité de la queue filetée k porte un piston qui se meut dans un cylindre plein d'huile n pour éviter les chocs. Cette queue porte une crosse o qui, lorsque le poids tombe, vient appuyer sur un levier p et déclenche le robinet r d'injection d'eau au condenseur. Celui-ci se ferme automatiquement, grâce à l'action d'un petit câble passant sur une poulie à gorge q, calée sur la tête du robinet d'injection et portant à son extrémité un poids s.

Si la courroie e du régulateur vient à tomber ou à se rompre, le régulateur, tombant à fond de course, ouvre en grand les admissions de vapeur au cylindre et la machine s'emballe, mais, par suite de la chute de la courroie de commande du régulateur, l'arbre t s'arrête ; il en est de même de l'arbre intermédiaire f et, par conséquent, de la dynamo a ; le courant ne passant plus dans l'électro-aimant, le poids d est abandonné à lui-même et, venant s'appuyer sur l'extrémité du levier c, relève le régulateur et arrête la machine. La crosse o déclenchant le robinet r d'injection d'eau au condenseur, celui-ci se ferme et rend impossible toute entrée d'eau dans le cylindre.

En cas de glissement de la courroie de commande du régulateur, celui-ci, n'ayant pas sa vitesse normale, admettrop de vapeur au cylindre et la machine s'emballe ; mais, la dynamo ne fournissant plus à l'électro un courant d'une tension suffisante, le poids tombe et arrête la machine.

En cas de charge exagérée imposée à la machine, soit volontairement par les ouvriers pour augmenter leurs primes, soit accidentellement, la machine ralentit, mais la dynamo ralentit aussi et, comme dans le cas précédent, ne fournissant plus à l'électro un courant de tension suffisante pour retenir le poids, celui-ci tombe et arrête la machine. Une sonnerie se fait entendre et permet au surveillant de se rendre compte immédiatement de la cause de l'arrêt.

Si l'arrêt provient du calage d'une machine-outil, d'un laminoir, par exemple, la vapeur étant fermée, la puissance de la machine ne vient plus se joindre à celle du volant, et les ruptures des pièces du train sont moins à redouter.

Pour obtenir l'arrêt à distance, le courant partant de la dynamo peut être conduit en un ou plusieurs points de l'usine, avant de passer dans l'électro. On peut donc, à l'aide d'interrupteurs placés à ces points, arrêter la machine en cas d'accident. Dans les usines très étendues ou ayant plusieurs étages, un interrupteur placé à tous les points dangereux éviterait bien des accidents.

Ce dispositif est très peu coûteux. Il ne consomme que 3 ampères, sous 25 volts, soit 75 watts, ce qui représente une dépense de 8 à 10 centimes par jour.

Il peut s'appliquer à toute espèce de machines à vapeur, même à celles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dont le régulateur est commandé par engrenages. Dans ce cas, l'arrêt de la machine en cas d'emballement est obtenu par un limiteur de courant qui coupe automatiquement le circuit de l'électro dès que la vitesse de la dynamo et, par conséquent, de la machine, augmente de quelques tours.

Par l'emploi de ce dispositif peu coûteux, les ruptures de volants par excès de vitesse, qui donnent souvent lieu à des catastrophes terribles, seraient complètement évitées.

Cet appareil est appliqué aux laminoirs de la Société de la Vieille-Montagne, à Penchot (Aveyron), depuis cinq ans, et donne de très bons résultats.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II

APPAREILS D'ÉLECTRICITÉ MÉDICALE

Appareils de la maison G. Gaiffe, de Paris. — Cette maison présentait divers modèles d'appareils d'induction transportables avec batterie de piles au bisulfate de mercure ou au bioxyde de manganèse avec liquide immobilisé. Il convient particulièrement de signaler :

1° Un appareil à chariot actionné par deux piles à liquide immobilisé et dont on peut faire varier le nombre d'interruptions par un simple mouvement de levier, de 120 à 3 000 à la minute ;

2° Un appareil d'induction à chariot modèle fixe avec le même interrupteur que l'appareil ci-dessus ;

3° Un appareil d'induction à chariot grand modèle, avec interrupteur à balancier donnant de 30 à 1 000 interruptions à la minute. C'est à cet appareil qu'a été appliqué, pour la première fois, l'échelle de proportionnalité remplaçant l'échelle métrique qui ne mesurait que la distance de bobines induites à bobines inductrices ;

4° Un appareil magnéto-faradique dans lequel le redressement des courants et le réglage de la puissance s'obtiennent à l'aide d'un même commutateur. La pièce qui porte les balais est mobile autour de son centre, ce qui permet d'obtenir le réglage par décalage des balais.

La maison Gaiffe exposait également :

Un tableau de médecine générale, monté sur marbre, comportant un réducteur de potentiel, constituant le moyen de réglage le plus sûr et le meilleur pour tous courants médicaux. Les communications, qui sont nombreuses, sont disposées de façon à permettre de les suivre facilement, et ce genre de montage n'oblige pas à placer un caisson derrière le tableau pour en cacher les connexions. De plus, quelle que soit la complication de ces tableaux, une seule manœuvre suffit toujours pour faire arriver aux bornes de sortie le courant que l'on veut utiliser. Il en résulte une complication apparente, mais on a le bénéfice de ne jamais pouvoir faire de fausses manœuvres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un interrupteur du Dr Leduc, servant à faire des interruptions très rapides sur un courant continu, la durée du passage du courant étant réglée par un déplacement deb alais.

Comme appareils de radiographie et de haute fréquence, il faut citer :

1° Le matériel transportable pour radiographie, permettant aux médecins d'aller faire de la radiographie à domicile, dans lequel on a réduit le poids et le volume des appareils autant qu'il est possible.

Ce qui est le plus important à signaler dans ce matériel, à part le rupteur atonique de J. Carpentier, modifié pour cette application spéciale, est l'agencement de la bobine avec ses appareils de mesure dans la boîte de transport.

2° Le meuble de radiographie et de haute fréquence sans interrupteur.

Les travaux de M. Villard avaient montré le moyen de faire fonctionner un tube de Röntgen sur courant alternatif. Ceux de M. d'Arsonval permettaient de faire de la haute fréquence sur le même courant. Ce sont ces travaux qui ont servi de point de départ à la réalisation de ce meuble.

Les améliorations apportées à ce dispositif par M. Gaiffe, en collaboration ou non avec M. le professeur d'Arsonval, ont trait surtout à la protection du transformateur contre le retour en arrière des ondes hertziennes et au soufflage automatique de l'arc de l'éclateur de haute fréquence.

Ces deux points très importants permettent seuls de travailler avec sécurité, sans crainte d'accident.

On remarquait également dans le stand de la maison Gaiffe une table sur laquelle étaient réunis les différents appareils nécessaires, permettant de faire avec du courant continu les diverses applications de sismothérapie, cautère, lumière, petite chirurgie, courant sinusoïdal.

Appareils de la maison Radiguet et Massiot, de Paris. — Parmi les nombreux appareils d'électricité médicale exposés par cette maison, nous citerons le décaleur de phases du Dr Délézinier pour l'emploi des courants triphasés en radiographie, le résonateur de haute fréquence du Dr Oudin, les spirales de haute fréquence et de haute tension du Dr Guilleminot, l'ozoneur du Dr Oudin et une collection de radiographies.

Appareil de M. L. Ancel, de Paris. — Ce constructeur avait exposé un matériel pour rayons X et un matériel pour l'obtention des courants de haute tension et de grande fréquence.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Trousse électro-médicale du Dr Lucas, de Monte-Carlo. — La trousse électro-médicale exposée par M. André Lucas a été construite par M. Maisonneuve. Elle constitue, sous le minimum de volume, le groupement le plus complet des appareils producteurs de courant, des instruments de mesure et des appareils accessoires nécessaires pour la pratique usuelle de l'électrothérapie en ce qui concerne la galvanisation et la faradisation.

M. Lucas exposait, en outre, un traité d'électricité médicale, le *Vade-Mecum du praticien* et certaines autres publications dont il est l'auteur.

Appareils de J. Lacoste et Cie, de Paris. — M. Lacoste exposait divers appareils très intéressants d'électricité médicale.

Appareils de la maison Berns et Cie, d'Anvers. — Cette maison exposait des appareils de massage électrique, ainsi que divers modèles de machines à influence.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III

DIVERS

Dans ce chapitre, nous allons donner quelques détails sur certaines expositions qui n'ont pu trouver place dans la classification adoptée ou qui, par suite d'oubli, n'ont pas été mentionnées dans les chapitres où elles auraient dû régulièrement figurer.

Pompe électrique. — La Société anonyme liégeoise pour la construction de machines avait exposé une pompe électrique de 125 chevaux à deux plongeurs refoulant l'eau sous pression.

Dynamo miniature. — M. Jean Pagnoul, horloger à Jemeppe-sur-Meuse, a construit une petite dynamo à courant continu, type Manchester, avec induit Gramme qu'il avait exposé. Cette petite dynamo ne pèse que 9,8 gr et constitue un véritable bijou.

Exposition de la « Onland van de Kasteele, Electrotechnische Instrumentenfabrick ». — Cette maison, qui a son siège à Utrecht (Pays-Bas), avait exposé divers instruments de mesure : ampèremètre, voltmètre, secohmmètre, galvanomètre, ainsi que des instruments pour les laboratoires d'enseignement.

Marteau-pilon électrique. — La Société Force et Éclairage, de Bruxelles, avait, dans son stand, un marteau-pilon électrique dont le fonctionnement est fondé sur l'emploi d'électro-aimants du système Guénée de Paris. Dans ce marteau-pilon, l'effort de la masse est augmenté de 300 kg par la compression des ressorts ; il peut frapper coup à coup à la main ou donner jusqu'à 150 coups par minute au moyen d'un interrupteur automatique.

Forerie électrique. — MM. A. Engelmann et Cie, de Liège, avaient exposé une forerie transportable actionnée par moteur électrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moteur électro-aimant. — Ce moteur, fondé sur le principe de l'électro-aimant, était exposé par M. J. Lecharlier, d'Haversin (Belgique).

Appareils électriques pour mines et usines. — La Compagnie française des mines et usines d'Escombrera-Bleyberg avait exposé de nombreux plans et dessins d'appareils électriques en usage dans les mines et usines qu'elle possède.

Appareils et instruments pour l'enseignement électrotechnique. — M. Max Kohl, de Chemnitz (Allemagne), avait exposé un grand nombre d'appareils et d'instruments établis spécialement pour les laboratoires d'enseignement.

M. E. Ducretet, de Paris, avait, dans ses vitrines, un électro-aimant à champ magnétique intense du professeur Pierre Weiss. Cet électro-aimant produit un champ ayant une intensité de 30 000 gauss avec un courant de 9 ampères sous 110 à 125 volts. Le même constructeur présentait l'appareil d'Elihu Thomson pour la démonstration des rotations et des répulsions électrodynamiques, une petite dynamo à courants triphasés; un moteur électrique à champ tournant; une machine magnéto-électrique de Siemens; de nombreuses photographies directes d'étincelles électriques et, enfin, un petit modèle d'électrodynamomètre industriel et de transformateur.

Détartreur électrique pour tubes de chaudières. — Cet appareil, exposé par la Société du travail électrique des métaux, de Paris, constitue une application nouvelle d'un moteur à courant continu, imaginé par M. Perchem et caractérisé par la disposition respective de l'induit et des inducteurs, disposition qui permet de réaliser pour une puissance déterminée, une machine très réduite.

De part et d'autre d'un induit en tambour, et sur le même axe que lui, sont disposées deux bobines inductrices, dont le noyau cylindrique est terminé par deux embases circulaires excentrées par rapport à lui et, dont l'une d'elles est dégagée suivant l'angle embrassé par les épanouissements polaires; ces derniers sont constitués par deux coquilles fixées parallèlement à l'axe de l'induit sur les embases des noyaux de l'inducteur. Le moteur ainsi constitué est enfermé dans une enveloppe étanche formée par un tube de laiton.

Ce moteur actionne l'organe détartreur consistant en une tige d'acier se montant par un dispositif spécial sur l'arbre du moteur et terminée par une partie filetée recevant une molette en acier spécial. Sous l'action

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la force centrifuge, la molette s'applique contre les parois du tube et, par suite de chocs répétés, le tartre se désagrège rapidement.

Condensateurs. — MM. Radiguet et Massiot présentaient un condensateur de 2 microfarads pour bobines d'induction. Ce condensateur est subdivisé en plusieurs sections que l'on peut grouper à l'aide de chevilles, afin de mettre la valeur de la capacité en rapport avec la tension et l'intensité du courant primaire. On arrive ainsi rapidement à régler la bobine pour qu'elle produise son maximum d'effet.

La Société anonyme des manufactures de glaces et produits chimiques de Saint-Gobain exposait un condensateur Rochefort à haute tension destiné à la télégraphie sans fil. Ce condensateur est constitué par deux disques métalliques parallèles, isolés dans une même masse de verre. Cette masse intercalée entre les deux disques remplit le rôle d'un diélectrique, tandis que les masses de verre supérieure et inférieure représentent l'isolant empêchant la production d'effluves.

MM. J. de Modzelewski de Fribourg (Suisse) avaient exposé des condensateurs, système Moscicki, constitués par des tubes de verre de 3 cm de diamètre et de 0,5 mm d'épaisseur, dont le fond et la partie supérieure renforcés ont de 2 à 3 mm d'épaisseur. L'intérieur de ces tubes est recouvert d'une couche d'argent formant une des armatures. Les tubes d'un même condensateur, en nombre variable suivant la capacité à obtenir, sont logés dans un récipient cylindrique rempli d'eau constituant l'armature extérieure. Le volume de ces condensateurs, à capacité égale, est bien inférieur à celui des autres systèmes.

Régulateur-disjoncteur électromagnétique Cervera, de Paris. — Cet appareil sert à limiter la quantité de courant à fournir à chaque abonné d'un secteur. Le système magnétique de cet appareil, réglé pour un débit déterminé, coupe automatiquement le circuit, lorsque ce débit est dépassé. Si la surcharge vient à cesser, l'appareil reprend sa position normale et le circuit est rétabli.

Paratonnerres. — Plusieurs constructeurs belges avaient exposé divers types de paratonnerres.

MM. Joseph Francotte et fils, de Jauche (Belgique), avait exposé des paratonnerres Melsens perfectionnés, mixtes et ordinaires, convenant particulièrement pour les installations de villas et de châteaux.

M. Ghysens, de Liège, présentait un paratonnerre qui était installé sur la ferme démonstrative de l'Exposition.

M. O. Minsier, de Jauche (Belgique), exposait des paratonnerres Melsens.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dispositifs électriques d'allumage pour moteurs à explosions. — Le développement considérable pris par l'automobilisme a vulgarisé l'emploi des moteurs à explosions et, conséquemment, celui des dispositifs électriques d'inflammation des mélanges explosifs, dans lesquels on utilise la chaleur produite par les étincelles de rupture du circuit d'une bobine d'induction pour produire l'explosion.

Parmi les nombreux dispositifs présentés, nous signalerons les suivants :

La bobine d'allumage avec rupteur J. Carpentier, de M. Louis Ancel, de Paris ;

La bobine d'allumage de M. Bardon, de Clichy, alimentée par une magnéto à courant alternatif ; la magnéto est actionnée par le mouvement de la voiture ;

Le trembleur de MM. Chauvin et Arnoux, de Paris. Cet appareil est constitué par deux lames d'acier portant chacune un grain de platine ; elles sont isolées électriquement, mais leur ensemble est attiré par le noyau de fer de la bobine. L'une des lames est butée lorsque l'ensemble a atteint sa vitesse maximum, et la rupture du circuit s'effectue dans les meilleures conditions. Cet appareil est indéréglable et, vu le faible poids des lames mobiles, on obtient un nombre considérable de vibrations ;

Les magnétos à haute et à basse tension de la maison Lacoste, de Paris ;

Une magnéto de la maison Mildé, de Paris.

Allumoirs électriques. — M. Marquer, de Paris, exposait des allumoirs dans lesquels la fermeture du circuit de la pile s'effectue en plongeant l'électrode zinc dans l'électrolyte de la pile ; cette électrode se relève sous l'action d'un ressort dès que l'on cesse d'appuyer.

L'allumoir de M. Toupart, de Paris, est constitué par deux fils parallèles reliés aux pôles d'une pile ou d'une bobine d'induction. Lorsqu'on approche des fils une lampe à essence, on ferme le circuit par l'intermédiaire du porte-mèche métallique de la lampe, et, en écartant cette dernière, il se produit une étincelle de rupture qui allume la lampe.

Pièces en verre moulé pour l'électricité. — Indépendamment des bacs pour accumulateurs exposés par la Société anonyme des manufactures de glaces de Saint-Gobain, la même Société présentait un type d'isolateur en verre pour rail conducteur, présentant de sérieuses qualités de solidité et d'isolement. Grâce à la solidarité absolue de la masse de verre avec le patin du rail conducteur, au moyen de cornières et de boulons appropriés, on obvie à toute rupture de cette pièce isolante par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suite du fléchissement ou frottement des traverses sur lesquelles elle est posée.

La Compagnie des glaces et verres du Nord, dont les usines sont à Jeumont et à Recquignies, exposait une série de bacs pour accumulateurs et de vases en verre pour piles et opérations électrochimiques de toutes dimensions, même les plus grandes, obtenus par le procédé Siévers. La supériorité de ces produits est due au procédé de soufflage, à la nature spéciale du verre employé et à la recuisson des pièces assurant leur solidité. Il convient de signaler, dans cette belle exposition, des cuves cylindriques de 75 cm de diamètre et de 1,20 m de hauteur, des cuves rectangulaires pour galvanoplastie mesurant $0{,}60 \times 1 \times 0{,}55$ m, des globes pour lampes à arc en verre clair et en verre dépoli, des lanternes d'une seule pièce pour l'éclairage public, etc.

Plans d'usines électriques de M. P. Friésé, de Paris. — M. Paul Friésé, architecte ingénieur, qui s'est spécialisé dans l'étude et la construction d'importantes usines électriques, exposait plusieurs reproductions de ses travaux. Parmi les plans les plus remarqués, il faut citer ceux de l'usine édifiée, quai de Jemmapes, par la Compagnie parisienne de l'air comprimé et ceux de l'usine du Métropolitain de Paris, quai de la Râpée.

Publications relatives à l'électricité. — La section française d'électricité comprenait un certain nombre de publications relatives à l'électricité. Les exposants étaient les suivants :

1° Le Syndicat professionnel des Usines d'Électricité de Paris qui présentait ses diverses publications et plusieurs tableaux statistiques ;

2° M. Ch. Béranger, libraire-éditeur à Paris, qui exposait une belle collection de livres sur l'électrotechnique et ses applications ;

3° M. Ch. Cointe de Paris, directeur de *l'Eclairage électrique*, qui avait exposé la collection complète de cette remarquable revue périodique ;

4° Mme Vve Ch. Dunod, libraire-éditeur à Paris, qui avait envoyé la série complète des livres relatifs à l'électricité publiés par sa maison ;

5° M. Gauthier-Villars, libraire-éditeur à Paris, exposait également de nombreux ouvrages d'électricité ;

6° M. J.-A. Montpellier, de Paris, avait exposé la collection complète de la *Revue internationale de l'Électricité* et de *l'Électricien*, qu'il dirige, ainsi que les différents ouvrages d'électricité dont il est l'auteur.

Enseignement électrotechnique. — Différents établissements d'enseignement avaient pris part à l'Exposition. Nous citerons particulièrement :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'École professionnelle de mécanique de précision, d'horlogerie et d'électricité de Bruxelles qui exposait des dynamos construites par les élèves ainsi que des instruments de mesure, un régulateur électrique et divers appareils électriques;

La Société internationale des Électriciens de Paris qui présentait des tableaux et notices relatifs au Laboratoire Central d'Électricité et à l'École supérieure d'Électricité;

M. A. Charliat de Paris qui exposait les programmes, plans d'études, travaux et modèles de démonstration de l'École d'électricité qu'il dirige.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

Pages.

Comité d'organisation de la Section Française. II
Classification. II
Organisation du groupe de l'Électricité II
Comité d'organisation et d'installation VII
Installation IX
Jury des récompenses XI
Liste des membres du Jury du groupe V. XV
Récompenses accordées aux exposants XVI
Récompenses accordées aux collaborateurs et coopérateurs des exposants de la Section Française XXIII

PREMIÈRE PARTIE

PRODUCTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

CHAPITRE PREMIER

Générateurs mécaniques d'énergie électrique

Machines d'induction électrostatique. 1
Machine de Wimshurst à plateaux multiples indépendants, système Gaiffe. . 1
Machines d'induction électromagnétique. 3
Premier type de dynamo de Gramme. 4

CHAPITRE II

Groupes électrogènes et dynamos à courant continu

Groupe électrogène de la Compagnie internationale d'électricité de Liège et de la Société Van den Kerchove 7
Groupe électrogène de la Compagnie internationale d'électricité de Liège et de la Société John Cockerill. 13
Groupe électrogène de la Société Jaspar et des Ateliers J. Preud'homme Prion. . 19
Groupe électrogène de la Société Jaspar et de la Société « Energie » de Marcinelle. 24
Groupe électrogène de la Société des ateliers de constructions électriques de Charleroi et des Ateliers Carels frères. 27

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.
Dynamos de la Société Gramme. 29
Groupe électrogène de la Société Lahmeyer, de Bruxelles, et de la Société des ateliers Carels. 31
Dynamos de la Société parisienne pour l'industrie des chemins de fer et tramways électriques. 37
Dynamo Stone pour l'éclairage des trains 40
Groupe électrogène de la Société Westinghouse et de la Société française de constructions mécaniques. 43
Groupe électrogène de la Société belge A. E. G. et de la Société des ateliers du Thiriau 46
Groupe électrogène de la Société belge d'électricité Siemens-Schuckert, de Bruxelles, et de la Société John Cockerill. 53
Groupe électrogène de la Société belge d'électricité Siemens-Schuckert, de Bruxelles, et de la Société des ateliers de construction de la Meuse. 59
Groupes électrogènes de la Société Garbe-Lahmeyer, d'Aix-la-Chapelle, et de la Société « Gazmotorenfabrik Deutz », de Cologne 61
Groupes électrogènes de la Société Felten-Guilleaume et Lahmeyer et de la Société « Gasmotorenfabrik », de Cologne 65
Groupe électrogène des ateliers de construction électrique de Charleroi et de la Société des ateliers du Thiriau. 66
Turbogénérateur à courant continu de la Société Helios, de Cologne, et de la Maschinenbau A. G. Union d'Essen-Ruhr 67
Dynamo de la Société belge A. E. G. Union de Bruxelles. 70
Groupes électrogènes de la Société Beer, de Jemeppes-lès-Liège 70
Groupes électrogènes des ateliers de constructions mécaniques Aster, de Paris. . 73
Balais en charbon pour dynamos 78
Balais feuilletés Boudréaux. 78
Porte-balai « Supra ». 79

CHAPITRE III

Groupes électrogènes à courant alternatif et alternateurs

Groupe électrogène triphasé de la maison Sautter-Harlé et Cie, de Paris 81
Groupe électrogène de la Compagnie internationale d'électricité de Liège et de la Société du Phœnix, de Gand. 90
Groupe électrogène de la Société « l'Eclairage électrique » de Paris et des établissements Delaunay-Belleville 94
Groupe électrogène de la Société d'applications industrielles et de la Société des établissements Weyher et Richemond, de Paris. 100
Groupe électrogène de la Société anonyme Force et Eclairage, de Bruxelles, et de la Société Saint-Léonard, de Liège 105
Alternateur compound, système Heyland, de la Société alsacienne de constructions mécaniques de Belfort. 111
Alternateurs de la Société Gramme. 115

CHAPITRE IV

Piles

Piles à dépolarisant liquide. 116
Piles à dépolarisant solide 116
Piles type Leclanché (*Leclanché, le Carbone, P. Delafon*) 116
Piles type de Lalande (*Mambret et Cie, Wedekind*). 121

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DEUXIÈME PARTIE

TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

CHAPITRE PREMIER

Transformateurs immédiats

Pages.

Classification. 123

Transformateurs homomorphiques

Transformateurs de la Société « l'Eclairage électrique ». 123
Transformateurs Westinghouse. 124
Transformateurs Gramme 126
Transformateur triphasé Alioth 127
Transformateurs de la Société belge A. E. G. 127
Survolteur-dévolteur pour courants triphasés de la Société Alsacienne de constructions mécaniques. 128
Groupe survolteur-dévolteur, système Schuler. 129

Transformateurs hétéromorphiques

Bobines d'induction 130
Interrupteurs pour bobines d'induction 132
Moteur-générateur de la Société « La Française Electrique ». 138
Transformateur-convertisseur de la Société Gramme 139
Commutatrice en cascade, système Arnold. 140
Permutatrice, système Rougé-Faget. 144
Soupape électrique Cooper-Hewitt 152

CHAPITRE II

Accumulateurs

Accumulateurs de la Société Tudor, de Bruxelles. 155
Accumulateurs de la Société anonyme pour le travail électrique des métaux . . . 156
Accumulateurs A. Bainville. 158
Accumulateurs système Henri Fredet. 159
Accumulateurs de la Société Chelin, de Bruxelles. 162
Accumulateurs de la Compagnie française de l'accumulateur « Aigle ». 163
Accumulateurs Alfred Dinin 164
Accumulateurs de la Société Gramme. 165
Accumulateurs de la Société anonyme des manufactures de câbles, accumulateurs et appareils électriques de Seneffe. 166
Accumulateurs E. I. *t.* 166
Bacs en verre pour accumulateurs de la Société de Saint-Gobain. 166

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TROISIÈME PARTIE

CANALISATION ET DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE. — APPAREILLAGE

CHAPITRE PREMIER

Matériel des lignes aériennes

Pages.
Poteaux en bois injecté. 167
Poteau télégraphique Nou. 168
Poteaux métalliques de la Société de Louvroil. 170
Supports en tubes carrés pour lignes électriques. 171
Isolateurs en verre. 172
Appareils divers. 172

CHAPITRE II

Câbles et fils. — Matériel des lignes souterraines

Câbles de la Société industrielle des téléphones 174
Câbles de la Société G. et H.-B. de la Mathe. 175
Câbles Geoffroy et Delore 175
Câbles de la Société de Seneffe 175
Câbles de la Société A. E. G. Union électrique de Bruxelles. 175
Fils et câbles nus 175
Matériel des lignes souterraines. 177

CHAPITRE III

Appareillage électrique

Tableaux de distribution. 178
Rhéostats. 179
Rhéostats de la Société Westinghouse. 179
Rhéostats de la Société industrielle des téléphones de Paris. 179
Rhéostats Cance et fils, de Paris 179
Rhéostats de démarrage de la Société Gramme 180
Rhéostats de la Compagnie internationale d'électricité de Liège. 180
Interrupteurs. 180
Interrupteurs à rupture dans l'huile de la Société Westinghouse 180
Interrupteurs de la Compagnie internationale d'électricité de Liège. 181
Interrupteurs de la Société industrielle des téléphones de Paris. 181
Interrupteurs de la Manufacture parisienne d'appareillage électrique. 182
Interrupteurs et commutateurs de la Société Gramme. 182
Interrupteurs et commutateurs de la Société d'appareillage électrique Grivolas. 182

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.
Inverseurs. 182
Inverseurs de la Manufacture parisienne d'appareillage électrique. 182
Disjoncteurs automatiques. 182
Disjoncteurs de la Société Westinghouse 182
Disjoncteur de la Société industrielle des téléphones de Paris. 185
Disjoncteur de la Manufacture parisienne d'appareillage électrique. 185
Disjoncteurs de la Société Gramme 185
Disjoncteurs de la Société d'appareillage électrique Grivolas. 185
Réducteurs 186
Réducteurs de la Manufacture parisienne d'appareillage électrique. 186
Réducteurs de la Société Gramme. 186
Réducteurs de la Société d'appareillage électrique Grivolas 186
Coupe-circuit. 186
Coupe-circuit à haute tension de la Société industrielle des téléphones. . . . 186
Fusibles cuirassés Belliol et Reiss. 186
Coupe-circuit de la Société d'appareillage électrique Grivolas. 187
Parafoudres 187
Parafoudres Westinghouse 187
Parafoudre G. Gola. 191
Limiteur de tension « Delta ». 192
Pièces d'appareils divers en charbon 194
Matières isolantes. 194
Mica et micanite. 194
Papiers et toiles isolantes. 195

QUATRIÈME PARTIE

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

CHAPITRE PREMIER

Moteurs à courant continu

Moteurs cuirassés de la Société des ateliers de Charleroi. 196
Moteurs de la Société anonyme Westinghouse. 197
Moteurs de la Compagnie internationale d'électricité de Liège. 201
Moteurs de la Société A. E. G. Union électrique de Bruxelles. 202
Moteurs de traction de la Société parisienne électrique. 202
Moteurs de la Société « La Française électrique ». 206
Moteurs de la Société Gramme 207

CHAPITRE II

Moteurs à courant alternatif

Moteurs asynchrones polyphasés, système Westinghouse. 208
Moteur Heyland. 211
Moteurs triphasés de la Société A. E. G. Union électrique de Bruxelles. 212

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.
Moteur triphasé asynchrone de la Société parisienne électrique. 213
Moteurs asynchrones de la Société Gramme. 214
Moteur à courants alternatifs triphasés, à vitesse variable, de la Société alsacienne de constructions mécaniques de Belfort. 215
Moteur à répulsion compensé, système Th. Lehmann, de la Société alsacienne de constructions mécaniques de Belfort. 217
Moteurs de la Compagnie internationale d'électricité de Liège. 219
Moteur panchrone, système J. Holzschuch et P. Bonnemaison. 219

CHAPITRE III

Applications des moteurs électriques

Pont roulant des ateliers du Titan Anversois et de la Société A. E. G. Union électrique de Bruxelles. 221
Pont roulant de la Société anonyme John Cockerill, de Seraing (Belgique). . . . 222
Pont roulant Frédérix-Pieper 223
Pont roulant Delattre-Westinghouse 224
Pont roulant des ateliers Stuckenkoltz, de Wetter-sur-Ruhr. 226
Pont roulant Gilain, de Tirlemont (Belgique). 228
Pont roulant Gustin 229
Treuil roulant électrique Gustin. 231
Treuil pour plan incliné L. Carton, de Tournai (Belgique). 231
Transbordeurs électriques Gustin. 231
Monorail électrique A. Bleichert et Cie, de Leipzig-Gohlis 232
Grue roulante électrique de M. Gilain, de Tirlemont. 233
Palan électrique de la Compagnie internationale d'électricité de Liège 234
Palan électrique de la Société « La Française électrique ». 234
Palans électriques Gustin 235
Cabestan électrique de la Compagnie internationale d'électricité de Liège. . . . 236
Cabestan électrique, système Hillairet-Huguet. 242
Pompe électrique des Ateliers de Charleroi. 247
Pompe électrique de la Société A. E. G. Union électrique de Bruxelles 248
Pompe triplex de L. Carton, de Tournai. 248
Pompe de la Société des ateliers de construction de la Meuse, de Sclessin . . . 249
Foreuses électriques de la Société A. E. G. Union électrique de Bruxelles. . . . 249
Forge portative à soufflerie électrique. 249
Ventilateurs électriques. 250

CHAPITRE IV

Traction électrique

Locomotive pour mines de la Société des ateliers de Charleroi. 251
Voiture automotrice pour trains à unités multiples, système Sprague, de la Société parisienne électrique 252
Appareillage Westinghouse pour trains à unités multiples 259
Truck à deux moteurs de 20 chevaux de la Société parisienne électrique 269
Coupleur de la Société parisienne électrique. 270
Coupleur série-parallèle, système Westinghouse. 272
Appareillage Westinghouse pour voitures automotrices 273
Compresseur d'air à commande électrique, système Westinghouse 274
Contrôleur électro-pneumatique, système Bouscot 276

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.
Connexion électrique « Rapide » pour moteurs de traction 279
Matériel pour lignes aériennes de tramways 280
Tableaux graphiques relatifs au démarrage série-parallèle. 280

CHAPITRE V

Télégraphie

Exposition rétrospective du Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes de France. 284
Exposition du Ministère des Chemins de fer, Postes et Télégraphes de Belgique. . 289
Tableau de distribution de MM. Richez et Cie, de Bruxelles. 290
Appareils télégraphiques 291
Sonneries. 292
Tableau lumineux, indicateur de sonnerie, système Mildé. 293
Station de télégraphie sans fil de la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 293
Poste de télégraphie sans fil, système Marconi 297
Appareils de télégraphie sans fil Popoff-Ducretet. 298
Poste de télégraphie sans fil, système Rochefort. 299
Appareils de télégraphie sans fil de J. Carpentier, de Paris. 301
Appareils de démonstration de télégraphie sans fil 301

CHAPITRE VI

Téléphonie

Appareils téléphoniques de différents constructeurs 302
Appareils téléphoniques de la Société industrielle des Téléphones. 302
Appareils téléphoniques Burgunder, de Paris 304
Appareils téléphoniques Delafon et Leseible, de Paris 305
Poste téléphonique haut-parleur de R. Gaillard et E. Ducretet 305
Appareils téléphoniques G. Mambret et Cie, de Paris. 305
Appareils téléphoniques de la *Deutsche Telephonwerke*, de Berlin. 305
Pièces en charbon pour microphones. 306
Commutateur téléphonique automatique pour postes supplémentaires d'abonnés. 306
Système d'appel pour circuits téléphoniques ou télégraphiques à postes multiples. 307
Cabines téléphoniques 308
Tableaux-commutateurs et multiples 308
Poste de téléphonie sans fil, système E. Ducretet, de Paris 310
Radiophone Mercadier 310

CHAPITRE VII

Horlogerie électrique

Horloges électriques, système Paul Garnier, de Paris 311
Horloges électriques, système Château frères, de Paris. 312
Horloges électriques de la Société des Etablissements Henry Lepaute, de Paris. . 313
Régulateurs et pendules électriques, système Sallin, de Paris. 314
Horloges électriques Vigreux et Brillié, de Levallois-Perret (France). 317

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VIII

Applications aux chemins de fer

Pages.
Relais avertisseur Mambret et Cie. 321
Avance-pétard électrique de la Compagnie des chemins de fer du Nord 323
Contrôle des signaux. 323
Electro-sémaphore de la Compagnie des chemins de fer du Nord. 323
Serrure spéciale d'enclenchement réciproque des aiguilles et des disques de la Compagnie des chemins de fer du Nord. 324
Commutateurs de désolidarisation 324
Tableau répétiteur d'aiguilles, système G. Dumont et G. Baignères. 324
Contrôle électrique des aiguilles. 327
Block-system, modèle 1903, Mambret et Cie. 327
Manœuvre à distance des sémaphores 329
Appareil avertisseur à crocodile du passage des trains. 329
Manœuvre à distance des aiguilles. 329
Commande électrique des aiguilles et des signaux, système Ducousso et Rodary. 329
Leviers d'itinéraires, système Bleynie et Ducousso 330
Table télégraphique et téléphonique de la Compagnie du Nord. 332
Poste téléphonique de gare de la Compagnie du Nord. 332
Appareils de correspondance de la Compagnie du Nord 332
Intercommunication des voitures d'un train de la Compagnie du Nord. 332

CINQUIÈME PARTIE

ÉLECTROCHIMIE ET ÉLECTROMÉTALLURGIE

CHAPITRE PREMIER

Électrochimie

Electrolyse de l'eau. 333
Electrolyse des chlorures alcalins. 333
Produits chimiques spéciaux de la Société d'Electrochimie de Paris. 334
Chlorates et perchlorates. 335
Electrodes en charbon 336
Nouvelle matière soudante sans étain. 336
Dépôts électrolytiques. 336

CHAPITRE II

Électrométallurgie

Cuivre 338
Fontes, fers et aciers. 339

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages

Métaux et alliages. 339
Société anonyme électrométallurgique 339
Compagnie électrothermique Keller, Leleux et Cie 341
Gustave Gin. 342
La Néo-Métallurgie 343
Société électrométallurgique française. 344
Affinage des métaux. 344

SIXIÈME PARTIE

APPLICATIONS THERMIQUES

CHAPITRE PREMIER

Fours électrothermiques

Haut-fourneau Keller. 345
Four Héroult. 348
Fours électriques P. Girod. 348
Fours électriques G. Gin. 350
Dispositif de manœuvre électrique des électrodes dans les fours électriques. . . 357

CHAPITRE II

Appareils de chauffage électrique

Fer à souder, système Berlingin-Gratacap 358
Chauffe et travail électrique des métaux, système Paul Hoho. 358
Appareils de chauffage. 360
Détonateurs et exploseurs électriques. 360

CHAPITRE III

Lampes électriques

Lampes à arc. 361
Lampes différentielles, système L. Bardon 361
Lampe à recul automatique. 361
Lampe à mécanisme. 365
Lampe à arc carbo-minéral 367
Lampes à arc Vigreux et Brillié 369
Lampe à arc Blondel. 372
Lampe à arc Delafon et Leseible. 378
Lampes à arc Kœrting et Mathiesen 378
Lampe à arc, système Gramme 378
Lampes à arc en vase clos « Jandus ». 378
Lampes à arc « Regina ». 383
Lampe Marks à arc en vase clos. 384
Lampes à incandescence. 385
Lampe Cooper-Hewitt à vapeur de mercure. 386

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE IV

Éclairage électrique

Pages.
Décorations électriques Paz et Silva 390
Perles électriques Weissmann 392
Décorations électriques Véry. 394
Bronzes d'éclairage et lustrerie 394
Phares et projecteurs de la maison Barbier, Bénard et Turenne. 395
Appareils de projection de MM. Radiguet et Massiot 395
Éclairage électrique des trains de chemin de fer, système Lhoest-Pieper 396
Appareillage électrique 400

SEPTIÈME PARTIE

INSTRUMENTS DE MESURE

CHAPITRE PREMIER

Instruments de mesure pour tableaux de distribution

Instruments électromagnétiques

Ampèremètres et voltmètres à bobine fixe et à fer doux mobile 403
MM. Chauvin et Arnoux de Paris 403
M. J. Richard de Paris. 404
Société Gramme de Paris. 405
Instruments Meylan-d'Arsonval 406
Ampèremètres et voltmètres à aimants et bobine fixes et fer doux mobile . . . 407
Ampèremètre à fer doux mobile sans bobine 407
Ampèremètres et voltmètres à bobine mobile et à aimant fixe. 407
MM. Chauvin et Arnoux 408
M. J. Carpentier 408
M. J. Richard. 409
Instruments Meylan-d'Arsonval. 410
Ampèremètres et voltmètres à électro-aimant fixe et à bobine mobile. 412

Instruments thermiques

Ampèremètres et voltmètres thermiques. 414
MM. Chauvin et Arnoux 414
M. J. Carpentier. 414
Voltmètre J. Richard 416

Instruments électrostatiques

Électromètre apériodique Chauvin et Arnoux. 41 6

Instruments électrodynamiques

Wattmètres électrodynamiques Chauvin et Arnoux. 417

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II

Instruments de contrôle

Pages.
Instruments électromagnétiques à aimant fixe et à bobine mobile 418
Instruments Meylan-d'Arsonval. 418
MM. Chauvin et Arnoux 419
M. J. Carpentier 422
M. J. Richard 422
Instruments électromagnétiques à bobine fixe et à fer doux mobile 424
Instruments thermiques. 424
Instruments Meylan-d'Arsonval 425
MM. Chauvin et Arnoux 426
Ohmmètres 427
Wattmètres 430

CHAPITRE III

Instruments de laboratoire

Galvanomètres apériodiques à bobine mobile. 434
Fluxmètre Grassot. 435
Galvanomètres à aimant mobile 437
Galvanomètre enregistreur universel 438
Électromètres 438
Résistances et ponts de Wheatstone 439
Potentiomètres. 439
Caisses de mesures 440
Appareils accessoires pour installations de mesures 440

CHAPITRE IV

Instruments pour mesures diverses

Pyromètres 442
Oscillographe Blondel 445
Ondographe Hospitalier. 446
Instruments pour l'étude des propriétés magnétiques du fer. 446
Instruments pour l'étude du magnétisme terrestre 448
Lunette photométrique Gaston Roux de Paris. 449

CHAPITRE V

Compteurs

Compteurs O'Keenan. 451
Compteurs Thomson. 453
Compteur Gramme 456
Compteur Lux. 456
Compteur Vulcain 457
Compteur d'induction dit « Cosinus ». 457
Compteur A. C. T. 460
Compteurs Westinghouse 461
Compteurs Aron. 463
Compteur Cervera. 464

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

HUITIÈME PARTIE

APPLICATIONS DIVERSES

CHAPITRE PREMIER

Appareils indicateurs et de sécurité

Pages.
Appareil avertisseur d'effraction pour coffre-fort de M. Kaisser. 465
Indicateurs et contrôleurs divers 467
Indicateur vibratoire d'appel de la Société Grivolas. 467
Dateur autoélectrique de la Deutsche Telephonwerke. 469
Appareil de sécurité et d'arrêt à distance pour machines à vapeur 470

CHAPITRE II

Appareils d'électricité médicale

Appareils de la maison G. Gaiffe de Paris 474
— — Radiguet et Massiot de Paris 475
— de M. L. Ancel de Paris. 475
Trousse électromédicale du Dr Lucas. 476
Appareils de J. Lacoste et Cie de Paris 476
Appareils de la maison Berus et Cie d'Anvers. 476

CHAPITRE III

Divers

Pompe électrique. 477
Dynamo miniature 477
Exposition de la « Onland van de Kasteele Elektrotechnische Instrumentenfabrick ». 477
Marteau-pilon électrique 477
Forerie électrique. 477
Moteur électro-aimant 478
Appareils électriques pour mines et usines 478
Appareils et instruments pour l'enseignement électrotechnique 478
Détartreur électrique pour tubes de chaudière. 478
Condensateurs. 479
Régulateur-disjoncteur électromagnétique Cervera. 479
Paratonnerres 479
Dispositifs électriques d'allumage pour moteurs à explosions 480
Allumoirs électriques 480
Pièces en verre moulé pour l'électricité. 480
Plans d'usines électriques de M. P. Friésé. 481
Publications relatives à l'électricité 481
Enseignement électrotechnique. 481

TOURS, IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

EN VENTE

à la Librairie H. DUNOD et E. PINAT, Éditeurs

49, Quai des Grands-Augustins, Paris (VIe)

(Le Catalogue complet est envoyé gratuitement sur demande)

L'Électricien. Revue internationale de l'Électricité et de ses applications. Paraissant tous les samedis. Rédacteur en chef : J.-A. Montpellier. Secrétaire de la rédaction : Georges Dary ; avec la collaboration des principaux ingénieurs et industriels électriciens.

Prix des abonnements annuels partant du 1er de chaque mois :

France, Algérie, Tunisie..... 20 fr.
Colonies et Étranger..... 25 fr.
La livraison..... 0 fr. 50

Une livraison spécimen est adressée sur demande contre 0 fr. 15 (frais d'envoi).

Agenda Dunod 1906 : Électricité, par J.-A. Montpellier. 28e édit. tirée sur caractères neufs. In-12 10 × 15 de 308 pages avec figures. Reliure de luxe en peau souple, tranche dorée..... 2 fr. 50

Électrotechnique appliquée. Cours professé à l'Institut électrotechnique de Nancy, par A. Mauduit, ancien élève de l'Ecole polytechnique, ingénieur électricien. Préface de A. Blondel, ingénieur des Ponts et Chaussées, professeur d'électricité. In-8° 16 × 25 de 860 pages, avec 557 figures. Broché, 25 fr. ; cartonné..... 26 fr. 50

Électricité, par E. Dacrémont, conducteur des Ponts et Chaussées, chef de section au service technique municipal de la ville de Paris. Ouvrage médaillé par la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale.

1re *partie. Théorie et production.* In-16 12 × 18 de 500 p., avec 276 fig. 12 fr.
2e *partie. Applications industrielles.* In-16 12 × 18 de 642 p. avec 321 fig. 12 fr.

L'Électricité à la portée de tout le monde, par G. Claude, 5e édit. (22e à 26e mille). In-8° 16 × 26 de 480 pages avec 232 fig. Broché. 7 fr. 50
Cartonné pleine toile..... 9 fr. 50

L'électricité industrielle mise à la portée de l'ouvrier. *Manuel pratique à l'usage des monteurs, électriciens, mécaniciens, élèves des écoles professionnelles, etc.*, par E. Rosenberg. Traduit de l'allemand par A. Mauduit, professeur à l'Institut électrotechnique de Nancy. In-8° 12 × 18 de 443 pages avec 284 figures. Broché..... 8 fr. 50
Cartonné..... 10 fr.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Manipulations et études électrotechniques. Manuel pratique à l'usage des ingénieurs-électriciens et des élèves des Écoles techniques, par L. BARBILLION, ingénieur-électricien, professeur et sous-directeur de l'Institut électrotechnique de Grenoble. In-8° 16 × 26 de 304 pages, avec 162 figures.
Broché ..... 12 fr. 50
Cartonné ..... 14 fr.

Cours de constructions électro-techniques, par G. GILLON, professeur à l'Université de Louvain. Album in-folio 27 × 42 de 44 planches avec table descriptive, en feuilles..... 25 fr.

Électromoteurs, par G. ROESSLER, professeur à l'Ecole supérieure technique de Berlin ; traduit de l'allemand par E. SAMITCA, ingénieur des arts et manufactures.
I. Courant continu. In-8° 16 × 24 de 155 pages, avec figures. Broché. 6 50
Relié..... 8 fr.
II. Courants alternatifs et triphasés. In-8° 16 × 24 de 239 pages avec 89 fig.
Broché, 10 fr. ; cartonné..... 11 50.
Les deux volumes pris ensemble : Br., 15 fr. ; cart ..... 18 fr.

La technique des courants alternatifs, à l'usage des électriciens, contremaîtres, monteurs, etc., par G. SARTORI, ingénieur, professeur d'électrotechnique à l'Institut royal technique supérieur de Milan, traduit de l'italien par J.-A. MONTPELLIER, rédacteur en chef de l'*Électricien*.
Tome premier : Exposé élémentaire et pratique des phénomènes du courant alternatif. In-8° 17 × 25 de x-472 pages avec 260 figures.
Broché., 15 fr. ; cartonné..... 16 fr. 50
Tome second : Développements théoriques et calculs pratiques sur les phénomènes du courant alternatif. In-8° 17 × 25 de 634 pages avec 287 fig.
Broché, 20 fr. ; cartonné..... 21 fr. 50

Théorie et calcul des phénomènes du courant alternatif, par Ch. Pr. STEINMETZ. Traduit sur la 3e édition américaine, revue et augmentée, par H. MOUZET, ingénieur des Arts et Manufactures. In-8° 16 × 25 de xx-526 pages, avec 240 figures. Broché, 20 fr. ; cartonné..... 21 50

Les dynamos. Principes, description, installation, conduite, entretien dérangements, par J.-A. MONTPELLIER, rédacteur en chef de *l'Electricien*. Grand in-8° 16 × 24 avec 305 figures. Cartonné..... 16 fr.

Les accumulateurs électriques. *Théorie et technique. Descriptions. Applications*, par L. JUMAU, ingénieur-électricien. In-8° 16 × 26 de 940 pages avec 594 figures. Broché, 27 fr. 50 ; cartonné..... 29 fr.

Traité pratique du transport de l'énergie par l'électricité, par Louis BELL, ingénieur-électricien, traduit sur la troisième édition américaine, revue et augmentée, par A. LEHMANN, ingénieur des Arts et Manufactures. In-8° 16 × 25 de 735 p., avec nombreuses figures et planches. Br.... 25 fr.
Cartonné ..... 26 fr. 50

TOURS, IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires