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 - http://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 internationale d'électricité. 1881. Paris**
Titre	**Ministère des Postes et des télégraphes. Expositon internationale d'électricité. Paris, 1881. Administration, jury, rapports. Tome premier**
Adresse	**Paris : G. Masson, 1883**
Collation	**1 vol. ([4]-480 p.) ; 28 cm**
Cote	**CNAM-BIB 8 Xae 303**
Sujet(s)	**Exposition internationale d'électricité (1881 ; Paris) Électricité -- 19e siècle -- Congrès et conférences**
Thématique(s)	**Expositions universelles Technologies de l'information et de la communication**
Typologie	**Ouvrage**
Note	**Pages 15-16, manquantes**
Langue	**Français**
Date de mise en ligne	**17/01/2020**
Date de génération du PDF	**04/03/2020**
Permalien	**http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE303**

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

BIBLIOTHÈQUE
DU CONSERVATOIRE NATIONAL
des ARTS & MÉTIERS
N° du Catalogue 8° Pae 127
Prix ou Estimation 15 f
Entrée, le 16 Janvier 1908

EXPOSITION

INTERNATIONALE

D'ÉLECTRICITÉ

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8° 443
8° Xae 303

MINISTÈRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

EXPOSITION

INTERNATIONALE

D'ÉLECTRICITÉ

PARIS 1881

ADMINISTRATION — JURY

RAPPORTS

TOME PREMIER

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 120

1883

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

EXPOSITION INTERNATIONALE
D'ÉLECTRICITÉ

RAPPORT ADMINISTRATIF

I

DOCUMENTS OFFICIELS ET PIÈCES ANNEXES

(Voir le Rapport à la fin du deuxième volume)

PIÈCE N° 1

RAPPORT DU MINISTRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES
AU PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE

DÉCRETS DU 23 OCTOBRE ET DU 24 OCTOBRE 1880

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Des découvertes importantes et inattendues ont récemment appelé d'une façon particulière l'attention publique sur tout ce qui concerne l'électricité ; en même temps, l'industrie, s'emparant de ces conquêtes de la science, a depuis quelques années multiplié leurs applications dans toutes les branches. Aujourd'hui aucune science ne semble devoir, plus que la science électrique, réaliser de rapides progrès, résoudre des problèmes intéressant la vie écono-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mique des nations, et rendre enfin à toutes nos relations d'inappréciables services.

L'électricité est restée longtemps un agent capricieux, inconstant, difficile à maîtriser, impossible à utiliser : avant Volta on constatait son action ; on ne pouvait ni l'expliquer, ni la produire, ni, à plus forte raison, la mesurer.

La découverte de la pile et les perfectionnements que celle-ci a bientôt reçus, les travaux d'Ampère et d'Arago sur les courants et leur action magnétique, les recherches de Faraday sur l'induction, ont ouvert des voies nouvelles et fécondes dans lesquelles le progrès ne s'est plus arrêté.

La pile et l'action magnétique des courants ont créé la télégraphie. Le développement de la télégraphie a dégagé les phénomènes électriques des obscurités qui les entouraient. C'est, en effet, sur les câbles sous-marins qu'il a été possible d'étudier et de découvrir les lois suivant lesquelles l'action électrique se développe et se propage.

L'électricité est une force. A mesure qu'on a appris à la connaître, on l'a rencontrée partout, tantôt cause, tantôt effet, dans les phénomènes physiques, chimiques, mécaniques et organiques. On a aujourd'hui différents moyens de la produire. On la mesure et on l'applique aux usages les plus divers. Elle a cette propriété particulière que ses effets peuvent se transmettre par des conducteurs métalliques plus facilement et plus loin que ne peuvent le faire ceux de la vapeur par les intermédiaires mécaniques.

Elle ne se borne plus à envoyer à distance des signes télégraphiques ; elle reproduit les sons et la parole elle-même. Elle contribue à la sécurité de l'exploitation des chemins de fer ; l'agriculture et la marine lui doivent des indications météorologiques de plus en plus utiles ; elle éclaire les rues, les places publiques, les magasins, les ateliers. Elle devient pour les arts et l'industrie un auxiliaire universel.

Les savants et les industriels cherchent aujourd'hui, dans tous les pays du monde, à perfectionner les moyens de produire et d'utiliser la force nouvelle. Les résultats obtenus sont déjà considérables et nombreux, mais souvent encore insuffisants ou incomplets. Il y aurait grand intérêt à préciser l'état de la science électrique et de ses applications, à rapprocher et à comparer les procédés de recherches, afin d'imprimer aux efforts faits de toutes parts une direction qui les facilite et assure leur succès.

Les expositions internationales et les congrès scientifiques qui les complètent si utilement ont permis de montrer les applications pratiques à côté de la théorie. C'est ce qui nous conduit à vous proposer de réunir un congrès international d'électriciens et d'autoriser simultanément une exposition internationale d'électricité, qui sera, pour ainsi dire, le laboratoire du congrès. Cette exposition comprendra tout ce qui concerne l'électricité : elle réunira les appareils de toute nature et de toute provenance servant à la faire naître, à la propager et à l'utiliser.

Le Congrès convoqué par le Gouvernement français appellera à Paris les électriciens les plus illustres. Ces représentants de la science merveilleuse qui vient à peine de révéler l'immensité de ses ressources et qui déconcerte l'esprit par ses surprises incessantes discuteront les résultats acquis et les idées nouvellement émises ; ils grouperont et coordonneront leurs forces afin d'utiliser sûrement les observations faites dans chaque contrée et de s'aider mutuellement dans leurs investigations futures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les nations étrangères conviées par la France saisiront avec empressement cette occasion de codifier, pour ainsi dire, la science électrique, et d'en sonder les profondeurs. Elles sauront gré au Gouvernement de la République française de s'être fait le promoteur d'une manifestation scientifique dont l'opportunité ne paraît pas contestable, et qui aura pour corollaire l'Exposition internationale d'électricité.

Le Congrès doit être l'œuvre du Gouvernement, car lui seul peut donner à l'entreprise le caractère d'indépendance qui est la condition essentielle du succès. Quant à l'Exposition, elle sera facilement organisée par l'initiative privée. Le patronage et le concours bienveillant de l'État lui seront toutefois assurés et le palais des Champs-Élysées sera mis gratuitement à la disposition de ses organisateurs.

L'action du Gouvernement se complètera par l'intermédiaire d'un Commissaire général qui aura à la fois la mission d'assurer, sous notre direction, le fonctionnement du congrès et de surveiller les services généraux de l'exposition.

Le Gouvernement désignera les membres français du Congrès : la science officielle, l'industrie, les sociétés savantes de Paris et des départements y auront leurs représentants.

Si la présidence d'un Congrès appartient par tradition au pays où la réunion a lieu, la moitié des vice-présidences sera, par contre, réservée aux invités de la France.

L'Exposition internationale d'électricité sera ouverte le 1er août 1881 et close le 15 novembre suivant.

Les travaux du congrès international des électriciens commenceront le 15 septembre 1881, dans les salles du palais du Trocadéro[1].

Le département dont relève le service des télégraphes est le plus directement intéressé dans la question. Son personnel prend une grande part à tout ce qui concerne l'électricité; il en étudie les diverses découvertes et en prépare les applications. Il est en relation avec tous les électriciens des divers pays. La télégraphie elle-même recueillera un grand profit de l'exposition et du congrès; elle pourra y puiser de larges améliorations.

C'est dans cette pensée que j'ai fait préparer le projet de décret ci-joint et j'ai l'honneur de le soumettre à votre haute approbation.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de mon respectueux dévouement.

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,

AD. COCHERY.

1. Pour faciliter les travaux du Congrès et pour la plus grande commodité des membres de celui-ci, une salle d'assemblée générale et quatre salles de commissions furent organisées dans le palais des Champs-Élysées, sans qu'il fût besoin d'utiliser les dépendances du palais du Trocadéro. Ces salles servirent aussi pour les réunions du jury international de l'Exposition d'électricité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le Président de la République française,

Sur le rapport du Ministre des Postes et des Télégraphes,

Décrète :

ARTICLE PREMIER. — Un congrès international des électriciens sera ouver Paris le 15 septembre 1881, sous la présidence du Ministre des Postes et des Télégraphes.

ART. 2. — Trois vice-présidents seront choisis parmi les membres français et trois parmi les membres étrangers du congrès.

ART. 3. — Les ministres du gouvernement de la République française et les ministres des gouvernements étrangers qui participeront au congrès international sont membres de droit du congrès.

ART. 4. — Le palais des Champs-Élysées sera mis gratuitement à la disposition de la commission privée autorisée par le Gouvernement à organiser, à ses frais, risques et périls, une exposition internationale d'électricité du 1er août au 15 novembre 1881.

ART. 5. — L'exposition internationale d'électricité est placée sous le patronage de l'État.

ART. 6. — Le règlement de l'exposition internationale d'électricité sera soumis à l'approbation du Gouvernement, qui nommera le commissaire général.

ART. 7. — Le Ministre des Postes et des Télégraphes, le Ministre des Affaires étrangères et le Ministre des Travaux publics sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 23 octobre 1880.

JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,

AD. COCHERY.

Le Ministre des Affaires étrangères,

BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE.

Le Ministre des Travaux publics,

SADI CARNOT.

Le Président de la République française,

Vu le décret en date de ce jour portant ouverture d'un Congrès international et d'une Exposition d'électricité ;

Sur le rapport du Ministre des Postes et des Télégraphes,

Décrète :

ARTICLE PREMIER. — M. Georges BERGER, ancien Directeur général des Sections étrangères à l'Exposition universelle de 1878, est nommé Commissaire général

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du Congrès international des électriciens et de l'Exposition internationale d'électricité.

ART. 2, — Le Ministre des Postes et des Télégraphes est chargé de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 23 octobre 1880.

JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,

AD. COCHERY.

PIÈCE N° 2

ACTE CONSTITUANT L'ASSOCIATION DE GARANTIE

DE L'EXPOSITION INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ

LISTE DES SOUSCRIPTEURS

Les soussignés, souscripteurs du capital de garantie des dépenses de l'Exposition internationale d'électricité, ont arrêté les conventions suivantes :

ARTICLE PREMIER.

Conformément au décret du 23 octobre 1880 qui autorise l'organisation d'une Exposition internationale d'électricité, à Paris, en 1881, il est formé une association ayant pour objet de garantir jusqu'à concurrence de cinq cent mille francs la portion des frais de l'Exposition internationale d'électricité de 1881 qui ne serait pas couverte, 1° par la subvention que l'État pourrait accorder, 2° par le produit des droits d'entrée et des recettes de toute nature de l'Exposition.

Cette association prend le nom de : *Association de garantie de l'Exposition internationale d'électricité de* 1881 *à Paris.*

ARTICLE 2.

L'Association se compose de toutes les personnes qui auront souscrit une ou plusieurs parts de dix mille francs.

La somme totale à souscrire est illimitée, elle ne peut toutefois être inférieure à cinq cent mille francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ARTICLE 3.

La souscription d'une ou plusieurs parts implique l'engagement de solder, à la première réquisition du Comité des finances qui sera organisé conformément à l'article 6 ci-après et jusqu'à concurrence du montant de chaque part de souscription, les sommes nécessaires pour couvrir, sous déduction de la subvention et des recettes indiquées à l'article 1er, les frais et dépenses de toute nature de l'Exposition internationale d'électricité de 1881.

La somme à verser par le souscripteur de chaque part sera déterminée par le Comité des finances d'après les comptes de l'Exposition, dressés sous sa surveillance et arrêtés par lui.

ARTICLE 4.

Chaque souscripteur n'aura droit, lors de la liquidation des comptes de l'Exposition et en cas de bénéfices acquis, qu'au remboursement des sommes versées par lui avec les intérêts à 4 pour 100.

Le surplus de l'excédent des recettes sur les dépenses sera, sur les propositions de la Commission d'organisation de l'Exposition, employé par l'État au profit d'œuvres d'intérêt public.

ARTICLE 5.

Les sommes nécessaires aux préparatifs et au fonctionnement de l'Exposition pourront, s'il est nécessaire, être avancées par un banquier désigné par le Ministre des Postes et des Télégraphes, Président de la Commission d'organisation.

ARTICLE 6.

L'association de garantie déléguera au moins cinq de ses membres pour faire partie d'un Comité des finances auquel tous pouvoirs sont conférés pour gérer et administrer les affaires de l'association, ainsi que pour la représenter en justice et notamment pour recouvrer et percevoir les sommes dues par les associés en raison de leur garantie.

Fait à Paris, le 3 décembre 1880.

Ont signé, les souscripteurs dont les noms suivent :

MM.	le MINISTRE des Postes et des Télégraphes.	20,000 fr.
	WILSON, député, sous-secrétaire d'État au ministère des Finances	10,000
	HÉBRARD, sénateur	10,000
	TEISSERENC DE BORT, sénateur.	20,000
	BISCHOFFSHEIM (R.), député.	20,000
	CROZET-FOURNEYRON, député	10,000
	GERMAIN (Henri), député	10,000
	GIRARDIN (É. de), député.	10,000
	PROUST (Antonin), député.	10,000
	A reporter.	120,000 fr.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Report.	120,000 fr.
MM. BREGUET (L.), membre de l'Institut et du Bureau des longitudes.	10,000
ABOUT (Edmond), directeur du journal *le XIX^e Siècle*	10,000
ANDRÉ (Alfred), banquier.	10,000
ARMENGAUD jeune.	10,000
BAPST (Jules), directeur du journal des *Débats*.	10,000
BARRAL (J.-A.), secrétaire perpétuel de la Société nationale d'agriculture de France.	10,000
BERGER (Georges), commissaire général du Congrès international des électriciens et de l'Exposition internationale d'électricité	20,000
BERTHIER frères, banquiers	10,000
BOUILHET (Henri), vice-président de la Société générale de l'Union centrale des beaux-arts appliqués à l'industrie. .	10,000
CHAMBRE DE COMMERCE de Paris.	10,000
Compagnie des chemins de fer de l'EST	10,000
Compagnie du chemin de fer du NORD.	10,000
Compagnie des chemins de fer de l'OUEST.	10,000
Compagnie des chemins de fer de PARIS A LYON ET A LA MÉDITERRANÉE.	10,000
Compagnie du chemin de fer de PARIS A ORLÉANS.	10,000
Compagnie générale des OMNIBUS de Paris	10,000
DEMACHY, régent de la Banque de France	20,000
DENAYROUSE (L.).	10,000
DENION DU PIN, administrateur des Messageries nationales. .	10,000
DIETZ-MONNIN, membre de la Chambre de commerce de Paris.	10,000
DURRIEU, président de la Société générale de crédit industriel et commercial	10,000
FONTAINE, président de la Chambre syndicale de l'électricité.	10,000
GIROD (G.), directeur du Comptoir d'escompte de Paris . . .	20,000
GUICHARD (Jules), administrateur de la Compagnie universelle du canal de Suez.	10,000
HERZ (Cornélius), électricien	10,000
HOTTINGUER (Baron Rodolphe), banquier	10,000
HUNEBELLE (J.), aîné, ingénieur	20,000
JAMETEL, président de la Société générale des téléphones. . .	10,000
JOUBERT, administrateur de la Banque de Paris et des Pays-Bas.	10,000
LEMONNIER, de la maison L. Sautter-Lemonnier.	20,000
LÉVY-CRÉMIEUX	10,000
MASSON (Georges), libraire-éditeur.	10,000
MÉNIER, manufacturier	30,000
DE PARVILLE, publiciste	10,000
RATTIER ET C^ie.	10,000
Baron J. DE REINACH.	20,000
Baron A. DE ROTHSCHILD, régent de la Banque de France . .	20,000
Baron G. DE ROTHSCHILD	20,000
SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ.	20,000
Société GRAMME	10,000
Société du journal « LE GÉNIE CIVIL »	10,000
Société de l'UNION GÉNÉRALE.	10,000
Baron DE SOUBEYRAN.	20,000
A reporter.	670,000 fr.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Report	670,000 fr.
MM. STERN (Jacques)	10,000
STERN (Louis)	10,000
TISSANDIER (Gaston), publiciste	10,000
TURGAN, publiciste	10,000
TOTAL	710,000 fr.

PIÈCE N° 3

LISTE DES MEMBRES

DE LA COMMISSION D'ORGANISATION DE L'EXPOSITION INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ

MM. le Ministre des Postes et des Télégraphes, *Président.*
le vice-amiral POTHUAU, sénateur, *vice-président.*
TEISSERENC DE BORT, sénateur, *vice-président.*
BRISSON, vice-président de la Chambre des députés, *vice-président.*
le comte F. DE LESSEPS, membre de l'Institut, *vice-président.*
le comte HORACE DE CHOISEUL, député, sous-secrétaire d'État au Ministère des affaires étrangères.
WILSON, député, sous-secrétaire d'État au Ministère des finances.
TURQUET, député, sous-secrétaire d'État au Ministère de l'instruction publique et des beaux-arts.
RAYNAL, député, sous-secrétaire d'État au Ministère des travaux publics.
CARNOT père, sénateur.
CUVINOT, sénateur, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
DUPUY DE LÔME, sénateur, membre de l'Institut, inspecteur général du génie maritime en retraite.
FOUCHER DE CAREIL, sénateur.
HÉBRARD, sénateur.
PARENT (N.-E.), sénateur.
ROBIN (Ch.), sénateur, membre de l'Institut, professeur à la Faculté de médecine.
BERT (Paul), député.
CROZET-FOURNEYRON, député.
DEVELLE (Eure), député.
GIRARDIN (Émile DE), député.
HÉRAULT (Alfred), député.
MESTREAU (Frédéric), député.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. NAQUET, député.
PROUST (Antonin), député.
REYMOND (Francisque), député.
ROUVIER (Maurice), député.
BECQUEREL (Edmond), membre de l'Institut, président de l'Académie des sciences.
BERTHELOT, membre de l'Institut.
BREGUET (Louis), membre de l'Institut et du Bureau des longitudes.
CORNU, membre de l'Institut.
DAUBRÉE, membre de l'Institut, inspecteur général des mines, directeur de l'École nationale des mines.
DUMAS (J.-B.), de l'Académie française, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.
DENION DU PIN, administrateur des Messageries nationales.
DIETZ-MONNIN, membre de la Chambre de commerce de Paris.
DUMONT, directeur de l'enseignement supérieur au Ministère de l'instruction publique et des beaux-arts.
DURRIEU, président de la Société générale de crédit industriel et commercial.
le général GALLIMARD, commandant l'École polytechnique.
GAVARRET, vice-président de l'Académie de médecine, professeur à la Faculté de médecine.
GENDARME DE BÉVOTTE, inspecteur général des ponts et chaussées, président de section au Conseil d'État.
GRAEFF, inspecteur général des ponts et chaussées, vice-président du conseil général des ponts et chaussées.
GUICHARD (Jules), administrateur de la Compagnie universelle du canal de Suez.
le docteur HERZ, électricien.
HUYOT, ingénieur au corps des mines, directeur des chemins de fer du Midi.
JACQMIN, directeur de la Compagnie des chemins de fer de l'Est.
JOURDE, publiciste, directeur du journal *le Siècle*.
LESGUILLIER (Jules), directeur des chemins de fer de l'État.
MANTION, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur en chef des travaux et de la surveillance du chemin de fer du Nord.
le comte DU MONCEL, membre de l'Institut.
FAYE, membre de l'Institut, inspecteur général de l'Université, président du Bureau des longitudes.
GARNIER (Charles), architecte, membre de l'Institut.
HERVÉ-MANGON, membre de l'Institut, directeur du Conservatoire national des arts et métiers.
JAMIN, membre de l'Institut.
LALANNE (Léon), membre de l'Institut, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur de l'École nationale des ponts et chaussées.
le contre-amiral MOUCHEZ, membre de l'Institut, directeur de l'Observatoire de Paris.
le colonel PERRIER, membre de l'Institut et du Bureau des longitudes.
VULPIAN, membre de l'Institut et de l'Académie de médecine, doyen de la Faculté de médecine de Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Wurtz, membre de l'Institut.

About (E.), publiciste, directeur du journal *le XIXe Siècle*.

Allard, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du service central des phares.

Alphand, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur des travaux de la ville de Paris.

Bapst (J.), directeur du *Journal des Débats*.

Baron (H.), inspecteur général des postes et des télégraphes.

Barral (J.-A.), secrétaire perpétuel de la Société nationale d'agriculture.

Bergon (Louis), administrateur du service technique au Ministère des postes et des télégraphes.

Blavier, directeur-ingénieur des postes et des télégraphes, directeur de l'École supérieure de télégraphie.

Bouilhet, vice-président de la Société de l'Union centrale des beaux-arts appliqués à l'industrie.

Cernesson, président du Conseil municipal de Paris.

Charmes (Xavier), chef de la division du secrétariat au Ministère de l'instruction publique et des beaux-arts.

Delaître, directeur de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

Demachy, régent de la Banque de France.

Mascart (E.), professeur au Collège de France, directeur du Bureau central météorologique, président de la Société française de physique.

Ménier (Henri), manufacturier.

Noblemaire (G.), ingénieur des mines, directeur de l'exploitation des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

le docteur Onimus.

le général baron de Saint-Cyr-Nugues, commandant le département de Seine-et-Oise et la place de Versailles, inspecteur général de la télégraphie militaire, président de la commission de télégraphie militaire.

le général Pittié, chef de la maison militaire du Président de la République, secrétaire général de la Présidence.

Planté (Gaston), électricien.

Reinach (J. de), banquier.

le baron Alphonse de Rothschild, régent de la Banque de France.

le baron Gustave de Rothschild.

de Sourdeval, président de la Société générale d'électricité.

Sévène, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans.

Tissandier, publiciste.

Vaucorbeil, directeur de l'Académie nationale de musique.

Cochery (Georges), directeur du cabinet et du service central au Ministère des postes et des télégraphes, *secrétaire*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PIÈCE N° 4

RÈGLEMENT GÉNÉRAL

I. — Dispositions générales.

Article premier. — L'Exposition internationale d'électricité, autorisée par décret du 23 octobre 1880, sera ouverte à Paris dans le palais des Champs-Élysées, du 1er août 1881 au 15 novembre 1881.

Art. 2. — Une Commission, nommée par décret du 26 novembre 1880, et placée sous la présidence du Ministre des Postes et des Télégraphes, sera consultée sur les mesures relatives à l'organisation générale de l'Exposition internationale d'électricité.

Art. 3. — Les fonds nécessaires à l'organisation et au fonctionnement de l'Exposition seront fournis au moyen des subventions que l'État pourrait accorder, et par une association de garantie dont les membres souscripteurs se sont interdit tout partage de bénéfices après remboursement de leurs versements avec intérêts à 4 pour 100.

Lors de la liquidation des comptes de l'Exposition, après défalcation des remboursements dus aux souscripteurs du capital de garantie, les bénéfices acquis seront laissés à la disposition de l'État, qui, sur les propositions de la Commission d'organisation, en fera profiter des œuvres scientifiques d'intérêt public.

Art. 4. — Un Comité technique et un Comité des finances seront constitués. Le Comité technique sera composé de membres de la Commission d'organisation, auxquels un arrêté ministériel pourra adjoindre des personnes étrangères à cette Commission. Le Comité des finances sera composé de membres de la Commission d'organisation et de membres de l'association de garantie.

Art. 5. — Le Commissaire général, nommé par décret du 24 octobre 1880, est chargé d'exécuter, sous la haute autorité du ministre des Postes et des Télégraphes, les décisions prises. Le Commissaire général a la direction du personnel administratif.

Art. 6. — Le Commissaire général ou, en son absence, le secrétaire du Commissariat général assiste de droit aux séances de la Commission d'organisation et des Comités, avec voix consultative.

Art. 7. — Les pays étrangers qui auront adhéré à l'Exposition internationale d'électricité seront invités à désigner des Commissaires spéciaux. Ces derniers correspondront directement avec le Commissaire général français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II. — Admission. — Classification.

Art. 8. — Les demandes d'admission étrangères et françaises, rédigées autant que possible suivant le modèle annexé au présent règlement, devront être parvenues au Commissaire général à Paris, le 31 mars 1881, au plus tard.

Art. 9. — Le Comité technique sera appelé à statuer en dernier ressort sur les demandes françaises d'admission.

Art. 10. — Le Commissaire général notifiera aux exposants, avant le 15 mai 1881, l'avis de leur admission ainsi que l'étendue et la localisation de l'espace accordé à chacun d'eux.

Art. 11. — Les Commissaires étrangers auront la faculté de demander et de recevoir en bloc les espaces nécessaires aux installations de leurs nationaux.

Les demandes cumulatives des Commissaires étrangers devront être parvenues au Commissaire général avant le 31 mars 1881. Les plans généraux d'installation des locaux accordés à la suite de ces demandes cumulatives devront être soumis à l'approbation du Commissaire général.

Art. 12. — Les exposants étrangers appartenant à des pays qui n'auront pas nommé de Commissaires spéciaux pourront correspondre directement avec le Commissaire général français.

Art. 13. — Des formules imprimées de demandes d'admission sont tenues à la disposition des intéressés :

Au Ministère des Postes et des Télégraphes, rue de Grenelle-Saint-Germain, 101;

Au siège du Commissariat général, palais des Champs-Élysées, porte n° IV;

Aux sièges des Chambres de commerce et des Sociétés savantes de Paris et des départements.

Art. 14. — Les principaux objets admis à être présentés sont compris dans l'énumération suivante :

Appareils servant à la production et à la transmission de l'électricité.

Aimants naturels et artificiels. — Boussoles.

Appareils servant à l'étude de l'électricité.

Applications de l'électricité : à la télégraphie et à la transmission des sons; — à la production de la chaleur; à l'éclairage et à la production de la lumière; au service des phares et des signaux; — aux appareils avertisseurs; — aux mines, aux chemins de fer et à la navigation; — à l'art militaire; — aux beaux-arts; — à la galvanoplastie, à l'électro-chimie et aux arts chimiques; — à la production et à la transmission de la force motrice; — aux arts mécaniques et à l'horlogerie; — à la médecine et à la chirurgie; — à l'astronomie, à la météorologie et à la géodésie; — à l'agriculture; — aux appareils enregistreurs; — au fonctionnement des appareils industriels divers; — aux usages domestiques.

Paratonnerres.

Collections rétrospectives d'appareils concernant les études primitives et les applications les plus anciennes de l'électricité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Collections bibliographiques d'ouvrages concernant la science et l'industrie électriques.

ART. 15. — Les objets admis à être exposés seront reçus dans l'enceinte du palais des Champs-Élysées à partir du 1er juillet 1881.

Les caisses contenant ces objets devront porter des adresses et des étiquettes spéciales fournies par le Commissariat général.

III. — INSTALLATION.

ART. 16. — Les exposants n'auront aucun loyer à payer pour l'occupation des emplacements qui leur auront été attribués.

ART. 17. — L'Administration prend à sa charge la mise en état et la décoration générale des locaux du palais des Champs-Élysées.

Les exposants devront pourvoir, à leurs frais, à l'installation et à la décoration de leurs emplacements respectifs.

Les plans de ces installations et les dessins de ces décorations devront être soumis à l'approbation du Commissaire général.

ART. 18. — La force motrice sera fournie à prix débattu aux exposants qui en feront la demande.

La force motrice pourra être fournie gratuitement pendant les expériences nécessaires aux travaux du Congrès international des électriciens organisé par l'État, à l'époque de l'Exposition.

IV. — ENTRÉES.

ART. 19. — Les locaux de l'Exposition seront ouverts au public tous les jours, de huit heures et demie du matin à six heures du soir, et de huit heures à onze heures du soir.

ART. 20. — Des cartes d'entrée gratuites, permanentes et essentiellement personnelles, seront mises à la disposition : des membres de la Commission d'organisation, du Comité technique et du Comité des finances ; des membres de l'association de garantie ; des Commissaires étrangers ; des membres du Congrès international des électriciens ; des agents du Commissariat général ; des exposants et des agents de ceux-ci dont la présence aura été reconnue indispensable.

ART. 21. — La perception des prix d'entrée, fixés ainsi qu'il est dit à l'article 22 ci-après, sera faite au moyen de billets d'entrée d'une valeur de 50 centimes chacun [1].

ART. 22. — Les prix ordinaires d'entrée sont fixés ainsi qu'il suit :

1° *Pendant les jours de la semaine :*

Matin, de 8 heures et demie à 11 heures [2]	1 fr. 50
Journée, de 11 heures du matin à six heures du soir	1 00
Soir, de 8 heures à 11 heures	1 50

1. Par décision ultérieure de la Commission d'organisation, le système des billets d'entrées a été abandonné. Les prix d'entrée ont été perçus au moyen de tourniquets.

2. Pendant les jours de semaine, les portes de l'Exposition ont été ouvertes chaque jour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° *Le dimanche :*

De 8 heures du matin à 6 heures du soir	0 fr. 50
De 8 heures à 11 heures du soir	1 00

V. — Police et surveillance. — Entretien.

Art. 23. — Une surveillance rigoureuse contre le vol sera organisée par les agents du Commissariat général, avec le concours de la police.

Les précautions les plus minutieuses seront prises contre le feu.

Toutefois l'Administration ne sera pas responsable des pertes occasionnées par le vol ou par l'incendie.

Art. 24. — Les objets exposés ne pourront être retirés avant la clôture de l'Exposition, sans une autorisation spéciale du Commissaire général.

Aucun objet exposé ne pourra être dessiné ou photographié sans l'autorisation écrite de l'exposant, visée par le Commissaire général.

Art. 25. — Les exposants devront pourvoir par eux-mêmes à l'entretien et au nettoyage de leurs installations.

Art. 26. — Un local spécial sera mis à la disposition des exposants qui voudront faire le dépôt de leurs caisses vides pendant toute la durée de l'Exposition.

Les déposants auront à payer un droit de 6 francs par mètre cube.

Toute caisse d'un cubage inférieur à 1 mètre cube payera le prix fixé pour 1 mètre.

Les frais de restauration et de remise en état des caisses vides seront à la charge des déposants.

Art. 27. — Les exposants français ou étrangers jouiront des garanties qu'assure la loi du 23 mai 1868 aux auteurs, soit des inventions susceptibles d'être brevetées, soit des modèles et dessins de fabrique qui pourront être déposés aux conseils des prud'hommes.

Il leur suffira de déposer à la préfecture de la Seine, dans le premier mois au plus tard de l'ouverture de l'Exposition, une demande de certificat de garantie pour l'objet exposé.

Ce certificat, n'exigeant le payement d'aucune taxe, sera valable à dater du jour de l'admission jusqu'à la fin du troisième mois qui suivra la clôture de l'Exposition.

VI. — Catalogue. — Récompenses.

Art. 28. — Un catalogue général de l'Exposition sera dressé par les soins du Commissariat général et par voie d'entreprise et d'adjudication.

L'entrepreneur du Catalogue général pourra s'entendre directement avec les exposants officiellement inscrits pour l'insertion des réclames, avis et vignettes concernant les objets de leur commerce ou de leur industrie.

à partir de 10 heures du matin seulement, pour les visiteurs payants. Le prix uniforme de 1 franc a été perçu de 10 heures du matin à 6 heures du soir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PIÈCE N° 6

LISTE DES MEMBRES

DU COMITÉ TECHNIQUE ET DU COMITÉ DES FINANCES

I.

Comité technique.

MM. LE MINISTRE des Postes et des Télégraphes, *président.*
TEISSERENC DE BORT, sénateur, membre de la Commission d'organisation, *président-adjoint.*
CARNOT père, sénateur, membre de la Commission d'organisation.
CUVINOT, sénateur, membre de la Commission d'organisation.
DUPUY DE LÔME, sénateur, membre de la Commission d'organisation.
BERT (Paul), député, membre de la Commission d'organisation.
REYMOND (Francisque), député, membre de la Commission d'organisation.
BECQUEREL (Edmond), membre de l'Institut, membre de la Commission d'organisation.
DUMAS (J.-B.), membre de l'Institut, membre de la Commission d'organisation.
le comte DU MONCEL, membre de l'Institut, membre de la Commission d'organisation.
GARNIER (Ch.), membre de l'Institut, membre de la Commission d'organisation.
HERVÉ-MANGON, membre de l'Institut, directeur du Conservatoire national des arts et métiers, membre de la Commission d'organisation.
ALLARD, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du service central des phares, membre de la Commission d'organisation.
ALPHAND, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur des travaux de la ville de Paris, membre de la Commission d'organisation.
BARON, inspecteur général des Postes et des Télégraphes, membre de la Commission d'organisation.
BERGON, administrateur du service technique au ministère des Postes et des Télégraphes, membre de la Commission d'organisation.
BLAVIER, directeur-ingénieur des postes et des télégraphes, membre de la Commission d'organisation.
GUICHARD (Jules), administrateur de la Compagnie universelle du canal de Suez, membre de la Commission d'organisation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le général baron Saint-Cyr Nugues, commandant le département de Seine-et-Oise et la place de Versailles, inspecteur général de la télégraphie militaire, membre de la Commission d'organisation.
Armengaud jeune, ingénieur civil.
Clérac, ingénieur des télégraphes.
Fontaine, président de la Chambre syndicale de l'électricité.
Lan, ingénieur des Mines, administrateur des chemins de fer de l'État.
Lemonnier, de la maison Sautter-Lemonnier.
de Parville, publiciste.
Rattier, de la maison Rattier et Cie.
Tesse, ingénieur de la Compagnie du chemin de fer du Nord.
Turgan, publiciste.
Breguet (Antoine), chef du service des installations du commissariat général de l'Exposition internationale d'électricité, *secrétaire*.

II.

Comité des finances.

MM. le Ministre des Postes et des Télégraphe, *président*.
l'amiral Pothuau, sénateur, *vice-président* de la Commission d'organisation, *président adjoint*.
Hébrard, sénateur, membre de la Commission d'organisation.
Bischoffsheim, député.
Germain (Henri), député.
Hérault (Alfred), député, membre de la Commission d'organisation.
Mestreau (Frédéric), député, membre de la Commission d'organisation.
Denion du Pin, administrateur des messageries nationales, membre de la Commission d'organisation.
Dietz-Monnin, membre de la Chambre de commerce de Paris, membre de la Commission d'organisation.
Durrieu, président de la Société générale de crédit industriel et commercial, membre de la Commission d'organisation.
le baron J. de Reinach, membre de la Commission d'organisation.
le baron G. de Rothschild, banquier, membre de la Commission d'organisation.
André (Alfred), banquier.
Berthier (Ch.), président du Conseil d'administration de la Compagnie générale des omnibus.
Girod (Gustave), directeur du Comptoir d'escompte de Paris.
Hunebelle (Jules), ingénieur.
Joubert, administrateur de la Banque de Paris et des Pays-Bas.
Roy (Gustave), président de la Chambre de commerce de Paris.
Sterne (Louis).
Masson (Georges), libraire-éditeur, *secrétaire*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PIÈCE N° 7

SYSTÈME DE CLASSIFICATION GÉNÉRALE

DES OBJETS EXPOSÉS

GROUPE I.

Production de l'électricité.

Classe 1. — Électricité statique.
Classe 2. — Piles et accessoires.
Classe 3. — Machines magnéto-électriques et dynamo-électriques.

GROUPE II.

Transmission par l'électricité.

Classe 4. — Câbles, fils et accessoires ; paratonnerres.

GROUPE III.

Électrométrie.

Classe 5. — Apppareils servant aux mesures électriques.

GROUPE IV.

Applications de l'électricité

Classe 6. — Télégraphie, signaux.
Classe 7. — Téléphonie, microphonie, photophonie.
Classe 8. — Lumière électrique.
Classe 9. — Moteurs électriques, transport des forces.
Classe 10. — Électricité médicale.
Classe 11. — Électro-chimie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 12. — Instruments de précision, électro-aimants et aimants, boussoles ; horlogerie électrique.

CLASSE 13. — Appareils divers.

GROUPE V.

Mécanique générale.

CLASSE 14. — Générateurs, moteurs à vapeur, à gaz et hydrauliques, et transmissions applicables aux industries électriques.

GROUPE VI.

Bibliographie. — Histoire.

CLASSE 15. — Collections bibliographiques d'ouvrages concernant la science et l'industrie électriques, plans, cartes, etc., etc.

CLASSE 16. — Collections rétrospectives d'appareils concernant les études primitives et les applications les plus anciennes de l'électricité.

PIÈCE N° 8

LOI

PORTANT OUVERTURE
AU MINISTRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES,
SUR L'EXERCICE 1880, D'UN CRÉDIT DE 300,000 FRANCS
POUR L'EXPOSITION INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ
ET LE CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS

Le Sénat et la Chambre des députés ont adopté,

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

ARTICLE PREMIER. — Le Ministre des Postes et des Télégraphes est autorisé à contribuer, à titre de subvention pour le compte de l'État, et pour une somme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 200,000 francs, aux frais de l'Exposition internationale d'électricité de 1881.

ART. 2. — Il est ouvert au Ministre des Postes et des Télégraphes, sur l'exercice 1880, au delà des crédits ouverts par la loi de finances du 21 décembre 1879, un crédit extraordinaire de 300,000 francs, qui sera classé à la deuxième section aux chapitres ci-après :

Chapitre IX septies. — Subvention de l'État à l'Exposition internationale d'électricité	200,000 fr.
Chapitre IX octies. — Dépenses du Congrès international des électriciens	100,000
TOTAL.	300,000 fr.

Il sera pourvu aux crédits ci-dessus au moyen des ressources générales du budget ordinaire de 1880.

ART. 3. — Les actes à réaliser, soit par le Ministre des Postes et des Télégraphes, soit par le Commissaire général, à raison du Congrès et de l'administration de l'Exposition d'électricité, seront dispensés du timbre et enregistrés gratis, lorsqu'il y aura lieu à l'enregistrement.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'État.

Fait à Paris, le 27 décembre 1880.

JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,

AD. COCHERY.

Le Ministre des Finances,

J. MAGNIN.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PIÈCE N° 9

LOI

PORTANT EXEMPTION DU DROIT DE STATISTIQUE POUR LES PRODUITS ENVOYÉS A L'EXPOSITION INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ ET FIXANT LE RÉGIME APPLICABLE A CEUX DE CES PRODUITS QUI SERONT LIVRÉS A LA CONSOMMATION

Le Sénat et la Chambre des députés ont adopté ;

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

ARTICLE PREMIER. — Les produits et objets à destination de l'Exposition internationale d'électricité, et ceux qui en seront réexpédiés pour l'étranger, seront exemptés du droit de statistique.

ART. 2. — Les produits et objets étrangers admis à l'Exposition internationale d'électricité, qui seront livrés à la consommation, ne seront soumis, quelle que soit leur origine, qu'aux droits applicables aux produits similaires de la nation la plus favorisée.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi d'État.

Fait à Paris, le 20 avril 1881.

JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :

Le Ministre de l'Agriculture et du Commerce,

P. TIRARD.

Le Ministre des Finances,

J. MAGNIN.

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,

AD. COCHERY.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PIÈCE N° 10

LOI

PORTANT DÉROGATION AUX DISPOSITIONS DE L'ARTICLE 32, PARAGRAPHE 3, DE LA LOI DU 5 JUILLET 1844 SUR LES BREVETS D'INVENTION A L'OCCASION DE L'EXPOSITION INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ TENUE A PARIS EN 1881

Le Sénat et la Chambre des députés ont adopté,

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

ARTICLE PREMIER. — Toutes personnes brevetées en France ou leurs ayants droits pourront, sans encourir de déchéance, y introduire les objets fabriqués à l'étranger et semblables à ceux garantis par leurs brevets, qu'ils auront été admis à faire figurer à l'Exposition internationale d'électricité, ouverte à Paris du 1er août au 15 novembre 1881.

ART. 2. — La déchéance sera encourue si ces objets ne sont pas réexportés dans le délai de trois mois, à partir du jour de la clôture officielle de l'Exposition.

ART. 3. — Les Français ou les étrangers qui prendront part à cette Exposition jouiront, pour la garantie des inventions susceptibles d'être brevetées, des modèles et dessins industriels, ainsi que des marques de fabrique et de commerce, du bénéfice de la loi du 23 mai 1868.

ART. 4. — Tout breveté français ou étranger qui aura exposé à l'Exposition internationale d'électricité un objet semblable à celui qui est garanti par son brevet sera considéré comme ayant exploité sa découverte ou son invention en France depuis l'ouverture officielle de cette Exposition.

La déchéance prévue par l'article 32, paragraphe 3, de la loi du 5 juillet 1844, et non encore encourue, sera interrompue : le délai de la déchéance courra à nouveau à partir de la clôture officielle de l'Exposition.

ART. 5. — Les objets admis à l'Exposition internationale d'électricité qui seront argués de contrefaçon ne pourront être saisis que par description dans l'intérieur de l'Exposition.

Les objets exposés par des étrangers ne pourront être saisis, ni à l'intérieur ni à l'extérieur de l'Exposition, si le saisissant n'est pas protégé dans le pays auquel appartient le saisi.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Toutefois, ces objets ne pourront être vendus en France, et ils devront être réexportés dans le délai fixé par l'article 2.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'État.

Fait à Paris le 5 juillet 1881.

JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :

Le Ministre de l'Agriculture et du Commerce,

P. TIRARD.

PIÈCE N° 11

POLICE ET SURVEILLANCE

RÈGLEMENT

I. — DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

ARTICLE PREMIER. — La police et la surveillance des locaux de l'Exposition internationale d'électricité sont confiées à des brigadiers, sous-brigadiers et agents de la police municipale et à des inspecteurs de la sûreté commandés par un officier de paix et conjointement à six brigadiers gardiens et quarante-huit gardiens ou préposés du Commissariat général placés sous les ordres de deux inspecteurs.

ART. 2. — Les ordres de service seront signés par le Commissaire général ; leur exécution aura lieu par l'entremise des chefs de service du Commissariat chargés de s'entendre, à cet effet, avec l'officier de paix et les inspecteurs.

II. — SERVICE DES INSTALLATIONS.

ART. 3. — Du 20 juin au 31 juillet 1881, c'est-à-dire pendant la période des travaux d'installation, des agents de police seront placés aux portes n°s 4, 6 et 10.

Ils auront pour consigne d'interdire l'entrée des personnes qui ne seront pas munies d'une carte rouge ou d'un permis d'entrée signé par le Commis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

saire général, par le secrétaire du Commissariat général ou par le chef du service des installations.

ART. 4. — Un agent du Commissariat général sera chargé de veiller à l'entrée, à la réception et au contrôle des colis amenés au palais des Champs-Élysées.

ART. 5. — L'entrée des ouvriers aura lieu ordinairement de 6 heures du matin à 7 heures du soir.

Des ordres de services spéciaux régleront les travaux du soir et de la nuit s'il y a lieu.

L'entrée des colis aura lieu aux mêmes heures.

ART. 6. — Les inspecteurs du Commissariat général se partageront chaque jour la surveillance des travaux d'installation du rez-de-chaussée et du premier étage du palais des Champs-Élysées. — Ils auront sous leurs ordres chacun trois brigadiers et une brigade de gardiens.

ART. 7. — Les gardiens choisis en dehors du personnel attaché au Salon de 1881 entreront en fonctions le 1er juillet.

Les gardiens choisis parmi ceux qui font partie du personnel du Salon de 1881 entreront en fonctions au fur et à mesure qu'ils seront rendus libres. — A partir du 10 juillet, ils devront ne plus appartenir qu'au Commissariat général.

ART. 8. — Le chef du service des installations remettra aux inspecteurs des plans du palais avec le détail des installations et réglera l'emploi du personnel conformément aux instructions du Commissaire général.

ART. 9. — Le travail sur les chantiers des travaux d'installation commencera à 7 heures du matin et sera terminé à 7 heures du soir. Une heure et demie sera accordée dans l'intervalle pour le déjeuner. Les inspecteurs régleront les heures du déjeuner de façon qu'une partie du personnel soit toujours présente.

Des appels seront faits par leurs soins.

ART. 10. — Le travail supplémentaire sera réglé à raison de 0 fr. 50 l'heure de 7 heures du soir à minuit et à raison de 1 franc par heure après minuit.

ART. 11. — L'entrepreneur général de la manutention pourra, d'après les termes de son contrat, employer le personnel disponible du Commissariat général. Il devra demander aux inspecteurs les hommes dont il aura besoin. Les inspecteurs prendront attachement des heures pendant lesquelles le personnel disponible du Commissariat général aura été employé chaque jour par ledit entrepreneur.

Les brigadiers ne pourront jamais être mis au service de l'entrepreneur de la manutention.

ART. 12. — Un rapport sommaire, rédigé par les inspecteurs et contresigné par le chef du service des installations, sera adressé, chaque jour, au Commissaire général.

III. — SERVICE DE L'EXPOSITION.

ART. 13. — Le service de la police aux portes et dans l'enceinte de l'Exposition sera composé ainsi qu'il suit :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De 7 heures 45 du matin à 11 heures 45 du matin.

2 sous-brigadiers,
20 agents,
2 inspecteurs de la sûreté.

De 11 heures 45 du matin à 6 heures et demie du soir.

1 brigadier,
4 sous-brigadiers,
43 agents,
2 inspecteurs de la sûreté.

De 7 heures et demie du soir à la fermeture.

1 brigadier,
4 sous-brigadiers,
43 agents,
2 agents de la sûreté.

Un service supplémentaire pourra être organisé les dimanches et jours de fêtes.

ART. 14. — Le personnel des gardiens du Commissariat général sera composé ainsi qu'il suit :

Brigadiers : 6.
Gardiens : 48.
Préposés aux tourniquets : 16.

Les préposés aux tourniquets entreront en fonctions à partir du 1er août.

ART. 15. — Les gardiens seront divisés en deux brigades de 2 brigadiers et de 24 hommes.

Les préposés aux tourniquets en deux brigades de 1 brigadier et 8 hommes.

Les brigades prendront, à tour de rôle, le service de la surveillance et des tourniquets.

Les brigadiers alterneront le service de 7 heures du matin à midi, de midi à 6 heures et demie du soir et de 6 heures et demie du soir à 11 heures et demie. Le nettoyage des salles sera fait par les brigades de service de 7 heures du matin à 8 heures et demie, heure d'ouverture du matin et de 6 heures et demie du soir à 8 heures, heure d'ouverture du soir.

Les dimanches et jours de fêtes, les gardiens pourront être requis pour toute prolongation ou toute augmentation de service.

ART. 16. — Les inspecteurs s'entendront avec le secrétaire du Commissariat général pour la division de leur service.

ART. 17. — Le secrétaire du Commissariat général s'entendra avec les inspecteurs pour la stricte exécution du règlement des entrées gratuites et payantes qui sera publié ultérieurement.

ART. 18. — Le secrétaire du Commissariat général s'entendra avec l'officier de paix et les inspecteurs, afin de désigner les portes et les zones de surveil-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lance des agents de police et des gardiens pour chaque période de la journée et pour la soirée.

ART. 19. — Tout gardien ou préposé aux tourniquets qui manquera à un appel sans excuse valable subira une amende de 1 franc. Celui qui favorisera une entrée illicite ou commettra une fraude quelconque sera immédiatement révoqué et subira la perte de ses appointements du mois courant.

ART. 20. — Les brigadiers, les gardiens et les préposés aux tourniquets recevront une tenue d'uniforme et des vêtements de travail. Tout agent qui sera resté en fonctions jusqu'à la clôture de l'Exposition deviendra propriétaire de ses vêtements.

Tout gardien révoqué pour un motif quelconque sera rendu responsable de la détérioration de ses vêtements d'uniforme et de travail.

Les inspecteurs veilleront à la bonne tenue des gardiens et des préposés.

ART. 21. — Le secrétaire du Commissariat général et le chef du service des installations seront chargés de l'exécution du présent règlement chacun en ce qui le concerne.

Paris, le 20 juin 1881.

Le Commissaire général,

GEORGES BERGER.

PIÈCE N° 12

RÈGLEMENT DES ENTRÉES

I. — DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

ARTICLE PREMIER. — L'Exposition internationale d'électricité sera ouverte du 1er août au 15 novembre 1881.

ART. 2. — Les locaux de l'Exposition seront ouverts aux heures ci-après désignées et les prix d'entrée seront fixés ainsi qu'il suit :

1° *Pendant les jours de la semaine :*

Matinée et journée, de 8 heures et demie du matin à six heures. .	1 fr. 00
Soir, de 8 heures à 11 heures.	1 50

2° *Le dimanche :*

Matinée et journée, de 8 heures du matin à six heures	0 fr. 50
Soir, de 8 heures à 11 heures	1 00

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ART. 3. — Les entrées payantes auront lieu par les portes n° II et n° III du pavillon central nord, pour les personnes qui arriveront à pied ou en voiture et par la porte n° VI du pavillon central est, pour les personnes qui seront amenées par le tramway électrique établi entre la place de la Concorde et le palais des Champs-Élysées.

ART. 4. — L'entrée des porteurs de cartes permanentes ou de laissez-passer d'un jour aura lieu par la porte n° I du pavillon central nord, pour les personnes qui viendront à pied ou en voiture et par la porte n° VI du pavillon central est, pour les personnes qui seront amenées par le tramway électrique.

ART. 5. — Les entrées cesseront une demi-heure avant les heures fixées pour la fermeture de la journée et pour celle du soir.

ART. 6. — La sortie ordinaire des visiteurs aura lieu par la porte n° V du pavillon nord-est et par la porte n° XI du pavillon nord-ouest.

La sortie des visiteurs qui prendront le tramway électrique aura lieu par la porte n° VI du pavillon central est.

ART. 7. — En cas d'affluence, la grande porte du pavillon central nord pourra être ouverte pour la sortie, une demi-heure avant les heures réglementaires de la fermeture.

ART. 8. — Le moment de la fermeture des portes sera annoncé à haute voix dans la grande nef et dans les salles cinq minutes à l'avance et l'évacuation du public devra commencer immédiatement.

II. — ENTRÉES PAR TOURNIQUETS.

ART. 9. — Deux tourniquets affectés aux entrées payantes seront placés à chacune des portes n° II et n° III du pavillon central nord. Les tourniquets de la porte n° III fonctionneront les jours de semaine et le dimanche, de 8 heures et demie et de 8 heures du matin à 5 heures et demie de l'après-midi, et de 8 heures à 10 heures et demie du soir.

Les tourniquets de la porte n° II fonctionneront les jours de semaine et le dimanche de midi à 5 heures et demie de l'après-midi et de 8 heures à 10 heures et demie du soir.

ART. 10. — Un tourniquet affecté aux entrées avec cartes permanentes et avec laissez-passer d'un jour, sera placé à la porte n° I du pavillon central nord et fonctionnera les jours de semaine et le dimanche de 8 heures et demie et de 8 heures du matin à 5 heures et demie de l'après-midi et de 8 heures à 10 heures et demie du soir.

Les laissez-passer d'un jour seront remis à l'entrée.

ART. 11. — Le pointage des compteurs des tourniquets de ces différentes portes sera fait par l'inspecteur et le brigadier de service à midi, à 5 heures et demie, et à 10 heures et demie du soir, et les préposés contrôleurs qui quitteront le service à ces heures apporteront immédiatement leurs boîtes dans les bureaux du Commissariat général.

III. — ENTRÉES DES VISITEURS AMENÉS PAR LE TRAMWAY ÉLECTRIQUE.

ART. 12. — Le prix du parcours d'aller entre la place de la Concorde et le palais des Champs-Élysées et celui du parcours de retour entre le palais des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Champs-Élysées et la place de la Concorde sont fixés chacun à 0 fr. 25 par personne.

ART. 13. — La gratuité ne sera jamais accordée et il ne sera pas créé de billets d'aller et retour.

ART. 14. — A chacune des gares extrêmes de la ligne du tramway seront établis des bureaux de billets pour les voyageurs partants et des billets de contrôle pour les voyageurs arrivants.

ART. 15. — Le bureau de distribution de la place de la Concorde donnera :

I. — *La semaine :*

1° *Journée; de 8 heures et demie à 5 heures et demie :*

Des billets d'aller de 1 fr. 25 (bleu foncé), donnant droit au parcours et à l'entrée dans l'Exposition.

Des billets d'aller, de 0 fr. 25 (vert barré), donnant au droit au parcours, destinés aux porteurs de cartes permanentes ou de laissez-passer d'un jour.

2° *Soirée; de 8 heures à 10 heures et demie :*

Des billets d'aller de 1 fr. 75 (bleu clair), donnant droit au parcours et à l'entrée dans l'Exposition.

Des billets d'aller de 0 fr. 25 (vert barré), donnant droit au parcours, destinés aux porteurs de cartes permanentes ou de laissez-passer d'un jour.

II. — *Le dimanche :*

1° *Journée; de 8 heures à 5 heures et demie :*

Des billets d'aller de 0 fr. 75 (rouge), donnant droit au parcours et à l'entrée dans l'Exposition.

Des billets d'aller de 0 fr. 25 (vert barré), donnant droit au parcours, destinés aux porteurs de cartes permanentes et de laissez-passer d'un jour.

2° *Soirée :*

Des billets d'aller de 1 fr. 25 (rose), donnant droit au parcours et à l'entrée dans l'Exposition.

Des billets d'aller de 0 fr. 25 (vert barré), donnant droit au parcours, pour les porteurs de cartes permanentes et de laissez-passer d'un d'un jour.

Les billets seront poinçonnés à l'entrée dans la voiture et remis au préposé contrôleur de service à l'entrée de l'Exposition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les cartes permanentes seront présentées au départ lors de la prise du billet de parcours et à l'arrivée lors de la remise de celui-ci.

Les laissez-passer d'un jour seront présentés au départ lors de la prise du billet de parcours et remis en même temps que celui-ci, à l'arrivée.

ART. 16. — Le bureau distributeur du palais des Champs-Élysées donnera des billets de parcours (retour) au prix invariable de 0 fr. 25 (chamois), qui seront poinçonnés à l'entrée dans la voiture et remis, à l'arrivée à la place de la Concorde, au préposé contrôleur de service.

IV. — ENTRÉE PAR LA PORTE DU MUSÉE DES ARTS DÉCORATIFS. ENTRÉE AUX CONFÉRENCES.

ART. 17. — Une porte de communication ouverte entre les salles du Musée des arts décoratifs et la salle n° 24 de l'Exposition internationale d'électricité sera pourvue d'un tourniquet qui fonctionnera tous les jours de midi à 5 heures et demie. Le prix d'entrée sera de 1 franc la semaine et de 0 fr. 50 le dimanche.

ART. 18. — Pendant les soirées où des conférences seront données dans la salle du 1er étage n° D, un tourniquet fonctionnera à l'une des portes de cette salle et les visiteurs seront admis moyennant 0 fr. 50[1].

V. — SERVICE DES PRÉPOSÉS CONTRÔLEURS.

ART. 19. — Les préposés contrôleurs prendront le service à tour de rôle de 8 heures du matin à midi, de midi à 5 heures et demie de l'après-midi, et de 8 heures à 11 heures du soir, à raison de un homme par tourniquet ou par guichet de contrôle, suivant leurs numéros d'ordre et le roulement établi par le tableau du service hebdomadaire (modèle joint).

ART. 20. — Deux préposés contrôleurs seront de service, à tour de rôle suivant le tableau de roulement, dans les bureaux du Commissariat général pour compter, sous la surveillance des agents de la comptabilité :

Le matin, de 8 heures à midi, le contenu des boîtes de tourniquets de la soirée de la veille.

De midi à 6 heures, le contenu des boîtes de la matinée du jour.

De 7 heures et demie à 11 heures du soir, le contenu des boîtes de la journée.

Ces contrôleurs seront appelés au besoin à remplacer ceux de service, aux mêmes heures, aux tourniquets ou aux guichets, dans le cas où ceux-ci seraient obligés de quitter leurs postes pour un motif quelconque.

ART. 21. — A chaque tourniquet et à chaque guichet seront placés des tableaux indicateurs des prix d'entrée, des cartes, des laissez-passer et des billets valables pour les entrées gratuites.

ART. 22. — Le Commissaire général, le secrétaire du Commissariat général, le chef et le sous-chef du service des installations seront seuls autorisés à

1. Par décision ultérieure, l'entrée aux conférences eut lieu gratuitement pendant toute la durée de l'Exposition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faire entrer, quand les besoins du service l'exigeront, les personnes accompagnées par eux.

ART. 23. — Le secrétaire du Commissariat général est chargé de l'exécution du présent règlement en tenant compte des prescriptions spéciales du titre III du règlement concernant la police et la surveillance.

Paris, le 20 juin 1881.

Le Commissaire général,

GEORGES BERGER.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II

JURY INTERNATIONAL DES RÉCOMPENSES

Le 22 août 1881, le Ministre des Postes et des télégraphes adressa la lettre suivante aux commissaires étrangers :

MONSIEUR LE COMMISSAIRE GÉNÉRAL,

J'ai l'honneur de vous informer que la Commission d'organisation de l'Exposition internationale d'électricité, consultée par moi au sujet de la constitution du jury international des récompenses, a émis les propositions suivantes :

Le Jury international des récompenses serait composé de cent membres au minimum, dont cinquante pour les nations étrangères et cinquante pour la France. Ce nombre pourrait être élevé jusqu'à cent cinquante en conservant la même proportion de membres étrangers et de membres français.

Les membres français du Jury international des récompenses seraient nommés par le Gouvernement.

Chaque nation étrangère aurait droit à un nombre de jurés étrangers proportionnel au nombre de ses exposants, non compris ceux de la classe 16 ; étant entendu que chaque nation aurait au moins un juré quel que soit le nombre de ses exposants.

Le Jury international des récompenses, réuni en assemblée plénière, réglerait l'ordre de ses travaux ; il constituerait ses bureaux et apprécierait les compétences spéciales de ses membres pour déléguer ceux-ci à l'examen des objets de chaque classe. Il ne paraît donc pas nécessaire que chaque juré soit affecté d'avance à un groupe ou à une classe. Les gouvernements et les commissariats étrangers devraient seulement avoir la précaution de choisir leurs jurés en tenant compte des parties de leurs expositions nationales qui auront surtout besoin d'être recommandées à l'attention et à l'étude du jury.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Je vous serai obligé de vouloir bien examiner ces propositions et de me faire part de vos observations aussi rapidement que possible.

Agréez, Monsieur le Commissaire général, l'assurance de ma haute considération.

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,

AD. COCHERY.

En tenant compte des réponses envoyées par les Commissaires étrangers, le Commissariat général français se trouva en mesure de rédiger le réglement suivant qui fut ultérieurement adopté par le Jury.

JURY INTERNATIONAL DES RÉCOMPENSES

RÈGLEMENT

ARTICLE PREMIER. — Le Jury international des récompenses est composé de 150 jurés ; 75 pour la France et 75 pour les pays étrangers prenant part à l'Exposition internationale d'électricité.

ART. 2. — Les membres français du Jury international des récompenses sont nommés par le Gouvernement.

ART. 3. — Les membres étrangers du Jury international des récompenses sont répartis ainsi qu'il suit entre les pays prenant part à l'Exposition :

Belgique, 11.
Allemagne, 10.
Angleterre, 10.
États-Unis de l'Amérique du Nord, 7.
Italie, 6.
Autriche, 5.
Russie, 5.
Suède, 5.
Suisse, 4.
Espagne, 3.
Norvège, 3.
Pays-Bas, 3.
Danemark, 1.
Hongrie, 1.
Japon, 1.

ART. 4. — Le Jury international, réuni en assemblée plénière, nomme son bureau et règle l'ordre de ses travaux en déléguant le nombre voulu de ses membres à l'examen des objets de chaque groupe.

ART. 5. — Les travaux du Jury international des récompenses commenceront le 26 septembre 1881 et seront terminés le 26 octobre suivant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ART. 6. — Un rapporteur est nommé pour chaque groupe. Celui-ci devra avoir fait le dépôt de son rapport entre les mains du Président du Jury le 25 octobre au plus tard.

ART. 7. — Le Jury international des récompenses dispose de:

50 médailles d'or;
200 médailles d'argent;
500 médailles de bronze;

Chaque médaille sera accompagnée d'un diplôme au nom du titulaire de la médaille.

ART. 8. — Le Jury international pourra décerner exceptionnellement un certain nombre de diplômes d'honneur.

ART. 9. — Le Commissaire général de l'Exposition internationale d'électricité est chargé de la partie administrative du Jury.

Les Jurés dont les noms suivent furent désignés pour chaque pays:

Allemagne (Empire d').

MM. le Dr DE BEETZ, professeur à Munich.
le Dr BRIX, ingénieur des Télégraphes, à Berlin.
le Dr CLAUSIUS, conseiller intime, à Bonn.
HEGENER, directeur à Cologne.
le Dr KUNDT, professeur à Strasbourg.
le Dr PAALZOW, professeur à l'École polytechnique supérieure, à Berlin.
le Dr VOLLER, directeur de l'Institut de physique, à Hambourg.
le Dr WARBURG, professeur à Fribourg en Brisgau.
le Dr WIEDEMANN, professeur, conseiller aulique, à Leipzig.
le Dr WULLNER, professeur à Aix-la-Chapelle.

Autriche (Empire d').

MM. le baron Joseph ENGERTH, ingénieur civil.
KAREIS, ingénieur des Télégraphes.
DE LEBER, commissaire d'Autriche à l'Exposition internationale d'électricité.
le Dr MILITZER, conseiller de section au ministère Impérial et Royal du commerce, membre correspondant de l'Académie des sciences de Vienne.
PONTZEN (E.), ingénieur civil.

Belgique (Royaume de).

MM. BANNEUX, ingénieur en chef des Télégraphes de l'État, membre de la Commission belge de l'Exposition d'électricité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Barlet, ingénieur en chef, chef du service de l'éclairage et du chauffage aux chemins de fer de l'État.
Belpaire, administrateur des chemins de fer de l'État.
Gody, architecte au département des travaux publics, membre secrétaire de la Commission belge de l'Exposition d'électricité, à Bruxelles.
Gody, capitaine d'artillerie, professeur de chimie appliquée à l'École de guerre.
Malevé, capitaine en premier du génie, commandant de la compagnie des télégraphistes de campagne.
Montigny, membre de l'Académie royale des sciences.
Pérard, professeur à l'Université de Liège.
Rommelaere, chimiste au Musée royal de l'industrie.
Rousseau, professeur à l'Université de Bruxelles et à l'École militaire.
Valerius, professeur à l'Université de Gand.

Danemark (Royaume de).

M. Lorentzen (V.), ingénieur des Télégraphes de l'État.

Espagne (Royaume d').

MM. Arantave (Enrique de), inspecteur général des Télégraphes de l'île de Cuba.
Montenegro (Adolfo), inspecteur des Télégraphes.
Urena (Justo), directeur des Télégraphes.

États-Unis de l'Amérique du Nord.

MM. Barker (George-F.), MD, MNAS, professeur de physique à l'Université de Pensylvanie.
Carhart (Henry-S.), professeur de physique à l'Université *Northwestern*.
Freeman (Frank-L.), inspecteur principal de la Section électrique de l'Office des brevets des États-Unis.
Goodwin (Charles-R.), constructeur à Paris.
Heap (David-P.), capitaine du génie à l'armée des États-Unis.
Mac Lean (T.-C.), lieutenant de la marine des États-Unis.
Rowland (H.-A.), Ph. D, MNAS, professeur de physique à l'Université de Johns Hopkins.

France.

MM. Teisserenc de Bort, sénateur, ancien ministre de l'Agriculture et du Commerce, président du Comité technique.
Berthelot, sénateur, membre de l'Institut, inspecteur général de l'Université, professeur au Collège de France.
Dupuy de Lôme, sénateur, membre de l'Institut.
Wurtz, sénateur, membre de l'Institut, président de l'Académie des sciences.
Bert (Paul), député, professeur à la Faculté des sciences de Paris.
Hervé-Mangon, député, membre de l'Institut.
Lesguillier, député, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur des Chemins de fer de l'État.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. BECQUEREL (Ed.), membre de l'Institut, professeur au Conservatoire des arts et métiers, professeur au Muséum d'histoire naturelle.
BERTRAND, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, professeur à l'École polytechnique et au Collège de France.
CAILLETET, membre correspondant de l'Institut.
CORNU, membre de l'Institut, professeur à l'École polytechnique.
DESAINS, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences de Paris.
DUMAS (J.-B), de l'Académie française, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.
FRÉMY, membre de l'Institut, professeur à l'École polytechnique, professeur au Muséum d'histoire naturelle.
FRIEDEL, membre de l'Institut.
JANSSEN, membre de l'Institut, membre du Bureau des longitudes, directeur de l'Observatoire d'astronomie physique de Meudon.
LOEWY, membre de l'Institut, membre du Bureau des longitudes.
MAREY, membre de l'Institut, professeur au Collège de France.
le comte DU MONCEL, membre de l'Institut.
le contre-amiral MOUCHEZ, membre de l'Institut, directeur de l'Observatoire de Paris.
le lieutenant-colonel PERRIER, membre de l'Institut.
TRESCA, membre de l'Institut, professeur au Conservatoire des arts et métiers.
ALLARD, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du service central des phares.
ANGOT, du Bureau central météorologique.
D'ARSONVAL, préparateur au Collège de France.
BANDERALI, ingénieur de la compagnie du chemin de fer du Nord.
BARON, inspecteur général au Ministère des Postes et des Télégraphes.
BERGON, administrateur, chargé du service technique au Ministère des Postes et des Télégraphes.
BERTIN-MOUROT, sous-directeur à l'École normale supérieure.
BICHAT, maître de conférences à la Faculté de médecine de Nancy.
BLAVIER, directeur-ingénieur des Télégraphes, directeur de l'École supérieure de télégraphie.
BONTEMPS, inspecteur-ingénieur, professeur à l'École supérieure de télégraphie.
BOUTY, professeur au Lycée Saint-Louis.
CAEL, ingénieur-inspecteur des Télégraphes.
CLÉRAC, ingénieur des Télégraphes.
CROVA, professeur de physique à la Faculté des sciences de Montpellier.
FERNET, inspecteur général de l'enseignement secondaire.
FORQUENOT, ingénieur de la traction à la compagnie du chemin de fer d'Orléans.
GARIEL, ingénieur des ponts et chaussées, agrégé de physique à la Faculté de médecine de Paris.
GAUSSIN, ingénieur hydrographe en chef.
GAVARRET, professeur de physique à la Faculté de médecine de Paris, inspecteur général de l'enseignement supérieur.
GERNEZ, professeur au Lycée Louis-le-Grand et à l'École centrale des arts et manufactures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. le colonel Goulier.
Guillebot de Nerville, inspecteur général des mines.
Joubert, secrétaire général de la Société française de physique, professeur au Collège Rollin.
le colonel Laussédat, directeur des études à l'École polytechnique, professeur au Conservatoire des arts et métiers.
Leblanc (Félix), professeur à l'École centrale des arts et manufactures.
Lecoeuvre, ingénieur civil, professeur à l'École centrale des arts et manufactures.
Le Roux, professeur de physique à l'École supérieure de pharmacie, répétiteur à l'École polytechnique.
Levy (Maurice), ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur suppléant au Collège de France.
Lippmann, maître de conférences à la Faculté des sciences de Paris.
Luuyt, ingénieur en chef des Mines.
de Luynes, professeur au Conservatoire des arts et métiers.
le colonel Mangin.
Marié, ingénieur en chef du matériel et de la traction à la compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
Marié-Davy, directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
Mascart, professeur au Collège de France, directeur du Bureau central météorologique.
Mathieu, capitaine de vaisseau.
Moutier, professeur de physique au Collège Sainte-Barbe.
Pellat, professeur au Lycée Louis-le-Grand.
Pollard, ingénieur des constructions navales.
Potier, ingénieur en chef des Mines, professeur à l'École polytechnique et à l'École des mines.
Quet, inspecteur général de l'enseignement secondaire.
Raynaud, inspecteur des Télégraphes, professeur à l'École supérieure de télégraphie.
Rochard, inspecteur général de la marine, membre de l'Académie de médecine.
le général baron de Saint-Cyr-Nugues, président de la Commission de télégraphie militaire.
Sartiaux, ingénieur en chef, adjoint à la compagnie du chemin de fer du Nord.
Ser, professeur à l'École centrale des arts et manufactures.
Terquem, professeur à la Faculté des sciences de Lille.
Troost, maître de Conférences à l'École normale supérieure.
Trotin, ingénieur, chef du service de la vérification et de la réception du matériel au Ministère des Postes et des Télégraphes.
Violle, professeur à la Faculté des sciences de Lyon.
Williot, chef du service technique du sous-directeur des travaux de Paris.
Wolf, astronome titulaire de l'Observatoire de Paris.

Grande-Bretagne et d'Irlande (Royaume-Uni de).

MM. le major Armstrong, R E.
Bidwell (Shelford).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. CRAMPTON, ingénieur civil.
CROOKES (W.), F R S.
le Dr DE LA RUE (Warren), DCL, Ph.D, FRS, correspondant de l'Institut (Académie des sciences), à Londres.
EVERETT (J.-D.), professeur, FRS, à Belfast (Irlande).
FORBES, ancien professeur de physique.
MOULTON (J.-F.), FRS, à Londres.
PREECE (W.-H.), FRS, électricien en chef de l'Administration des Télégraphes, à Londres.
STROH (A.), ancien constructeur mécanicien.

Hongrie (Royaume de).

M. le comte ZICHY (Théodore), secrétaire d'ambassade de S. M. I et R. Apostolique.

Italie (Royaume d').

MM. BOTTO (Antoine), capitaine du génie, représentant de l'Institut topographique militaire.
FERRARIS (Galileo), professeur de physique au Musée industriel de Turin.
FERRINI (Rinaldo), professeur de physique technologique à l'Institut technique supérieur de Milan.
ROÏTI (Antoine), professeur à l'Institut royal des études supérieures, à Florence.
ROSSETTI (François), professeur de physique à l'Université de Padoue.
UBICINI, directeur des Télégraphes du chemin de fer de l'Italie méridionale.

Japon (Empire du).

M. BECQUEREL (Henri), ingénieur des ponts et chaussées.

Norvège (Royaume de).

MM. le Dr BROCH (O.-J.), ancien ministre, professeur à l'Université de Christiania.
BUGGE (J.-U.-F.), inspecteur des Télégraphes.
KOREN (B.-J.-R.), capitaine de la marine norvégienne.

Pays-Bas (Royaume des).

MM. VAN KERKWIJK (J.-J.), membre des États généraux à la Haye.
COLETTE (J.-M.), chef du service des Télégraphes à la Haye.
VAN DER VEGTE (Z.), inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques.

Russie (Empire de).

MM. EGOROFF, professeur de physique à l'Université impériale de Varsovie.
OKSCHEWSKY (Thomas), ingénieur technologue de première classe, délégué

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par l'Expédition pour la fabrication des papiers de l'État, à Saint-Pétersbourg.

MM. RADIWANOWSKY, capitaine du génie.
STOLETOW (Alexandre), professeur de physique à l'Université impériale de Moscou, délégué de la Société impériale des Amis des Sciences naturelles et du Musée polytechnique de Moscou, conseiller d'État actuel.
WALBERG, général-major du génie.

Suède (Royaume de).

MM. DAHLANDER (G.-R.), professeur de physique à l'École polytechnique supérieure, à Stockholm.
EKERMANN (C.-F.), capitaine de la marine suédoise.
STAAFF (F.-N.), colonel, attaché militaire de l'ambassade de Suède et Norvège à Paris.
STORK (J.), directeur des Télégraphes des chemins de fer de l'État.
THALEN (T.-R.), professeur de physique à l'Université d'Upsala.

Suisse (Confédération).

MM. AMSLER, professeur à Schaffouse.
HAGENBACH, professeur à Bâle.
ROTHEN (Timothée), adjoint à la direction des Télégraphes à Berne.
WARTMANN, professeur à Genève.

Les membres français furent nommés par décret présidentiel instituant le Jury international des récompenses.

Les deux premières séances pleinières du Jury, dont les procès-verbaux sont ci-dessous, eurent lieu les 26 et 27 septembre 1881 :

PREMIÈRE SÉANCE. — 26 SEPTEMBRE 1881.

PRÉSIDENCE DE M. LE MINISTRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.

M. le Ministre ouvre la séance à deux heures dix minutes et indique en quelques mots quelles sont les conditions dans lesquelles va fonctionner le Jury. Celui-ci sera absolument maître de l'ordre de ses travaux y compris la constitution de son bureau qu'il y aura lieu de nommer, sans doute, dès cette première séance. Il rappelle que, seuls, les membres du Jury ont droit d'assister aux séances et de prendre part aux délibérations ; les Commissaires étrangers peuvent assister aux séances plénières, mais sans prendre part aux délibérations.

M. le Commissaire général lit le décret qui a institué le Jury ainsi que la liste des jurés français et des jurés étrangers.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. le Ministre donne lecture d'un projet de règlement qui a été préparé par l'administration et sur lequel le Jury sera appelé à voter ultérieurement.

Il prie l'assemblée de procéder à la constitution du bureau.

M. Van Kerkwijk présente la liste suivante qui est votée par acclamation.

Président,	M.	Teisserenc de Bort (France).
Vice-présidents,	MM.	Barker (États-Unis).
		Belpaire (Belgique).
		Rossetti (Italie).
		Warren de la Rue (Grande-Bretagne).
		Wiedemann (Allemagne).
Rapporteur général,	M.	Mascart (France).

M. le Ministre annonce que les élèves ingénieurs des télégraphes seront mis la disposition du Jury pour remplir les fonctions de secrétaires.

M. le Ministre invite les membres qui viennent d'être nommés à prendre place au bureau.

PRÉSIDENCE DE M. TEISSERENC DE BORT.

M. Teisserenc de Bort remercie les membres du Jury de l'honneur qu'ils lui ont fait en le désignant pour diriger leurs travaux et propose de passer immédiatement à la discussion du projet de règlement qui a été lu précédemment.

L'assemblée adopte sans modifications le projet de règlement proposé.

Le Président rappelle qu'après accord avec M. le Ministre et s'il est jugé indispensable par le Jury, le nombre des médailles pourra être augmenté dans une faible proportion.

Le Président propose et l'assemblée accepte de passer immédiatement à la répartition des membres du Jury en divers groupes pour faciliter les travaux.

M. le Commissaire général, M. le Rapporteur général et plusieurs membres présentent des projets de répartition sur lesquels commence la discussion.

L'assemblée, consultée à diverses reprises sur plusieurs points, décide successivement :

Que le groupement des Jurés se fera conformément aux divisions du Catalogue ;

Qu'il convient d'établir des groupes comprenant plusieurs classes ;

Que ce groupement sera décidé immédiatement et que son étude ne sera pas renvoyée à une Commission.

Enfin l'assemblée, après une discussion approfondie, vote le groupement suivant :

1er	groupe,	classes 3, 8 et 9.
2e	groupe,	classes 4, 6 et 7.
3e	groupe,	classes 2, 10 et 11.
4e	groupe,	classes 1 et 5.
5e	groupe,	classes 12 et 13.
6e	groupe,	classe 14.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il est entendu que les divers livres et ouvrages compris dans la classe 15 seront examinés par les groupes auxquels ils se rattachent par la nature des sujets traités.

A la suite d'une discussion soulevée par diverses propositions qui sont présentées, l'assemblée adopte les propositions suivantes :

1° Les membres du Jury n'ont pas le droit de s'inscrire dans plusieurs sections;

2° Les Jurys des différents groupes peuvent appeler dans leur sein un juré d'un autre groupe, à l'occasion d'un sujet déterminé : le juré ainsi désigné aura voix délibérative pour les décisions à prendre sur ce sujet.

Sur la proposition de M. le Président, l'assemblée remet à une séance ultérieure l'étude des dispositions à adopter pour établir les listes de propositions de récompenses.

Afin de pouvoir répartir les membres du Jury dans les différents groupes, il est procédé à un appel nominal dans lequel chaque membre indique le groupe ou les groupes auxquels il désire appartenir.

Le bureau est chargé de préparer la répartition qui sera ultérieurement communiquée au Jury.

La séance est levée à cinq heures et demie.

DEUXIÈME SÉANCE. — 27 SEPTEMBRE 1881.

PRÉSIDENCE DE M. TEISSERENC DE BORT.

Le procès-verbal de la précédente séance est lu et adopté.

M. Stoletow demande si, dans le cas d'une erreur dans le catalogue, il faudra maintenir l'objet à la classe où il figure ou le réunir aux objets similaires.

M. le Président indique que, après avoir étudié la répartition à faire et à l'unanimité, le bureau propose à l'assemblée de revenir sur un vote qu'elle a émis hier et de décider que la classe 14 sera réunie au 1er groupe.

MM. Mascart, Van Kerkwijk, Tresca, Marié et Warren de la Rue prennent successivement la parole sur cette question qui est ensuite mise aux voix et adoptée.

M. le Commissaire général donne alors lecture du projet de répartition qui a été préparé par le bureau et dont voici le résumé général :

1er	groupe	399	exposants,	53	jurés,	dont	26	étrangers	et	27	français.
2e	—	430	—	38	—	—	19	—		19	—
3e	—	230	—	21	—	—	10	—		11	—
4e	—	86	—	16	—	—	8	—		8	—
5e	—	353	—	20	—	—	8	—		10	—
			Total. . . .	148							

Lecture est faite ensuite de la liste nominale qui est adoptée, sauf une modification : un membre étranger passe du 3e groupe dans le 1er. Il est entendu, d'autre part, que les deux membres étrangers non encore désignés seront classés dans le 3e groupe lorsque leur nomination sera faite.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. le Président pense que les divers groupes voudront constituer des bureaux et annonce que les membres du bureau général demandent à être exclus de ces nominations. Il croit que, pour hâter les opérations, il conviendrait de commencer dès aujourd'hui les séances de groupes et espère que les rapports pourront être déposés du 15 au 20 octobre.

Il propose et l'assemblée adopte que dans le cas où un juré serait empêché de prendre part aux opérations du Jury, il soit remplacé par un autre membre qui serait désigné par le Gouvernement pour la France, et qui, pour les pays étrangers, serait le Commissaire ou une personne désignée par lui.

Sur une remarque faite par M. Botto (Italie), et relative à la question de savoir s'il conviendrait de prendre en considération les appareils arrivés à l'Exposition depuis la publication du catalogue et après des observations faites par divers membres l'assemblée, il est décidé que dans chaque cas le Jury statuera après avoir pris auprès du Commissaire général tous les renseignements nécessaires.

Il est entendu que les jurés seront libres d'assister aux expériences exécutées par un autre groupe, mais sans avoir voix délibérative ni consultative.

Il est décidé enfin que le Jury sera juge, dans tous les cas, de savoir s'il convient ou non de tenir compte des prix indiqués pour les appareils ou les produits exposés, de même que de savoir s'il faut attribuer la récompense à l'inventeur, au fabricant, etc.

La séance est levée à trois heures et demie.

Les membres du Jury furent répartis ainsi qu'il suit, conformément à la décision prise que les objets soumis à l'examen du Jury, tout en restant catalogués dans les classes adoptées pour la classification générale, seraient divisés en cinq groupes nouveaux formant une répartition spéciale de ces classes.

BUREAU DU JURY INTERNATIONAL DES RÉCOMPENSES

Président.

M. Teisserenc de Bort, sénateur, ancien ministre. — France.

Vice-présidents.

MM. Barker (Georges-F.), MD, MNAS, professeur de physique à l'Université de Pensylvanie. — États-Unis de l'Amérique du Nord.

Belpaire, administrateur des chemins de fer de l'État. — Belgique.

Rossetti (François), professeur de physique à l'Université de Padoue. — Italie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. le Dr De la Rue (Warren), DCL, Ph.D, FRS, correspondant de l'Institut (Académie des sciences), à Londres. — Grande-Bretagne.
le Dr Wiedemann, professeur, conseiller aulique à Leipzig. — Allemagne.

Rapporteur général.

M. Mascart, professeur au Collège de France, directeur du Bureau central météorologique. — France.

RÉPARTITION

DES MEMBRES DU JURY INTERNATIONAL DES RÉCOMPENSES EN CINQ GROUPES

Groupe I. — Classes 3, 8, 9 et 14.

Président.

M. Dumas (J.-B.), membre de l'Académie française, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences. — France.

Vice-présidents.

MM. le Dr Clausius, conseiller intime à Bonn. — Allemagne.
Van Kerkwijk (J.-J.), membre des États généraux à la Haye. — Pays-Bas.

Rapporteur.

M. Potier, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École polytechnique et à l'École des mines. — France.

Membres.

Allemagne. — M. Hegener, directeur à Cologne.
M. le Dr Kundt, professeur à Strasbourg.

Autriche. — M. de Leber, commissaire d'Autriche à l'Exposition internationale d'électricité.

Belgique. — M. Barlet, ingénieur en chef, chef du service de l'éclairage et du chauffage aux chemins de fer de l'État.
M. Belpaire, administrateur des chemins de fer de l'État.

Danemark. — M. Lorentzen (V.), ingénieur des télégraphes de l'État.

États-Unis de l'Amérique du Nord. — M. Barker (George-F.), MD, MNAS, professeur de physique à l'Université de Pensylvanie.
MM. Goodwin (Charles-R.), constructeur à Paris.
Rowland (H.-A.), Ph.D, MNAS, professeur de physique à l'Université de Johns Hopkins.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

France. — M. Teisserenc de Bort, sénateur, ancien ministre de l'Agriculture et du Commerce, président du Comité technique.

MM. Dupuy de Lôme, sénateur, membre de l'Institut.
Hervé-Mangon, député, membre de l'Institut.
Lesguillier, député, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur des chemins de fer de l'État.
Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, professeur à l'École polytechnique et au Collège de France.
Cornu, membre de l'Institut, professeur à l'École polytechnique.
Frémy, membre de l'Institut, professeur à l'École polytechnique, professeur au Muséum d'histoire naturelle.
Tresca, membre de l'Institut, professeur au Conservatoire des arts et métiers.
Allard, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du service central des phares.
Bertin-Mourot, sous-directeur à l'École normale supérieure.
Bouty, professeur au Lycée Saint-Louis.
Crova, professeur de physique à la Faculté des sciences de Montpellier.
Forquenot, ingénieur de la traction à la compagnie du chemin de fer d'Orléans.
Joubert, secrétaire général de la Société française de physique, professeur au Collège Rollin.
Le Blanc (Félix), professeur à l'École centrale des arts et manufactures.
Lecoeuvre, ingénieur civil, professeur à l'École centrale des arts et manufactures.
Le Roux, professeur de physique à l'École supérieure de pharmacie, répétiteur à l'École polytechnique.
Lévy (Maurice), ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur suppléant au Collège de France.
Luuyt, ingénieur en chef des Mines.
le colonel Mangin.
Marié, ingénieur en chef du matériel et de la traction à la compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
Mathieu, capitaine de vaisseau.
Ser, professeur à l'École centrale des arts et manufactures.
Terquem, professeur à la Faculté des sciences de Lille.
Violle, professeur à la Faculté des sciences de Lyon.

Grande-Bretagne. — M. le major Armstrong, RE.

MM. Crampton, ingénieur civil.
Crookes (W.), FRS.
Everett (J.-D.), professeur, FRS, à Belfast (Irlande).
Forbes, ancien professeur de physique.

Italie. — M. Botto (Antoine), capitaine de génie, représentant de l'Institut topographique militaire.

MM. Ferraris (Galileo), professeur de physique au Musée industriel de Turin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Ferrini (Rinaldo), professeur de physique technologique à l'Institut technique supérieur de Milan.
Rossetti (François), professeur de physique à l'Université de Padoue.

Norvège. — M. Koren (B.-J.-R.), capitaine de la marine norvégienne.

Russie. — M. Egoroff, professeur de physique à l'Université impériale de Varsovie.
M. Radiwanowski, capitaine du génie.

Suède. — M. Dahlander (G.-R.), professeur de physique à l'École polytechnique supérieure, à Stockholm.
M. Ekermann (C.-F.), capitaine de la marine suédoise.

Suisse. — M. Amsler, professeur à Schaffouse.
M. Hagenbach, professeur à Bâle.

Groupe II. — Classes 4, 6 et 7.

Président.

M. Becquerel (Ed.), membre de l'Institut, professeur au Conservatoire des arts et métiers, professeur au Muséum d'histoire naturelle. — France.

Vice-présidents.

MM. le Dr Brix, ingénieur des Télégraphes à Berlin. — Allemagne.
Preece (W.-H.), FRS, électricien en chef de l'Administration des télégraphes à Londres. — Grande-Bretagne.

Rapporteur.

M. Blavier, directeur-ingénieur des Télégraphes, directeur de l'École supérieure de télégraphie. — France.

Membres.

Autriche. — M. Kareis, ingénieur des Télégraphes.
M. Pontzen (E.), ingénieur civil.

Belgique. — M. Banneux, ingénieur en chef des télégraphes de l'État, membre de la Commission belge de l'Exposition d'électricité.
MM. Malevé, capitaine en premier du génie, commandant de la compagnie des télégraphistes de campagne.
Rousseau, professeur à l'Université de Bruxelles et à l'École militaire.

Espagne. — M. Arantave (Enrique d'), inspecteur général des Télégraphes de l'île de Cuba.
MM. Montenegro (Adolpho), inspecteur des Télégraphes.
Urena (Justo), directeur des Télégraphes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

États-Unis de l'Amérique du Nord. — M. CARHART (Henry-S.), professeur de physique à l'Université *Northwestern*.

M. FREEMANN (Franck-L.), inspecteur principal de la section électrique de l'Office des brevets des États-Unis.

France. — M. JANSSEN, membre de l'Institut, membre du Bureau des longitudes, directeur de l'Observatoire d'astronomie physique de Meudon.

MM. BANDERALI, ingénieur, chargé du service central du matériel du chemin de fer du Nord.

BARON, inspecteur général des postes et des télégraphes.

BERGON, administrateur, chargé du service technique au Ministère des postes et des télégraphes.

BONTEMPS, inspecteur-ingénieur, professeur à l'École supérieure de télégraphie.

CAEL, ingénieur-inspecteur des Télégraphes.

CLÉRAC, ingénieur des Télégraphes.

FERNET, inspecteur général de l'enseignement secondaire.

GAVARRET, professeur de physique à la Faculté de médecine de Paris, inspecteur général de l'enseignement supérieur.

GUILLEBOT DE NERVILLE, inspecteur général des mines.

le colonel LAUSSÉDAT, directeur des études à l'École polytechnique, professeur au Conservatoire des arts et métiers.

MASCART, professeur au Collège de France, directeur du Bureau central météorologique.

POLLARD, ingénieur des constructions navales.

RAYNAUD, inspecteur des Télégraphes, professeur à l'École supérieure de télégraphie.

le général baron DE SAINT-CYR NUGUES, président de la Commission de télégraphie militaire.

SARTIAUX, ingénieur, sous-chef de l'exploitation à la compagnie des chemins de fer du Nord.

TROTIN, ingénieur, chef du service de la vérification et de la réception du matériel au Ministère des Postes et des Télégraphes.

Grande-Bretagne. — M. BIDWELL (Shelford).

Italie. — M. UBICINI, chef du service télégraphique des chemins de fer de l'Italie méridionale.

Norvège. — BUGGE (J.-U.-F.), inspecteur des Télégraphes.

Pays-Bas. — M. COLETTE (J.-M.), chef du service des Télégraphes à la Haye.

Suède. — M. STAAFF (F.-N.), colonel, attaché militaire de l'ambassade de Suède et Norvège à Paris.

M. STORK (J.), directeur des Télégraphes des chemins de fer de l'État.

Suisse. — M. ROTHEN (Timothée), adjoint à la direction des Télégraphes, à Berne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

GROUPE III. — CLASSES 2, 10 ET 11.

Président.

M. le Dr DE BEETZ, professeur à Munich. — Allemagne.

Vice-président.

M. WARTMANN, professeur à Genève. — Suisse.

Rapporteur.

M. GARIEL, ingénieur des ponts et chaussées, agrégé de physique à la Faculté de médecine de Paris. — France.

Membres.

Allemagne. — M. le Dr VOLLER, directeur de l'Institut de physique à Hambourg.
M. le Dr WIEDEMANN, professeur, conseiller aulique, à Leipzig.

Belgique. — M. ROMMELAERE, chimiste au Musée royal de l'industrie.
M. VALERIUS, professeur à l'université de Gand.

France. — M. BERTHELOT, sénateur, membre de l'Institut, inspecteur général de l'Université, professeur au Collège de France.
MM. WURTZ, sénateur, membre de l'Institut, président de l'Académie des sciences.
DEBRAY, membre de l'Institut.
MAREY, membre de l'Institut, professeur au Collège de France.
CAILLETET, correspondant de l'Institut.
D'ARSONVAL, préparateur au Collège de France.
GERNEZ, professur au Lycée Louis-le-Grand et à l'École centrale des arts et manufactures.
DE LUYNES, professeur au Conservatoire des arts et métiers.
ROCHARD, inspecteur général de la marine, membre de l'Académie de médecine.
TROOST, professeur à la Faculté des sciences de Paris.

Japon. — M. BECQUEREL (Henri), ingénieur des ponts et chaussées.

Russie. — M. OKSCHEWSKY (Thomas), ingénieur technologue de première classe, délégué par l'expédition pour la fabrication des papiers de l'État, à Saint-Pétersbourg.

Suède. — M. THALEN (T.-R.), professeur de physique à l'Université d'Upsala.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

GROUPE IV. — CLASSES 1 ET 5.

Président.

M. le Dr BROCH (O.-J.), ancien ministre, professeur à l'Université de Christiania. — Norvège.

Vice-présidents.

MM. QUET, inspecteur général de l'enseignement secondaire. — France.
STOLETOW (Alexandre), professeur de physique à l'Université impériale de Moscou, délégué de la Société impériale des Amis des Sciences naturelles et du Musée polytechnique de Moscou, conseiller d'État actuel. — Russie.

Rapporteur.

M. MOULTON (J.-F.), FRS, à Londres. — Grande-Bretagne.

Membres.

Allemagne. — M. le Dr PAALZOW, professeur à l'École polytechnique supérieure, à Berlin.
M. le Dr VULLNER, professeur à Aix-la-Chapelle.

Belgique. — M. MONTIGNY, membre de l'Académie royale des sciences.
M. PÉRARD, professeur à l'Université de Liège.

France. — M. DESAINS, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences de Paris.
MM. FRIEDEL, membre de l'Institut.
ANGOT, du Bureau central météorologique.
BICHAT, maître de conférences à la Faculté des sciences de Nancy.
LIPPMANN, maître de conférences à la Faculté des sciences de Paris.
MOUTIER, professeur de physique au Collège Sainte-Barbe.
PELLAT, professeur au Lycée Louis-le-Grand.

Grande-Bretagne. — M. le Dr DE LA RUE (Warren), DCL, Ph.D, FRS, correspondant de l'Institut (Académie des sciences), à Londres.

Italie. — M. ROÏTI (Antoine), professeur à l'Institut royal des études supérieures, à Florence.

GROUPE V. — CLASSES 12 ET 13.

Président.

M. le Dr MILITZER, conseiller de section au Ministère impérial et royal du commerce, membre correspondant de l'Académie des sciences de Vienne. — Autriche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Vice-présidents.

MM. Mac Lean (T.-C.), lieutenant de la marine des États-Unis.
le comte du Moncel, membre de l'Institut. — France.

Rapporteur.

M. Williot, chef du service technique du sous-directeur des travaux de Paris. France.

Membres.

Allemagne. — M. le Dr Warburg, professeur à Friboug en Brisgau.

Autriche. — M. le baron Joseph Engerth, ingénieur civil.

Belgique. — M. Gody, architecte au département des travaux publics, membre secrétaire de la Commission belge de l'Exposition d'électricité à Bruxelles.
M. Gody, capitaine d'artillerie, professeur de physique et de chimie appliquée à l'École de guerre.

États-Unis de l'Amérique du Nord. — M. Heap (David-P.), capitaine du génie à l'armée des États-Unis.

France. — M. Loewy, membre de l'Institut, membre du Bureau des longitudes.
MM. le contre-amiral Mouchez, membre de l'Institut, directeur de l'Observatoire de Paris.
le colonel Perrier, membre de l'Institut.
Gaussin, ingénieur hydrographe en chef.
le colonel Goulier.
Marié-Davy, directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
Wolf, astronome titulaire de l'Observatoire de Paris.

Grande-Bretagne. — M. Stroh (A.), ancien constructeur-mécanicien.

Hongrie. — M. le comte Théodore Zichy, secrétaire d'ambassade de S. M. I. et R. Apostolique.

Pays-Bas. — M. Van der Vegte (Z.), inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques.

Russie. — M. Walberg, général-major du génie.

SECRÉTARIAT.

Groupe I.

MM. Gidel, élève-ingénieur des Télégraphes.
de Nerville, élève-ingénieur des Télégraphes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

GROUPE II.

MM. MASSIN, élève-ingénieur des Télégraphes.
THOMAS, élève-ingénieur des Télégraphes.

GROUPE III.

MM. DE LA TOUANNE, élève ingénieur des Télégraphes.
SCHÆFFER, élève-ingénieur des Télégraphes.

GROUPE IV.

MM. GUERVILLE, élève-ingénieur des Télégraphes.
CONSIGNY, élève-ingénieur des Télégraphes.

GROUPE V.

MM. DURÈGNE, élève-ingénieur des Télégraphes.
CAILHO, élève-ingénieur des Télégraphes.

Les travaux du Jury international des récompenses furent clos le 18 octobre 1881 et la distribution des récompenses eut lieu le 21 octobre sous la présidence de M. Cochery, ministre des postes et des télégraphes, dans la grande salle du Conservatoire national de musique.

Avaient pris place sur l'estrade : M. Barthélemy Saint-Hilaire, ministre des affaires étrangères ; M. Teisserenc de Bort, ancien ministre, président du jury ; M. J.-B. Dumas, de l'Académie française ; M. Belpaire, de Belgique ; M. le professeur Wiedemann, de Leipzig ; M. le docteur de Beetz, de Berlin ; M. le professeur Barker, de Pensylvanie ; M. le docteur Warren de la Rue, de Londres, vice-présidents du jury ; M. Georges Berger, commissaire général de l'Exposition, et M. Mascart, professeur au Collège de France, rapporteur du jury.

La séance ayant été ouverte à deux heures précises, M. le Ministre des Postes et des Télégraphes prononça le discours suivant :

« Messieurs et chers collaborateurs,

« Nous venons à peine de clore le Congrès des électriciens, et déjà il nous faut procéder à la distribution des récompenses de l'Exposition inter-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nationale d'électricité; il nous faut donner ainsi le signal de la prochaine dispersion des merveilles de la science que vous avez groupées dans le palais de l'Industrie.

« Nous eussions voulu retarder la date de cette cérémonie, afin de lui ménager l'éclat et l'ampleur dont elle est si digne, et de la rehausser par la présence de M. le Président de la République et des grands corps de l'État. Nous eussions voulu la compléter immédiatement par cet ordre de récompenses que la libéralité des Chambres peut seule accorder.

« Le temps nécessaire nous manque.

« Beaucoup d'entre vous sont contraints de reprendre le chemin de leur pays, où les appellent d'impérieux intérêts. Le Jury n'avait pas encore arrêté ses décisions, qu'on nous invitait déjà à fixer le jour de la distribution des récompenses.

« Nous ne pouvions songer un instant à procéder à cette cérémonie en votre absence. Il nous a donc fallu nous résigner à cette réunion intime, un peu hâtive, et dans un local restreint.

« Qu'importe, du reste! Ce n'est pas à un apparat extérieur que cette cérémonie peut emprunter sa grandeur, mais à l'objet même auquel elle se rapporte.

« Pour la première fois, la science vient de procéder à une exposition spéciale et internationale.

« Les principaux États ont, avec empressement, fourni leur concours.

« Les admissions ont été restreintes exclusivement à ce qui touche à l'électricité, et les applications de cette force nouvelle sont déjà si multipliées qu'elles ont rempli le palais de l'Industrie qui, il y a vingt-cinq ans, suffisait à une exposition universelle.

« Le public, lui-même, a répondu à notre appel. Chaque jour, 6 à 7,000 visiteurs ont parcouru l'Exposition; parfois le nombre a dépassé 17 et 18,000.

« Nous ne saurions en être surpris. Cette science mystérieuse de l'électricité n'était que vaguement connue. On en constatait quelques effets avec étonnement, mais on ne pouvait discerner jusqu'où s'étendait la vérité et où commençait la fiction.

« L'Exposition a révélé clairement la puissance de cet agent incomparable, et, tout en indiquant la limite des applications actuelles, elle a surtout laissé pressentir les transformations que pourrait amener son emploi. Des conférences faites par les ingénieurs les plus compétents ont contribué à faciliter ce résultat.

« C'est vous, messieurs, qui, en prenant part à notre Exposition, en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ne reculant ni devant la peine, ni devant les sacrifices, avez contribué largement à son succès.

« La France vous en est reconnaissante.

« Quand, le 15 novembre, nous fermerons les portes du palais de l'Industrie, vous pourrez aller avec confiance reprendre la suite de vos travaux, vous connaissez le prix que le public y attache; vos succès actuels vous présagent sûrement vos succès futurs.

« Aussi, quand, dans quelques années, nous nous retrouverons à une nouvelle Exposition internationale, que de progrès n'aurez-vous pas réalisés! Grâce à de nouveaux efforts, la lumière électrique se pliera à tous les besoins. Le problème de la transmission de la force sera entièrement résolu. L'emmagasinement de l'électricité aura peut-être permis d'en étendre l'emploi aux usages les plus divers. La télégraphie, la téléphonie obéiront plus docilement aux impatiences du public. La médecine, la chirurgie auront trouvé dans l'électricité un concours de plus en plus puissant.

« Que d'autres applications se seront révélées! que de transformations en résulteront!

« Vous aurez été les initiateurs, les vulgarisateurs, ce sera votre gloire.

« Ces diplômes, ces médailles que nous allons vous attribuer, seront vos titres précieux à la reconnaissance des générations futures.

« Quant à vous, messieurs les jurés, en vous demandant de vous charger d'une tâche difficile, nous n'avons considéré que votre illustration dans la science et votre ardent dévouement à ses progrès; nous avons donc pu vous abandonner sans limite le jugement des récompenses. Nous ne connaissons pas vos décisions, nous allons les attendre. Mais nous sommes en pleine sécurité, nous savons qu'elles défieront toute critique.

« Il ne me reste, pour terminer, qu'à formuler un vœu. Puissent les germes jetés par notre initiative nationale se développer et féconder l'avenir!

« C'est le but que le Gouvernement de la République française a poursuivi en inaugurant l'Exposition internationale d'électricité; c'est le but que l'union de nos efforts permettra d'atteindre. »

Après ce discours, M. Georges Berger, commissaire général, a pris la parole dans les termes suivants :

Monsieur le Ministre,

Il appartenait à vous seul de constater publiquement combien le succès de l'Exposition internationale d'électricité honore et récompense tous ceux qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ont pris part à cette manifestation mémorable du progrès, dans le domaine de la science aussi bien que dans celui de l'industrie et de l'art pratique,

Je suis heureux de pouvoir certifier administrativement que, malgré sa durée déjà longue, le spectacle de l'Exposition n'a pas lassé la curiosité des visiteurs ; ceux-ci continuent d'affluer dans le palais des Champs-Élysées.

Les incrédules qui pensaient nous faire l'aumône d'une flatterie en prédisant à notre entreprise un simple succès d'estime ont été captivés par les attraits inattendus de l'Exposition. Le scepticisme de la foule s'est laissé fléchir, et l'ambition de comprendre a saisi ceux qui tout d'abord n'avaient été que des croyants fascinés en face des révélations auxquelles ni leurs yeux ni leurs esprits n'étaient préparés.

Nous avons le droit d'être fiers de notre œuvre. Aucun moyen empirique ne l'avait recommandée d'avance. Jusqu'au jour décisif de son ouverture, l'Exposition n'avait fait parler d'elle que dans le cercle restreint des hommes voués à la science ou à l'industrie électrique. Nous avions attendu patiemment et avec conviction que le résultat de nos efforts se signalât par lui-même. Notre attente n'a pas été vaine ; on serait embarrassé de citer un homme sérieux dont la parole ou la plume ait contesté l'importance de notre réussite. Les grands organes de la presse française et étrangère, politique et scientifique, ont hautement apprécié l'idée et la méthode de réalisation qui ont fait de l'Exposition ce qu'elle est.

Nous n'avons reculé devant aucune dépense capable d'assurer la dignité et le caractère élevé de la solennité sans précédents que nous avions mission d'organiser et de diriger.

Après avoir allégé autant que possible les charges ordinairement imposées aux exposants, nous avons libéralement ouvert nos portes à tous ceux que des titres légitimes désignaient pour être nos hôtes.

Quoi qu'il en soit, nous avons eu souci des intérêts qui étaient moralement remis entre nos mains, et notre souci aura été profitable en première ligne à des collaborateurs qui ne nous avaient pas marchandé leur confiance ; je veux parler du syndicat chargé du service périlleux de l'éclairage et de la force motrice.

J'ai tenu à citer le syndicat parce qu'il a donné un exemple que tous les exposants ont suivi sans hésitation. J'ai vu beaucoup d'expositions ; j'en ai dirigé plusieurs. Jamais, je l'assure, le Commissaire général n'a eu une tâche plus facilitée et plus agréable.

Je saisis avec empressement l'occasion qui se présente de rendre hommage à l'abnégation et au patriotisme des exposants français. Je n'excepte pas les exposants étrangers ; la plus fraternelle des émulations les a guidés vers nous. Tout s'est passé entre Français et étrangers avec une courtoisie et une déférence réciproques égales à celles qui ont présidé aux discussions académiques du Congrès et du Jury. Pouvait-il en être autrement ? Les étrangers avaient compris toute la portée de l'initiative française ; de leur côté, les pouvoirs publics et l'administration de l'Exposition s'étaient entendus pour garantir la propriété industrielle étrangère par deux lois dont le libéralisme incontestable n'aura lésé aucun intérêt national. D'autre part, la direction générale des douanes avait été autorisée à se montrer tolérante et hospitalière, en même temps que nos grandes compagnies de chemins de fer consentaient à un abaissement notable des prix de leurs tarifs, suivant une tradition dont le maintien est un acte de générosité qu'on ne saurait assez reconnaître.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Honneur donc aux exposants des deux mondes! Honneur aussi aux commissaires étrangers et à leurs aides! Ils ont tenu haut et ferme leurs drapeaux nationaux, que nous avons été fiers de voir flotter pacifiquement sous un toit français.

Si l'opportunité de l'Exposition internationale d'électricité était encore à démontrer, il suffirait de faire remarquer que l'exiguïté des délais fixés aux préparatifs de celle-ci n'a pas empêché que le nombre des exposants et celui des objets exposés aient dépassé toutes les prévisions.

Le décret présidentiel qui, sur la proposition du Ministre des Postes et des Télégraphes, a institué l'Exposition et le Congrès, porte la date du 23 octobre 1880. Trois jours après, un décret désignait les membres de la Commission française d'organisation à laquelle est dû le règlement général adopté et publié le 6 décembre 1880. Un comité technique et un comité de finances, composés en majeure partie des membres de la Commission d'organisation, ont prêté leur concours régulier à l'administration, qui a trouvé auprès d'eux des conseillers d'une valeur inappréciable.

Dès le 15 mai 1881, l'admission de 800 exposants français était prononcée et notifiée ; le nombre de ceux-ci a été plus tard de 943. Pendant ce temps, les adhésions officielles de l'Allemagne, de la Suède, de la Norvège, de la Belgique, de l'Espagne, des Pays-Bas, de l'Autriche, de l'Italie, des États Unis, de l'Amérique du Nord et du Japon nous étaient successivement parvenues. En Angleterre, en Russie, en Suisse et en Danemark, les gouvernements, désireux d'encourager les bonnes dispositions des inventeurs et des constructeurs, avaient autorisé les sociétés savantes et les administrations les plus à même de seconder et de diriger ce mouvement à se mettre en rapport direct avec le Commissariat général français. Il faut citer et remercier le « General Post Office » et spécialement la « Société des ingénieurs télégraphiques et électriciens de Londres » ; c'est à leurs efforts combinés que l'Exposition du Royaume-Uni doit en grande partie son existence et son éclat. La Société impériale polytechnique de Russie, la Direction des télégraphes suisses et le Bureau international des administrations télégraphiques à Berne ont également été, pour nous, des correspondants utiles et dévoués.

Le palais de l'Industrie, le seul local disponible et utilisable pour l'organisation d'une Exposition telle que la nôtre, n'a pu nous être livré totalement que pendant la seconde semaine du mois de juillet dernier. Néanmoins, l'inauguration officielle de l'Exposition a eu lieu le 11 août suivant, et seize jours après les portes du palais ont été définitivement ouvertes pendant la soirée.

En moins de deux mois, nous avons organisé de toutes pièces, dans une enceinte destinée à être fréquentée chaque jour par plus de 7,000 visiteurs, une usine grandiose actionnée par 1,800 chevaux-vapeur. Cette usine, dont la mise en scène pittoresque a été remarquée, fonctionne publiquement depuis plus de dix semaines ; aucun accident n'a été signalé à l'intérieur ; aucune imprudence n'a été commise. Ce résultat est dû à l'intelligence de la foule, qui sait respecter ce qu'elle admire.

Depuis l'ouverture de l'Exposition, le chiffre des entrées a été de 576,000, sans compter, bien entendu, celles des exposants, des jurés, des membres du Congrès, des fonctionnaires de tous grades et du personnel du service. Le nombre des visiteurs qui ont franchi nos tourniquets payants est de 490,000 environ, dont 26,000 ont été amenés par le tramway électrique. Nous avons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

autorisé la libre entrée de 4,500 élèves des écoles de la ville de Paris et du département de la Seine; plus de 30,000 billets gratuits valables pour une journée auront été répandus dans les ateliers et dans les administrations. Les porteurs de cartes permanentes et nominatives attribuées aux représentants de la presse et aux personnes désignées par les comités ont fourni un contingent d'entrées qui atteint un total de 57,000.

L'éloquence de ces chiffres prouve que le public a cessé d'être avide des seuls spectacles qui flattent les regards et charment les sens; il s'est épris de l'instruction et recherche les occasions de l'acquérir.

Des auditeurs nombreux et assidus appartenant à toutes les classes de la société ont assisté aux conférences-promenades qu'ont faites ou dirigées des savants et des techniciens qui avaient spontanément offert leur concours et auxquels le public n'a pas ménagé les témoignages de sa reconnaissance et de son approbation.

En ce qui concerne l'affluence des visiteurs, j'ose dire que l'Exposition internationale d'électricité, malgré la saison avancée pendant laquelle elle a dû être ouverte, a dépassé relativement et effectivement la vogue qui n'avait encore appartenu qu'aux Expositions des beaux-arts favorisées par les mois du printemps parisien.

Ai-je besoin de parler des travaux du Jury international des récompenses, dont les résultats vont être proclamés dans un instant? ils ont magistralement terminé la période passionnée et active de l'Exposition. Celle-ci s'acheminera désormais vers sa fin avec une allure plus paisible; elle se terminera néanmoins sans avoir perdu la moindre de ses étonnantes séductions.

Je serais ingrat, monsieur le Ministre et messieurs, si je terminais sans rendre la justice qui leur est due à mes collaborateurs du Commissariat général, aux amis des jours bons et des jours pénibles, qui ont suppléé à leur petit nombre en faisant preuve d'un dévouement et d'un sentiment du devoir sans lesquels ma tâche eût été écrasante sinon impossible. La dette que j'ai contractée vis-à-vis d'eux deviendrait criarde si je ne la reconnaissais pas franchement devant ceux qui peut-être n'ont pas soupçonné toute son étendue.

Nous allons défaire ce que nous avons fait avec tant d'amour, mais ce qui survivra à la pioche des démolisseurs, c'est le souvenir d'une œuvre qui honorera éternellement l'humanité, aura provoqué un utile rapprochement des peuples, et fécondera longuement le monde par les bienfaits qu'elle a réalisés et préparés. Il nous aura suffi de trois mois pour emmagasiner la récolte scientifique du passé et pour semer abondamment celle de l'avenir. Grâce à vous, messieurs, le proverbe qui dit que la science est longue mais que la vie est courte aura menti une fois.

M. Teisserenc de Bort a ensuite invité M. le rapporteur général à présenter l'exposé sommaire des travaux du Jury. M. Mascart s'est exprimé comme il suit :

Monsieur le Ministre,

Avant de donner lecture des récompenses décernées aux principaux exposants, vous avez cru qu'il était nécessaire d'indiquer en quelques traits le carac-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tère général de cette Exposition, d'après l'examen attentif qui en a été fait par le jury. Est-il besoin d'ajouter que ce jury, composé des hommes les plus autorisés dans les différents pays, et à qui vous aviez laissé son entière liberté d'appréciation, a accompli sa mission avec un esprit de justice absolu, et qu'il a la conscience de n'avoir laissé dans son œuvre que la part d'imperfection qui tient à la nature même des jugements humains, surtout dans une question aussi neuve et aussi difficile?

Les récompenses que vous allez décerner s'adressent à la partie matérielle de l'Exposition, mais comment oublier, avant d'en faire l'énumération, le spectacle noble et émouvant que nous a donné le Congrès dans lequel sont venus s'agiter les doctrines, les pensées, et s'exprimer les vœux qui se rapportaient à la partie intellectuelle de la science?

Par une nouveauté hardie, dont aucune Exposition jusqu'ici ne nous avait rendus témoins, vous avez eu le bonheur inespéré de réunir autour de vous les savants les plus éminents de notre temps, ceux dont les découvertes ont étonné le monde, ceux qui ont fait de la science de l'électricité ce qu'elle est aujourd'hui. Ils sont venus à votre appel pleins d'une loyale confiance, ils ont ouvert devant le public surpris et charmé tous les trésors de leur génie, et nous devons ici exprimer le regret que la plupart d'entre eux n'assistent pas à cette solennité. Après les discussions dont l'histoire de la science gardera le souvenir, faisant le sacrifice de tout préjugé national, de toute idée préconçue et de toute prétention personnelle, ils ont donné, par une entente commune, une forme pratique et universelle à la langue de l'électricité et un système coordonné de mesures pour en déterminer les effets.

L'Exposition actuelle n'a pas de précédent. Elle représente l'ensemble des applications industrielles d'une science qui est pour ainsi dire née avec le siècle. Quelques-unes de ces applications ont paru dans les Expositions antérieures, dont elles ne formaient que la moindre partie. Il y a quelques mois seulement, on pouvait encore douter que cette industrie fût capable de fournir les éléments d'une Exposition universelle et d'attirer l'attention du public; mais les progrès accomplis de nos jours et presque sous nos yeux ont donné à l'ensemble des objets exposés un éclat incomparable.

L'Exposition présente même ce caractère inaccoutumé que la science et l'industrie y sont intimement mêlées; on retrouve dans les applications usuelles les déductions de la science la plus élevée et le génie de l'invention dans ce qu'il a de plus imprévu.

Aussi le jury s'est-il trouvé souvent dans l'impossibilité de reconnaître par les récompenses ordinaires le mérite des institutions et des savants qui ont exposé des instruments de recherches scientifiques ou les résultats de leurs travaux; c'est ce concours désintéressé qu'il a voulu reconnaître par des diplômes de coopération.

Dans le développement historique de la science, les premiers instruments sont ceux qui servent à la production de l'électricité statique. Le fait le plus saillant que nous ait montré l'Exposition est le grand nombre des appareils multiplicateurs fondés sur les phénomènes d'influence, et dont la machine de Holtz est encore le type le plus répandu.

La construction des piles n'a présenté aucun progrès saillant. On lutte toujours, avec plus ou moins de succès, contre les effets de polarisation et les usures inutiles; mais dans toutes les applications importantes, même en télégraphie, la tendance de l'industrie est de remplacer les piles par des machines

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'induction. On doit signaler cependant les accumulateurs d'électricité dont nous avons vu les premiers essais, qui n'ont peut-être pas encore reçu leur dernière forme, et dont le principe trouvera sa place dans l'industrie.

Les machines magnéto-électriques ont été une des plus grandes curiosités de l'Exposition. Toutes les solutions théoriques du problème ont été réalisées, mais le nombre des types auxquels on s'est arrêté est réellement très restreint et on sait maintenant les adapter d'une manière si parfaite aux différents besoins de l'industrie qu'on pourrait croire qu'on approche de la perfection et de la forme définitive, s'il n'était prudent de s'exprimer avec réserve dans une science si féconde en surprises.

La construction des câbles sous-marins s'améliore chaque année. Au point de vue de l'isolement, il y a une question de durée sur laquelle l'expérience seule peut prononcer ; mais les câbles transatlantiques posés dans ces derniers temps conservent leurs propriétés isolantes avec une perfection qui n'avait pas encore été atteinte.

Pour les câbles souterrains, on n'est pas encore entièrement sorti de la période d'essai; les conditions d'adjudication sont peut-être un obstacle à la bonne fabrication.

De nouvelles idées se sont fait jour dans le Congrès et dans l'Exposition au sujet de la protection des édifices contre la foudre ; la question reste à l'étude, mais ne tardera pas à être résolue par les commissions internationales.

Les appareils de mesure ont subi une transformation complète depuis que la pose et l'exploitation des câbles transatlantiques ont demandé à la science la solution des problèmes les plus difficiles. Les phénomènes d'électricité statique sont évalués avec une précision inconnue jusqu'ici. Les rhéostats, les galvanomètres ont pris des dimensions plus restreintes, des formes mieux appropriées aux besoins de la pratique et plus conformes aux indications de la théorie. Ici encore, il ne semble pas qu'il reste aucun progrès important à accomplir.

La construction des condensateurs et des câbles artificiels avait à vaincre des difficultés toutes spéciales ; ces appareils s'améliorent chaque jour et comportent maintenant une exactitude inattendue.

Il est impossible de signaler en quelques mots les pas de géant franchis par la télégraphie pour augmenter le travail des lignes. Par les appareils doubles, quadruples, basés sur une analyse délicate des ondes électriques, et par la transmission des vibrations sonores de différentes périodes, on est parvenu à transporter sur un même fil, dans le même sens ou en sens contraire, et simultanément, un nombre de dépêches dont on ne peut prévoir aujourd'hui la limite. D'autre part, le temps employé par un signal pour parcourir les plus longues lignes aériennes est tellement court, qu'il reste un long intervalle perdu entre deux signaux consécutifs d'un même appareil. On peut donc remplir cet intervalle par des signaux de plusieurs autres appareils, et il semble qu'il n'y ait d'autre obstacle à cette multiplication des dépêches, par division du temps, que la durée même de propagation de l'agent qui en est le messager.

Les effets de condensation n'ont pas encore permis d'appliquer aux câbles toutes ces méthodes si fécondes ; c'est un problème à résoudre.

L'emploi des relais a, pour ainsi dire, supprimé les grandes lignes et permis l'application à toute distance des appareils les plus délicats.

Des catastrophes récentes ont appelé l'attention du public sur la sécurité des chemins de fer. Les Compagnies ont montré par le grand nombre des systèmes de signaux exposés que c'est là une de leurs principales préoccupations.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'emploi de l'électricité dans les signaux de protection avait été d'abord l'objet de nombreuses préventions; l'expérience a montré, au contraire, que l'électricité n'est pas un agent capricieux, mais un serviteur fidèle et d'une sécurité absolue quand on sait bien l'utiliser.

Que dire de la téléphonie, la merveille de notre temps? La surprise causée dans le public et dans le monde savant par la première annonce de cette prodigieuse découverte a été dépassée par l'admiration de tous ceux qui ont pu en être les témoins. Les moyens de transmettre les sons musicaux, le chant et la parole humaine, et d'en multiplier la puissance sans en altérer le caractère, sont même devenus si nombreux qu'on peut se demander pourquoi la découverte a été si tardive. C'est comme un nouveau sens donné par le génie de Graham Bell à l'activité humaine et une véritable révolution sociale.

Dans l'ordre purement scientifique la téléphonie a transformé les méthodes d'observation; on arrive aujourd'hui à déterminer le poids, la composition chimique et la structure mécanique des corps par le seul concours de l'oreille.

Nous ne pouvons pas passer sous silence les phénomènes de radiophonie qui sont nés avec le concours de l'électricité et se rattachent aussi à cette science par le nom de l'inventeur; mais la radiophonie n'emprunte plus rien à l'électricité et fait intervenir la lumière seule comme agent de transmission de la parole.

L'éclairage électrique a été dans l'Exposition une véritable révélation. A côté de la lumière à arc de Davy qui a été transformée, régularisée par les méthodes les plus simples et les mécanismes les plus ingénieux, nous avons vu apparaître sa sœur rivale, la lumière à incandescence, qui ne se propose plus seulement d'illuminer les phares et d'éclairer les grands espaces, mais de s'établir au foyer domestique. Nous ne sommes qu'au début de cette industrie nouvelle, et l'épreuve est déjà complète; la lumière à incandescence est un hôte acclimaté qui ne nous quittera plus.

Les machines magnéto-électriques, créées d'abord en vue de la lumière, sont maintenant appelées à un rôle plus étendu. Dans l'industrie des dépôts métalliques, elles ont éliminé les piles encombrantes et coûteuses; dans les arts mécaniques, l'électricité n'avait d'abord servi qu'à régler le départ, l'arrêt et le mouvement des organes de précision, elle transporte maintenant la force, aux machines-outils, et même aux machines plus puissantes qui exigent un travail important, sans autre intermédiaire que des fils métalliques qui suivent les routes les plus capricieuses. On peut réaliser aujourd'hui ce problème singulier de faire passer vingt chevaux-vapeur par le trou d'une serrure.

Cette question du transport de la force par l'électricité a exercé la sagacité des inventeurs. Nous voyons approcher le moment où l'électricité sera transportée à domicile, mise à la disposition du public par un jeu de robinets, réglée par des soupapes et mesurée par un compteur, plus rigoureusement peut-être qu'on ne le fait aujourd'hui pour l'eau et le gaz d'éclairage.

L'art médical ne paraît pas encore en mesure de profiter des ressources que lui offrent la science de l'électricité et la richesse de l'instrumentation; mais la physiologie est dans une voie de progrès manifeste, et elle sent aujourd'hui le besoin d'une exactitude plus grande dans ses méthodes d'observation.

La galvanoplastie, au moins pour le dépôt des métaux usuels, l'argent, l'or et le cuivre, est arrivée à une perfection qui ne laisse rien à désirer. La fabri-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cation des objets de table, qui fait descendre jusqu'aux plus humbles ménages les jouissances autrefois réservées au luxe, a pris une telle importance que l'argenture des cuillers et des fourchettes absorbe chaque année 25 millions de francs d'argent métallique, c'est-à-dire le quart de la production annuelle de toutes les mines connues il y a quelques années.

On est maître aujourd'hui de produire des alliages en toutes proportions, et plusieurs métaux, tels que le fer, le nickel, le cobalt et l'étain ont fait leur apparition dans cette industrie si récente. L'électro-chimie devient même un puissant moyen métallurgique pour la purification du cuivre, si importante en télégraphie, et pour l'affinage des métaux précieux. Elle envahit aussi le domaine de la chimie organique pour la rectification des esprits et elle tend à se substituer au chlore dans le blanchiement des étoffes.

En horlogerie, on paraît avoir renoncé à utiliser l'électricité comme force motrice, et la tendance des artistes est de s'en servir uniquement comme moyen de réglage et de remise à l'heure, sous la direction d'une horloge centrale.

Le problème de la subdivision du temps a donné lieu à un grand nombre d'appareils ingénieux. En prenant les diapasons comme compteurs et l'électricité comme signal des phénomènes, on est parvenu à supprimer et à éliminer l'inertie des organes et à évaluer des intervalles de temps tellement courts que l'imagination peut à peine les concevoir. Il nous suffira de citer les applications à la détermination des longitudes, de la vitesse de la lumière et à l'étude du mouvement des projectiles dans l'âme des armes à feu. L'électro-diapason pénètre même dans les ateliers et devient un instrument d'usage industriel.

On a recours à l'électricité pour enregistrer à distance les phénomènes météorologiques, les indications des niveaux d'eau, les observations d'hydrographie.

Elle est en voie de transformer les instruments de musique, elle donne aux pianos la durée des sons de l'orgue et elle enregistre les improvisations musicales.

On la retrouve encore dans les jouets qui serviront ainsi à l'éducation de l'enfance, et dans des appareils d'une grande utilité sociale, tels que les télégraphes de quartier et les avertisseurs d'incendie.

D'ailleurs toute énumération serait nécessairement écourtée et incomplète et nous avons à peine le temps de saisir au passage les différentes applications qui se multiplient sous nos yeux.

Il serait injuste d'oublier les machines à vapeur et les machines à gaz qui donnaient la vie à l'Exposition et à qui l'on demande maintenant des formes nouvelles mieux appropriées à l'industrie de l'électricité. On recherche dans le cas actuel des machines rapides et à mouvement régulier ; nous ne pouvons pas affirmer que le problème soit encore résolu, mais de grands efforts ont été faits dans cette direction.

Les organisateurs de l'Exposition ont eu l'heureuse pensée de réunir les appareils qui ont servi aux fondateurs de la science, de sorte que l'histoire tout entière s'en déroulait sous les yeux des visiteurs. Nous devons adresser nos plus vifs remerciements aux grandes institutions scientifiques qui ont bien voulu nous confier les précieuses reliques de leurs hommes de génie. La comparaison de ces instruments de travail si modestes avec les résultats merveilleux de l'industrie qu'ils ont fondée par leurs découvertes, a été pour le public, si désireux d'apprendre, une véritable initiation et un salutaire enseignement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a pu ainsi toucher du doigt ce que devient la pensée d'un grand esprit quand elle est fécondée par le temps et par le travail des hommes intelligents et dévoués qui s'en emparent.

Quiconque a vu l'Exposition et s'est rendu compte des résultats acquis aujourd'hui dans une science aussi récente reconnaîtra que c'est un nouveau monde ouvert à l'activité de l'intelligence humaine.

M. Mascart a lu ensuite la liste des noms des exposants récompensés.

Avant l'ouverture et à la fin de la séance, les chœurs de l'Opéra et du Conservatoire, dirigés par M. Jules Cohen, ont fait entendre les quatre morceaux suivants :

La prière de *la Muette,* le chœur du 1^er^ acte d'*Hamlet*, le chœur des chasseurs du *Freyschutz* et le chœur *Terre, éclaire-toi*, de Jules Cohen.

A quatre heures trois quarts la séance était terminée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LISTE DES RÉCOMPENSES

Grands diplômes d'honneur.

FRANCE.

Ministère des Postes et des Télégraphes.

ALLEMAGNE (EMPIRE D').

Reichs-Postamt.

ANGLETERRE.

Administration des Télégraphes de la Grande-Bretagne (Post-Office).

AUTRICHE (EMPIRE D').

Ministère I. R. du commerce (Administration des Télégraphes).

BELGIQUE (ROYAUME DE).

Administration des Télégraphes de l'État.

Diplômes d'honneur

DÉCERNÉS AUX MINISTÈRES, AUX ADMINISTRATIONS, AUX SOCIÉTÉS SAVANTES ET AUX COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER

FRANCE.

Ministère de l'agriculture et du commerce (Conservatoire national des arts et métiers).
Ministère de la guerre.
Ministère de la marine et des colonies.
Ministère de l'instruction publique et des beaux-arts (Bureau central météorologique. — Observatoire de Marseille et Observatoire de Paris).
Ministère des travaux publics (Service central des phares).
Ville de Paris (Préfecture de la Seine).
Ville de Paris (Préfecture de police).
Compagnie du chemin de fer du Nord.
Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.
Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
École supérieure de télégraphie.

ALLEMAGNE (EMPIRE D').

Ministerium der öffentlichen Arbeiten und Herzoglich Braunschweigshes Communion Huttenamt.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

AMÉRIQUE DU NORD (ÉTATS-UNIS DE L').

United States Signal Office.
Bureau des brevets des États-Unis d'Amérique.
Smithsonian Institution (Washington).

ANGLETERRE.

Society of Telegraph Engineers and Electricians.

AUTRICHE (EMPIRE D').

Ministère de la guerre.
Administration de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État.

BELGIQUE (ROYAUME DE).

Observatoire royal de Bruxelles.
Compagnie des télégraphistes de campagne.
Ville de Gand.

DANEMARK (ROYAUME DE).

Direction des télégraphes d'État.

ESPAGNE (ROYAUME D').

Direction générale des postes et des télégraphes.

ITALIE (ROYAUME D').

Ministère de l'agriculture.
Ministère de l'instruction publique.
Établissement de l'État pour la fabrication des cartes-valeurs.
Institut royal topographique militaire.

JAPON (EMPIRE DU).

Ministère des travaux publics (Administration des télégraphes).

NORVÈGE (ROYAUME DE).

Ministère de la marine, des postes et télégraphes.
Institut topographique de Christiania.

PAYS-BAS (ROYAUME DES).

Administration des télégraphes de l'État.

RUSSIE (EMPIRE DE).

Ministère de la marine.
Département des télégraphes.
État-major (Section topographique).
Expédition pour la confection des papiers de l'État.
Société impériale polytechnique russe.

SUÈDE (ROYAUME DE).

Administration des télégraphes de Suède.
Génie militaire suédois.

SUISSE (CONFÉDÉRATION).

Administration des télégraphes suisses.
Bureau international des administrations télégraphiques (Berne).

Diplômes d'honneur décernés aux établissements industriels.

FRANCE.

Breguet.
Christofle et C^ie^.
Société générale des téléphones.

ALLEMAGNE (EMPIRE D').

Siemens et Halske.

ANGLETERRE.

Eastern telegraph C^o^.
Siemens brothers and C^o^ limited.
Submarine Telegraph C^o^.
Telegraph Construction and Maintenance C^o^ limited.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Diplômes d'honneur décernés aux inventeurs.

FRANCE.

MM. Baudot.
Deprez (Marcel).
Gramme (Zénobe).
Planté (Gaston).

ALLEMAGNE (EMPIRE D').

M. le Dr Werner Siemens.

AMÉRIQUE DU NORD (ÉTATS-UNIS D').

MM. Bell (Alexander-Graham).
Edison (Thomas).

ANGLETERRE.

MM. le professeur Hughes.
Sir William Thomson.

ITALIE (ROYAUME D').

M. le professeur Pacinotti.

NORVÈGE (ROYAUME DE).

M. Bjerknes.

Diplômes de coopération.

FRANCE.

Collège de France (cabinet de physique).
Collège de France (laboratoire d'histoire naturelle des corps organisés).
Conservatoire national des arts et métiers.
Muséum d'histoire naturelle de Paris.
MM. Guébhard (Adrien).
Trêve (commandant).

ALLEMAGNE (EMPIRE D').

Königliche Eisenbahn-Direction (Berlin).
Königliche Eisenbahn-Direction (Elberfeld).
Königliche Eisenbahn - Direction (Frankfurt a/ Main).
Königliche Eisenbahn-Direction (Hannover).
Senats-Commission für Reichs und auswärtige Angelegenheiten (Bremen).
Universität Berlin : Physiologisches Institut.
Technische Hochschule Berlin : Physikalisches Cabinet.
Polytechnikum Dresden : Physikalisches Cabinet.
Universität Göttingen : Erdmagnetisches Observatorium und Physikalisches Institut.
Polytechnische Schule Karlsruhe : Physikalisches Cabinet.
Universität Leipzig : Physikalisch-Chemisches Institut.
Universität Marburg : Mathematisch-Physikalisches Institut.
Königliche Akademie Münster : Physikalisches Cabinet.
Universität Rostock : Physiologisches Institut.
Universität Würzburg : Physikalisches Institut.
Direction der Thüringschen Eisenbahn Gesellschaft.
General-Direction der Grossherzolich-Badischen Staats Eisenbahn.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. le Dr O. Frœlich, à Berlin.
le Dr L. Weber, à Kiel.

ANGLETERRE.

King's College.
Royal Institution of Great Britain.

AUTRICHE (EMPIRE D').

Administration du chemin de fer de Buschtiehrad à Prague (Bohême).
MM. Kohlfürst et Jetzsche.
le professeur Mach, Prague.
le professeur Pfaundler, Innsbrück.
le docteur J. Puluj, Vienne.
le professeur von Waltenhofen, Prague.

BELGIQUE (ROYAUME DE).

Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique.
Maison des Joséphites, à Mesle-lez-Gand.
Musée royal de l'industrie, à Bruxelles.
Société scientifique de Bruxelles.
Université de Louvain.
Université libre de Bruxelles.
MM. Lippens.
Melsens.
Somzée.

HONGRIE (ROYAUME DE).

Antolik.

ITALIE (ROYAUME D').

Institut royal des sciences et des lettres de Milan.
Institut des études supérieures de Florence (cabinet de physique).
Institut des études supérieures de Florence (cabinet des anciens instruments).
Université royale de Gênes (cabinet de physique).
Université royale de Modène (cabinet de physique).
Université royale de Naples (cabinet de physique).
Université royale de Padoue (institut de physique).
Université royale de Pavie (cabinet de physique).
Université royale de Pise (cabinet de physique).
Université royale de Turin (cabinet de physique).
Lycée Spallanzani de Reggio (Emilia).
Lycée Volta de Côme.
Lycée Scipione Maffei de Vérone.
M. Michel de Rossi, à Rome.

PAYS-BAS (ROYAUME DES).

Administration du service des pompiers, à Amsterdam.
Fondation Teyler (cabinet de physique), à Haarlem.
M. Bosscha (Johannes), directeur de l'École polytechnique de Delft.

RUSSIE (EMPIRE DE).

Université impériale de Moscou (laboratoire de physique).

SUÈDE (ROYAUME DE).

Université de Lund.

SUISSE (CONFÉDÉRATION).

M. Colladon (Daniel).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Médailles d'or.

MM. Achard	France.
Ader	France.
Anglo-American Brush Electric Light Corporation limited	Angleterre.
MM. Arlincourt (d')	France.
Bright	Angleterre.
British Electric Light C°	Angleterre.
MM. Bürgin	Suisse.
Carels frères	Belgique.
Carpentier	France.
Charrière et C^ie	France.
Collin	France.
Compagnie des chemins de fer de l'Est	France.
Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans	France.
Compagnie générale belge de lumière électrique	Belgique.
Compagnie générale d'éclairage électrique	France.
MM. Crompton	Angleterre.
M^me De Vos	Belgique.
MM. Deschiens	France.
Digney	France.
Duboscq	France.
Ducretet et C^ie	France.
Dumoulin-Froment	France.
Elliott brothers	Angleterre.
Farcot (Joseph)	France.
Félix (Clément)	France.
Felten et Guilleaume Carlswerk	Allemagne.
Gaiffe	France.
Garnier (H.)	France.
Garnier (P.)	France.
Geissler	Allemagne.
M^lle Gloesener (Antonia)	Belgique.
MM. Gravier, Kuksz, Luedtke et Grether	Russie.
Gray (Elisha)	États-Unis.
Gülcher	Autriche.
Hardy, Hayet et Ingenieux, successeurs	France.
MM. Hefner von Alteneck	Allemagne.
Heilmann, Ducommun et Steinlein	Allemagne.
Henry-Lepaute	France.
Hipp	Suisse.
India Rubber gutta-percha and Telegraph Works C° limited	Angleterre.
MM. Jaspar	Belgique.
Jousselin	France.
Jürgensen et Lorenz	Danemark.
Kaiser	Pays-Bas.
Latimer Clark, Muirhead and C°	Angleterre.
Lartigue	France.
Le Boulengé	Belgique.
Lenoir	France.
Ménier	France.
Mercadier	France.
Méritens (de)	France.
Meyer	France.
Mors	France.
Nord-Deutsche Affinerie	Allemagne.
Officina Galileo (J. Golfarelli, directeur)	Italie.
MM. Olsen	Norvège.
Orduña y Muñoz	Espagne.
Otto (pour les moteurs à gaz exposés par la Compagnie française des moteurs à gaz, par MM. Fetu et Deliège et par la Gasmotoren fabrik zu Deutz)	Allemagne.
Piette et Krizik	Autriche.
Pollitzer	Autriche.
Postel-Vinay	France.
Rattier et C^ie	France.
Redier et G. Tresca	France.
Regnault	France.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Sautter, Lemonnier et Cie	France.
Schäffler (Otto)	Autriche.
Schubart	Belgique.
Sébert (lieutenant-colonel)	France.
Serrin	France.
Société des usines électro-métallurgiques d'Auteuil	France.
Société générale d'électricité (procédés Jablochkoff)	France.
Société Gramme	France.
Société lyonnaise de constructions mécaniques et de lumière électrique	France.
MM. Sôrensen	Suède.
Swan (J.-W.)	Angleterre.
Tainter (Sumner)	États-Unis.
Tesse	France.
United States Electric Lighting Co	États-Unis.
M. Van Rysselberghe	Belgique.

Médailles d'argent.

Administration de l'exploitation des chemins de fer de l'État	Suède.
Administration du chemin de fer de Lemberg à Czernowitz	Autriche.
MM. Apps	Angleterre.
Armengaud aîné	France.
Avenarius	Russie.
Ayrton et Perry	Angleterre.
Bailey et Puskas	États-Unis.
Barbier et Fenestre	France.
Barbier (E.)	France.
Baudet (Cyrille)	France.
Benoît (École d'horlogerie de Cluses)	France.
Berjot	France.
Billaudot	France.
Boivin	France.
Bonnet	Espagne.
Mme Bonis	France.
MM. Bonneau	France.
Bonwill (W.-G.-A.)	États-Unis.
Borrel	France.
Boudet de Paris	France.
Brasseur et de Jaer	Belgique.
Brotherhood	Angleterre.
Cail, Halot et Cie	Belgique.
Cardarelli	Italie.
Carlender	Suède.
Carré (Edmond)	France.
MM. Carré (Ferdinand)	France.
Cazésus	France.
Ceradini	Italie.
Chaligny et Guyot-Sionnest	France.
Chambrier	France.
Chameroy	France.
Chappée	France.
Chardin	France.
Charpentier	France.
Chauvin et Marin-Darbel	France.
Chenot aîné	France.
Closset	Belgique.
Compagnie anonyme des forges de Châtillon et Commentry	France.
Compagnie parisienne d'éclairage par l'électricité (ancienne Alliance)	France.
MM. Conolly brothers and Mac Tighe	États-Unis.
Consolidated Telephone Co and Maintenance	Angleterre.
MM. Crespin	France.
Daussin	Belgique.
Debrun et Law	France.
Dehennault-Bouillet	Belgique.
Desruelles et Bourdoncle	France.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Dobrokhotoff - Maïkoff	Russie.
Dolbear	États-Unis.
Duchemin	France.
Dujardin	France.
Dupont et Alker	Belgique.
Eccard	États-Unis.
École d'horlogerie de Paris	France.
M. Egger	Autriche.
Electric purifier Co	États-Unis.
Electro-dynamic Co	États-Unis.
MM. Ericson (L.-M.) et Cie	Suède.
Exchange Telegraph Co limited	Angleterre.
MM. Farcot (E.-D.)	France.
Fleuriais	France.
Fröhlich	Hongrie.
Fuisseaux (de) frères	Belgique.
Fyfe	Angleterre.
Geneste Herscher et Cie	France.
Gérard (A.)	France.
Gérard et Germot	France.
Ginori	Italie.
Guillemart (Edmond)	France.
Gurlt	Allemagne.
Hache et Pépin-Lehalleur	France.
Hartmann	Allemagne.
Hasler	Suisse.
Héquet	France.
Hubbard	États-Unis.
Humblot	France.
Jacquemier	France.
Jarriant	France.
Johnson and nephew	Angleterre.
Kaiserliche General-Direction der Eisenbahnen in Elsass-Lothringen	Allemagne.
MM. Kremenecky	Autriche.
La Orden et Bonnet	Espagne.
Le Goarant de Tromelin	France.
L'Hôte	France.
Lenczewski (Ladislas) et Cie	France.
Létrange et Cie	France.
Lermontow	Russie.
MM. Lcoht Labye (de)	Belgique.
Maiche et Cie	France.
Mandroux	France.
Marti (Fritz)	Suisse.
Mignon et Rouart	France.
Mildé fils	France.
Monnier	Suisse.
Montefiore-Lévi	Belgique.
Moquery	France.
Mouchel	France.
Müller	Allemagne.
Naglo Gebrüder	Allemagne.
Napoli	France.
Naudin et Schneider	France.
Newall	Angleterre.
Noé	France.
Olland	Pays-Bas.
Olry et Granddemange	France.
Petit (G.)	France.
Piat	France.
Philips (William)	États-Unis.
Pierucci	Italie.
Pond Indicator Co	États-Unis.
MM. Racagni et Guglielmini	Italie.
Radiguet (C.-A.)	France.
Raphael (Max)	Allemagne.
Rault et Chassan	France.
Renaudot et Magniny	France.
Reynier	France.
Richard	Italie.
Robey and Co	Angleterre.
Rouvier	France.
Sabine	Angleterre.
Saxby et Farmer	Angleterre.
Schweizer	Suisse.
Sedlacek	Autriche.
Mme Seguy (Veuve Hector et fils)	France.
M. Sieur	France.
Société anonyme de constructions mécaniques d'Anzin	France.
Société anonyme des hauts fourneaux, fonderies et forges de Franche-Comté	France.
Société anonyme de Grivegnée	Belgique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Société anonyme de Lessjöfors	Suède.
Société *la Force et la Lumière*	France.
Société nouvelle des forges et chantiers de la Méditerranée	France.
Société suisse de téléphones	Suisse.
MM. Spagnoletti	Angleterre.
Stohrer und sohn	Allemagne.
Suisse	France.
Taverdon	France.
Terral (jeune)	France.
Thiers	France.
Thomson Sterne and Cº limited	Angleterre.
MM. Tommasi	France.
Trouvé	France.
Van den Kerchove	Belgique.
Van Wetteren (Nicolas)	Pays-Bas.
Varrall, Elwell et Middleton	France.
Vavin	France.
Voss	Allemagne.
Weil (F.)	France.
Welsch	Belgique.
Wennman	Suède.
Western Electric manufacturing Cº	États-Unis.
Weston Electric Light Cº	États-Unis.
MM. Willot	France.
Wittwer et Wetzer	Allemagne.

Médailles de bronze.

M. Aboilard	France.
Académie d'aérostation météorologique	France.
MM. Alamagny et Oriol	France.
Albaret	France.
Amsler	Suisse.
Arnould	France.
Avoiron et Clément	France.
Bacle	France.
Baillehache (de)	France.
Ballat	France.
Ball	États-Unis.
Bandieri	Italie.
Barbey	France.
Barluet et Cie	France.
Barrière et Cie	France.
Bartelous	Belgique.
Baudet (Cloris)	France.
Beau (Nicolas)	France.
Beaufils	France.
Bédollière (de la)	France.
Bellet (Louis)	France.
Bernard	France.
Bessand et Cie	France.
Bigeon	France.
Biloret et Mora	France.
Bisson	France.
MM. Bizot	France.
Blakey, Emmot and Cº	Angleterre.
Blix	Suède.
Blondeau	France.
Blouzon	France.
Borgmann	Russie.
Boudreaux	France.
Boulet et Cie	France.
Bourdin (J.)	France.
Bourne	Angleterre.
Brand	Belgique.
Brunnschweiler et fils	Suisse.
Buss	France.
Cacheleux	France.
Callaud	France.
Cance	France.
Canson et Montgolfier	France.
Carue	France.
Castelli	Italie.
Cavignato	Italie.
Céfrey	France.
Chapuis	France.
Charle	Belgique.
Chavet	États-Unis.
Chertemps	France.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Chollet et Rézard	France.
Chutaux	France.
Combettes (de)	France.
Compagnie des bronzes.	Belgique.
Compagnie française du Celluloïd	France.
Compagnie internationale des téléphones de Bruxelles	Belgique.
Compagnie I. P. des chemins de fer de l'archiduc Rodolphe	Autriche.
Compagnie I. P. des chemins de fer de l'impératrice Élisabeth	Autriche.
MM. Cordier (père et fils aîné)	France.
Cottens	France.
Courtot	France.
Coxeter and son	Angleterre.
Croon et Cie	Pays-Bas.
Cumming	États-Unis.
Cuypers	Allemagne.
Dalifol et Cie	France.
Dandigny	France.
Davillé (Auguste)	France.
Dawans et Orban	Belgique.
Debayeux	France.
Deffez	France.
Delahaye	France.
Delamotte	France.
De la Taille	France.
Delaurier	France.
Delaye	France.
Deleuil	France.
Dolgorouki (Prince).	Russie.
Delsaux	Belgique.
Denis-Fouillet	France.
Dereviankine	Russie.
Desguin	Belgique.
Dion	États-Unis.
Direction der Altona-Kieler Eisenbahn-Gesellschaft	Allemagne.
MM. Dœrffel	Allemagne.
Dopfeld	France.
Dorizon	France.
Douce et Cie	France.
Dubos	France.
Ducousso frères	France.
Mme Dupont (Jeanne)	Belgique.
MM. Echenique	Espagne.
Eliaers	France.
Engel	France.
Engström (Edward).	Suède.
Estienne	France.
Evely	Belgique.
Fautrier	Italie.
Fein	Allemagne.
Ferry et Millet	France.
Flechet et Cie	Belgique.
Fontenilles	France.
Forest	France.
Foxcroft	Angleterre.
Frémond	France.
Frenais	France.
Frion et Thierré	France.
Galante	Espagne.
Gallet (Victor)	France.
Gary	France.
Gautier (Édouard).	France.
Gautret	France.
Geissler (Nicolas)	Russie.
Gerosa	Italie.
Geesbergen (Jean).	Belgique.
Gerzabeck, Zeller et Cie	Allemagne.
Giesbers	Belgique.
Giraud	France.
Gits	France.
Godager (Hans).	Norvège.
Goppelsroeder.	Suisse.
Grandfeld	Autriche.
Gras	France.
Grassi et Beux	France.
Gravollet	France.
Grin	France.
Grivolas	France.
Grosguénaint	France.
Guggemos	France.
Guichard et Cie	France.
Hamelle et Fleutelot.	France.
Hedges-Killingworth.	Angleterre.
Hempel	France.
Holmgren	Suède.
Hoosach Tunnel tri-nitroglicerine works	États-Unis.
MM. Horn	Allemagne.
Hospitalier	France.
Hubin	France.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM.	Humblot et Terral (Henri)	France.
	Hunebelle	France.
	Hurtu et Hautin	France.
	Hutchinson et Cie	France.
	Jacobs	Pays-Bas.
	Jacquez	France.
	Jean	France.
	Joly	France.
	Jordery	France.
	Journaux	France.
	Jowa	Belgique.
	Kern	France.
	Keiser et Schmidt	Allemagne.
	Kovaco	Russie.
	Lagarde	France.
	Laneuville et Pers	France.
	Lapointe	France.
	Latchinoff	Russie.
	Laveissière et fils	France.
	Leblanc et Loiseau	France.
	Leclère	France.
	Leduc	Belgique.
	Legat	France.
	Leguay	France.
	Lemoine	France.
	Lessing	Allemagne.
	Létard	France.
	Le Tellier et Verstraet	France.
	Letourneau	France.
	Liébert	France.
	Lionnet	France.
	Loiseau (Édouard)	France.
	Loiseau et Guichard	France.
	Luizard	France.
	Mangenot	France.
	Mantelet et Joly	France.
	Marcillac	France.
	Mathieu	France.
	Mayrhofer	France.
	Michel	France.
	Milchsack et Cie	Allemagne.
	Mills	Pays-Bas.
	Mirand fils	France.
	Mirandolle	Pays-Bas.
	Monti	France.
	Mouchère fils	France.
	Mourlon	Belgique.
	Mugna	Italie.
MM.	Nacfer	France.
	Neujean et E. Delaite	Belgique.
	Nigra	Italie.
	Noblet	France.
	Noel	France.
	O. Lawlor	Angleterre.
	Olin et fils	Belgique.
	Olivier	France.
	Olsen	France.
	Oré (le Dr)	France.
	Papin	France.
	Parent (Georges)	France.
	Partz	États-Unis.
	Paterson	Angleterre.
	Patry	France.
	Pelletier	France.
	Perez-Blancas	Espagne.
	Pérille	France.
	Périn-Grados	France.
	Petit (Pierre)	France.
	Photo-Relievo Co	États-Unis.
MM.	Piedras y Macho	Espagne.
	Planche fils	Belgique.
	Radiguet et fils	France.
	Raffard	France.
	Ragosine	Russie.
	Raikem	Belgique.
	Ransomes Head and Jefferies	Angleterre.
	Rebiceck	Autriche.
	Richez et Cie	Belgique.
	Rose (Victor)	France.
	Roullier et Arnoult	France.
	Rous	France.
	Sabel	Angleterre.
	Sacré	Belgique.
	Sambourg	France.
	Samson	France.
	Sax	Angleterre.
	Schneider et Cie	France.
	Serravalle	Italie.
	Seure	France.
	Skrivano	Russie.
	Slouguinoff	Russie.
	Smith	Angleterre.
	Société anonyme des câbles électriques, système Berthould, Borel et Cie	France.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Société anonyme de Skultuna	Suède.
Société anonyme *le Nickel*	France.
Société générale pour la fabrication de la dynamite	France.
Société parisienne de fonderie et laminage	France.
Société zurichoise d'études et constructions électriques	Suisse.
MM. Solignac et Cie	France.
Sommati di Monbello	Italie.
Stiff and sons	Angleterre.
Stoesser	France.
Tagaitschinoff	Russie.
Tegnander	Suède.
The Dowson Economic Gas Company	Angleterre.
MM. Tichomiroff	Russie.
Tissandier (Gaston)	France.
MM. Tostrup	Norvège.
Vaillant, Leclerc et Gourdon	France.
Vanderbiste	Belgique.
Van der Ploeg	Belgique.
Vandevelde	Belgique.
Van Hulle	Belgique.
Vauzelle et fils	France.
Videcoq	France.
Vigouroux et Andriveau	France.
Waelput	Belgique.
Wallis et Stevens	Angleterre.
Weiller et Montefiore-Lévi	France.
Whitecross Wire Company	Angleterre.
White House Mills	États-Unis.
MM. Williams	États-Unis.
Wilk	Allemagne.
Wisse Piccaluga et Cie	Pays-Bas.
Wolff	France.

DIPLOMES ET MÉDAILLES DES RÉCOMPENSES

Le dessin du diplôme des récompenses a été exécuté par M. Roty, graveur en médailles, en collaboration avec M. Lambert, architecte.

M. Dujardin, graveur, a été chargé de la gravure et du tirage de ce dessin, aux conditions stipulées dans le marché ci-dessous.

Entre M. Georges Berger, Commissaire général de l'Exposition internationale d'électricité, faisant élection de domicile au palais des Champs-Élysées, porte n° IV, d'une part;

Et M. Dujardin, graveur héliographique, demeurant à Paris, 28, rue Vavin, d'autre part.

Il a été convenu ce qui suit, sous la réserve expresse de l'approbation de M. le Ministre des Postes et des Télégraphes :

M. Dujardin se charge d'exécuter la planche de gravure héliographique destinée au tirage des diplômes de récompenses de l'Exposition internationale d'électricité, d'après le dessin exécuté par M. Roty, réduit à la dimension de 0m,53 de longueur, sur 0m,40 environ de hauteur.

Cette planche gravée, qui restera la propriété de l'administration de l'Ex-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

position, sera exécutée moyennant le prix à forfait de *douze cents francs*. La planche devra être terminée, prête à servir, vingt-cinq jours après la signature du présent marché. L'impression des diplômes sera faite sur papier véritable du Japon au prix de *un franc cinquante centimes par exemplaire*. Les titres et légendes des diplômes, ainsi que les noms des titulaires, seront imprimés en caractères typographiques, à raison de *un franc par exemplaire* suivant les indications fournies par le Commissaire général.

Le présent marché sera timbré et enregistré s'il y a lieu aux frais de M. Dujardin.

Fait double à Paris, le 1er octobre 1881.

L'adjudicataire,
P. DUJARDIN.

Le Commissaire général,
G. BERGER.

Vu et approuvé,

Paris, le 1er octobre 1881.

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,
COCHERY.

Les médailles des récompenses, portant à la face un buste lauré de profil de la République française et au revers une branche de laurier enlaçant un cartouche pour l'inscription en relief du nom du titulaire, furent commandées à M. Chaplain, graveur, membre de l'Institut.

Il fut décidé, par la Commission des finances, qu'une médaille commémorative de l'Exposition internationale d'électricité serait également frappée.

La commande de cette dernière médaille fut faite à M. Roty, graveur, auteur du dessin du diplôme des récompenses.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RAPPORTS

DU

JURY INTERNATIONAL DES RÉCOMPENSES

GROUPE I

CLASSES 3, 8, 9 ET 14

Le premier groupe avait à examiner tout ce qui touche à la production industrielle des courants électriques, et à leur utilisation soit pour l'éclairage, soit pour l'excitation de moteurs, et enfin les machines motrices actionnant les générateurs d'électricité. Si l'on considère que le palais de l'Industrie avait été transformé dans un de ses bas côtés en une vaste usine où plus de deux mille chevaux-vapeur étaient produits chaque soir, on reconnaîtra qu'aucun jury ne pouvait examiner et classer autant d'objets d'une nature aussi disparate.

Après avoir constitué son bureau, formé de M. DUMAS, président, M. VAN DER KERKWIJK, vice-président, et M. POTIER, rapporteur, le premier groupe décida de se subdiviser en quatre classes, correspondantes aux classes 3, 8, 9 et 14 du *Catalogue officiel* formant ainsi quatre jurys spéciaux qui constituèrent leurs bureaux respectifs ainsi :

CLASSE 3. — *Machines magnéto et dynamo-électriques.*

Président : M. CLAUSIUS.
Vice-président : M. POTIER.
Rapporteur : M. BOTTO.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Classe 8. — *Éclairage.*

Président : M. J.-B. Dumas.
Vice président : M. Rossetti.
Rapporteur : M. Violle.

Classe 9. — *Transport de la force.*

Président : M. J. Bertrand.
Rapporteur : M. Joubert.

Classe 14. — *Machines motrices.*

Président : M. Tresca.
Vice-président : M. Crampton.
Rapporteur : M. Luuyt.

Dans une séance ultérieure, le jury décida qu'une commission serait nommée, pour soumettre les appareils exposés, spécialement les générateurs de courants, et les appareils d'éclairage, aux expériences qu'il serait possible de réaliser avant la clôture de l'Exposition[1].

Cette commission avait à peine pu commencer ses travaux lorsque le jury a décerné ses récompenses ; ils doivent faire l'objet d'un rapport spécial.

Les quatre jurys de classe ont visité séparément les objets soumis à leur examen ; beaucoup d'exposants appartenant à la fois à plusieurs classes, notamment pour les classes 3 et 8, plusieurs réunions du groupe entier ont eu lieu, le jury ayant décidé de ne donner qu'une récompense à chaque exposant.

Les classes 8 et 14 ont entre elles, et avec les classes 3 et 9, des rapports bien moins intimes que ces dernières entre elles ; il importe assez peu, pour juger un générateur d'électricité, de savoir quel système de chaudière, quelle disposition de moteur ont été adoptés, mais seulement de savoir quelle quantité de travail il consomme ; il y a tout au plus lieu d'examiner si, à raison de la vitesse à laquelle il doit fonctionner normalement, il peut s'accoupler plus ou moins économiquement avec les moteurs

1. Voir le rapport de cette commission à la fin du second volume.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

industriels. Il en est encore de même pour la lumière ; les bougies qui, après l'invention de M. Jablochkoff, ont tant contribué à la vulgarisation de l'éclairage électrique, peuvent être entretenues par toutes les machines à courants alternatifs, dynamo ou magnéto-électriques ; on peut en dire autant, à plus forte raison, de l'arc voltaïque et des lumières à incandescence, pour lesquels tous les générateurs de courants, continus ou alternatifs, peuvent être employés ; certains régulateurs exigent cependant des courants continus ; mais on peut dire en général que tous les types de machines, pourvu qu'on leur donne des dimensions et des vitesses convenables, peuvent entretenir un foyer électrique, c'est-à-dire fournir à celui-ci la quantité d'électricité qu'il demande ; tandis que, la même quantité d'électricité, le même travail électrique, produiront des résultats différents, suivant la construction du mécanisme du régulateur, la nature et la dimension des charbons, etc., etc., détails qui sont caractéristiques de la lampe.

Au contraire, les qualités qu'on doit demander aux moteurs électriques sont celles que l'on recherche dans les générateurs d'électricité : champ magnétique intense, faible dépense relative de travail électrique dans la machine même, simplicité et solidité de construction, modicité du prix. Toute machine à courants continus est en même temps un moteur électrique ; dans beaucoup d'applications, et peut-être d'une manière peu judicieuse, on a même employé des machines à lumière pour la transmission de la force. Il n'y a donc pas lieu à description spéciale des moteurs.

M. Violle, rapporteur de la classe 8, et M. Luuyt, rapporteur de la classe 14, ayant bien voulu me confier leurs rapports, ceux-ci sont publiés *in extenso* ci-après ; je ne me suis occupé que des machines dynamo et magnéto-électriques.

POTIER,

Ingénieur en chef des mines,
Professeur à l'École Polytechnique
et à l'École des Mines.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSES 3 ET 9

CLASSE 3. — MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES ET DYNAMO-ÉLECTRIQUES.
CLASSE 9. — MOTEURS ÉLECTRIQUES, TRANSPORT DES FORCES.

Résumé historique et types principaux de machines.

Toutes les machines utilisées aujourd'hui pourla production des courants électriques sont fondées sur l'induction ; c'est-à-dire que les courants y sont engendrés par le déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique ou par la variation d'intensité de ce champ ; causes reconnues toutes deux par FARADAY ; il serait cependant injuste de rappeler ce nom seul en tête de ce rapport, car c'est à AMPÈRE et ARAGO que l'électromagnétisme doit son existence.

La première machine de Pixii, et ses dérivés directs, Saxton, Clarke, Nollet, Holmes, utilisent les courants qui se produisent dans une hélice entourant un noyau de fer doux, dont le magnétisme est excité dans un sens, puis renversé, un grand nombre de fois par minute ; on produit ainsi un très grand nombre de courants alternatifs, qu'un commutateur peut redresser s'il est nécessaire. Aujourd'hui encore la machine de l'ALLIANCE fonctionne ainsi ; les changements de magnétisme sont produits en faisant passer successivement les noyaux devant une série de pôles d'aimants alternés [1].

M. WILDE a montré que l'on pouvait augmenter la production de ces machines, en substituant aux aimants permanents des électro-aimants qui sont beaucoup plus puissants, de sorte que ses machines se composent de deux machines ; l'une, *excitatrice*, doit fournir le courant qui produit l'ai-

1. Un progrès important pour les machines de faible force avait été néanmoins réalisé par Siemens et Halske (1854) par la construction de l'*armature* de Siemens ; le fer doux y tourne sur son axe même, et est garni de fil, dans deux rainures longitudinales.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mantation des électro-aimants, l'autre qui produit le courant véritablement utilisé ; dans ces machines le courant des électro-aimants, provenant d'une machine à courants alternatifs redressés, est naturellement très variable d'intensité à chaque instant.

Peu de temps après l'introduction de cette idée fondamentale, MM. Varley, W. Siemens et Wheatstone proposèrent presque simultanément de se servir du courant même de la machine pour exciter les électro-aimants ; le magnétisme rémanent de ceux-ci suffit pour produire un courant, très faible d'abord, qui parcourt le fil des électro-aimants, les renforce, et se renforce par conséquent lui-même indéfiniment, ou plutôt jusqu'à ce que les électro-aimants soient saturés ; la machine peut donc être simplifiée.

Cependant la première disposition, avec machine excitatrice séparée, est encore usitée, soit pour l'éclairage, soit pour la galvanoplastie, dans un grand nombre de cas.

Cette première machine de M. Wilde, qui date de 1866, a été la première machine vraiment industrielle, et a été employée par son auteur à la galvanoplastie. Elle fut suivie des machines Siemens, et en 1867, l'armée prussienne était pourvue d'une machine dynamo-électrique manœuvrée à la main par 40 hommes ; de son côté Ladd avait également construit sur le même principe, et toujours en employant l'armature de Siemens, une machine dynamo-électrique puissante.

A cette époque il semblait qu'il n'y eût plus de grands progrès à faire, et aucun n'a été réalisé depuis, en utilisant le même principe, l'induction dans un fil par le changement du magnétisme dans le fer qu'il entoure. On ne peut pas arriver par l'emploi de ce principe à des courants réellement continus ; ils sont naturellement alternatifs et si on les redresse avec un commutateur [1], leur intensité varie, très rapidement il est vrai, d'un certain maximum à zéro ; de plus on n'obtient de courants un peu énergiques qu'à condition de multiplier les changements de sens de l'aimantation un grand nombre de fois par minute : il en résulte un échauffement très notable du fer, assez fort pour détruire l'isolant du fil enroulé autour de ce noyau ; inconvénient pratique bien plus grave que la perte théorique qui résulte de la transformation en chaleur d'une partie du travail moteur.

D'un autre côté des tentatives furent faites pour produire sans redressement des courants méritant le nom de continus. Le docteur Werner Sie-

1. Voir cependant plus loin la machine von Hefner Alteneck à courant continu, sans âme de fer doux, comme exemple de transformation de courants alternatifs en courants continus.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MENS a exposé, sous le nom de machine-assiette, ou *Teller-maschine*, un essai tenté par lui en 1853 ; de petits électro-aimants étaient fixés sur le bord d'un cône plat, roulant sur un plan où étaient disposés radialement des aimants permanents ; les électro-aimants forment deux séries où les courants induits sont de sens contraire et les prises de courant se font dans le circuit commun formé de tous ces fils, précisément aux deux points où le courant change de sens, disposition qui se retrouve dans les machines suivantes : cette machine fort petite, destinée à fournir des courants continus à la télégraphie, resta à l'état de modèle.

Plus tard, M. PACINOTTI fit paraître, dans le *Nuovo Cimento* de juin 1864, la description d'un moteur électro-magnétique fort intéressant ; deux électro-aimants verticaux ont leurs extrémités supérieures de nom contraire, en face des deux extrémités d'un diamètre d'un anneau de fer doux denté, entouré entre les dents d'un fil enroulé, dont les spires passent par l'axe de l'anneau, qui est un axe de rotation vertical ; ce fil est fermé sur lui-même. De distance en distance, se détachent du fil des conducteurs aboutissant à la partie inférieure du cylindre axe de l'anneau, et terminés par des plaques conductrices isolées les unes des autres ; celles-ci, par suite du mouvement de rotation de l'anneau, arrivent successivement en contact avec deux galets diamétralement opposés, en rapport avec les pôles d'une pile dont le courant passe par l'électro-aimant ; le courant de cette pile arrive par un des galets, monte à l'anneau, se bifurque dans celui-ci, ou mieux dans le fil qui le recouvre ; les deux courants dérivés se réunissent dans le conducteur opposé à celui de l'entrée, et passent au deuxième galet ; le fil entourant l'anneau est ainsi converti en deux solénoïdes opposés bout à bout et le fer doux annulaire en électro-aimant à deux pôles conséquents fixes dans l'espace pendant le mouvement du système, mouvement qui est déterminé par les actions réciproques des pôles des électro-aimants fixes, et de ceux de l'anneau de fer doux ; le mouvement est continu, et l'anneau sollicité par un couple à peu près constant, et toujours de même sens comme dans la roue de BARLOW, appareil avec lequel la roue de M. PACINOTTI présente quelque rapport.

En étudiant ce petit moteur, M. PACINOTTI reconnut qu'il y avait avantage à épanouir les pôles de ses électro-aimants, pour augmenter le couple agissant sur l'anneau ; puis il ajoute que ce moteur peut devenir un générateur de courants continus, qu'il suffit pour cela de substituer un aimant fixe aux électro-aimants, ou d'exciter ceux-ci par un courant extérieur, et indique nettement la réversibilité de sa machine ; cependant il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n'a pas eu l'idée de faire exciter ses électro-aimants verticaux par le courant excité lui-même, ce qui peut, *aujourd'hui*, paraître étonnant, puisqu'il suffisait, sans déranger les communications et les galets, d'imprimer un mouvement de rotation à l'anneau ; le magnétisme rémanent laissé par les expériences antérieures eût suffi pour transformer l'appareil en machine dynamo-électrique, telle qu'elle est comprise aujourd'hui [1].

La description publiée dans le *Nuovo Cimento* n'attira pas l'attention à cette époque, et pas plus en Italie qu'ailleurs on ne songea à utiliser le nouvel appareil à la production industrielle de l'électricité.

En 1869, M. Gramme réinventa l'anneau de M. Pacinotti, en partant de considérations toutes différentes ; il se proposait d'utiliser les courants se produisant dans une hélice que l'on fait mouvoir parallèlement à la longueur d'un aimant qui en occupe l'axe, courants qui restent de même sens tant qu'on n'atteint pas une des lignes neutres de l'aimant.

La suppression des parties saillantes de l'anneau Pacinotti, par suite le remplissage presque complet du champ magnétique par le fil conducteur, la substitution d'un faisceau de fil de fer à l'anneau de fer doux, puis l'introduction du collecteur, formé de secteurs épais de cuivre séparés par un isolant, et groupés en un cylindre solide sur lequel s'appuie une paire de balais, enfin la disposition éminemment pratique des électro-aimants, devenus partie intégrante du bâti de la machine, sont autant de traits distinctifs de la machine Gramme ; le collecteur, et le bâti transformé en électro-aimant à points conséquents ont de tels avantages pratiques, que toutes les machines à courant continu les ont empruntés (sauf toutefois la machine Brush, dont le collecteur est un simple redresseur de courants).

1. Indépendamment de la machine décrite dans le *Nuovo Cimento*, M. Pacinotti a exposé deux autres modèles, l'un très analogue à la machine Siemens, l'autre d'un enroulement nouveau. Supposons qu'un fil parte du centre d'une circonférence, en suivant un rayon, puis arrivé à la circonférence, la suive sur près de 180°, retourne au centre, le dépasse de la longueur du rayon, suive de nouveau la circonférence sur près de 180° et ainsi de suite, de manière à former une série de D disposés un peu en avance les uns sur les autres ; lorsque la barre verticale du D a tourné de 360°, on soude les deux extrémités libres ; on obtient aussi un conducteur fermé sur lui-même, qui peut être divisé en segments dont les extrémités sont rattachées aux touches d'un collecteur, dont les parties diamétralement opposées serviront de prises de courants ; la rotation d'un pareil disque en face des pôles épanouis d'un électro-aimant en fer à cheval, ou mieux entre les pôles de deux électro-aimants opposés produit un courant assez fort : M. Pacinotti indique qu'avec une dépense d'environ 1 cheval, il a obtenu un petit arc, et fait rougir un fil de fer de $0^{mm},6$ de diamètre et $0^{m},25$ de long. Cette disposition permet de remplir complètement le champ de fil, mais n'utilise que les portions radiales de celui-ci, et encore les parties voisines du centre ont-elles peu d'effet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A partir de ce moment l'usage des machines dynamo-électriques se répandit rapidement.

La société GRAMME exposait, à titre de document historique, les diverses formes données à cette machine depuis la machine présentée en 1869 à l'Académie des sciences, et qui pouvait être excitée soit par des aimants permanents, soit par des électro-aimants, jusqu'au type si connu aujourd'hui et si répandu sous le nom de type d'atelier.

M. BREGUET a rendu populaire une machine Gramme de laboratoire, à aimant permanent Jamin, avec laquelle un homme produit aisément une force électro-motrice de 12 à 15 volts environ à la vitesse normale.

MM. MIGNON et ROUART, MM. HEILMANN-DUCOMMUN et STEINLEN, la BRITISH ELECTRIC LIGHT C°, M. JASPAR, construisent la machine dite type d'atelier; tandis que MM. SAUTTER et LEMONNIER, spécialement préoccupés des applications de l'éclairage électrique aux services de la guerre et de la marine, construisent en outre des machines plus puissantes. L'association sur un même châssis, de la chaudière, d'une machine Brotherhood actionnant directement une machine dynamo-électrique, l'application à l'arc voltaïque du réflecteur MANGIN [1] ont permis à ces constructeurs de produire des appareils peu volumineux d'une très grande puissance optique, et qui constituent pour les services militaires un auxiliaire précieux et estimé.

Dans d'autres types, et spécialement dans ceux des machines destinées à la transmission de la force, M. GRAMME établit quatre champs magnétiques, de polarités alternées, au lieu de deux autour de l'anneau; il faut alors 4 balais; tout le système est renfermé dans un bâti de fonte de forme octogonale; la machine est compacte et les organes délicats protégés.

Les premières machines industrielles de M. Gramme avaient été utilisées dans les ateliers de MM. Christofle et C^ie^ pour l'argenture dès 1872; depuis cette époque les piles ont été supprimées, et un dépôt de 600 grammes d'argent à l'heure, pour $\frac{3}{4}$ de cheval, est obtenu d'une manière courante. Les machines sont pourvues d'un brise-courant qui ouvre le circuit dès que l'intensité du courant tombe au-dessous d'une certaine valeur; celui-ci ne peut donc se renverser, ni induire dans les électro-aimants un magnétisme inverse, dont le résidu suffirait pour déterminer le renversement du courant, dans le cas d'arrêt suivi de remise en marche de la machine motrice; l'effet de la polarisation des électrodes est ainsi annulé.

M. Gramme a été plus loin encore et a construit pour la Nord Deustche

1. Dans ces appareils, les charbons ne sont pas directement opposés; ils sont de plus inclinés, de manière à découvrir complètement le cratère positif dans la direction où la lumière soit être envoyée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Affinerie, à Hambourg, pour MM. OEschger et Mesdagh en France des machines destinées à l'affinage du cuivre ; dans cette opération le cuivre impur est plongé dans un bain de sulfate de cuivre, et le courant le transporte au pôle négatif ; la polarisation de ces bains, causée uniquement par les impuretés du cuivre, est très faible, une très faible force électro-motrice suffit donc, mais il est important que la résistance soit excessivement faible ; l'anneau induit se compose de 40 segments, divisés en 2 séries correspondant à deux commutateurs, situés de part et d'autre de l'anneau. Chacun de ces segments se compose de deux spires, formées de 7 bandes de cuivre, de 10 millimètres de largeur et de 2,8 millimètres d'épaisseur. La résistance de l'anneau est de 4 dix millièmes de ohm, ou de 1 dix millième, suivant que ses deux moitiés sont associées en série ou en quantité ; celle des feuilles de cuivre qui entourent les noyaux de fer doux des électro-aimants est de 11 dix millièmes de ohm, ou de 2, 8, suivant leur mode d'association ; les 4 balais de la machine ont chacun une surface de contact de 24 centimètres carrés ; le poids du cuivre de la machine est de 735 kilogrammes, et le poids total 2,500 ; la force électro-motrice est de 4, ou de 8 volts, suivant l'accouplement, avec une vitesse de 500 tours par minute (diamètre de l'anneau $0^{m},365$).

La maison SIEMENS ne pouvait rester à l'écart du grand mouvement qui suivit l'apparition de la machine Gramme. Son éminent ingénieur, M. VON HEFNER-ALTENECK, produisait en 1873 une machine dont l'induit est formé d'une carcasse cylindrique en fer, enveloppée extérieurement de fils de cuivre, en forme de pelote allongée ; toutes les parties du fil parallèles à l'axe sont directement soumises à l'action des pôles magnétiques ; ce fil est divisé en segments dont les extrémités sont reliées à des plaques formant secteurs d'un disque circulaire, normal à l'axe, sur lequel appuient deux petits galets qui prennent le courant ; à l'intérieur de la carcasse mobile se trouvait un cylindre de fer doux ; cette carcasse était maintenue à ses deux extrémités par deux disques portant en leur centre des portées creuses frottant sur axe fixe ; à l'un des disques était fixée une poulie transmettant le mouvement. Les électro-aimants disposés de part et d'autre de la machine ont leurs pôles de même nom reliés par des barres méplates de fer forgé, courbées en axe de cercle, embrassant de près sur les $\frac{2}{3}$ de sa circonférence, et sur toute sa longueur, la surface cylindrique de la pelote de fil de cuivre. Avec cette disposition la pelote tourne successivement dans deux champs magnétiques d'une grande intensité constitués chacun par les armatures de fer des électro-aimants et la partie voisine du cylindre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de fer doux qui prend une polarité opposée à celle de l'armature ; mais on ne tarda pas à reconnaître : 1° que la complication introduite par l'immobilité de cylindre intérieur n'était pas compensée par l'avantage théorique de laisser immobile le fer chargé de magnétisme; que d'ailleurs, cette pièce était le siège de courants d'induction fort nuisibles ; 2° que le mode de collection par galets roulant sur les secteurs était inférieur de beaucoup au collecteur Gramme. M. von Hefner-Alteneck solidarisa alors le fer doux intérieur avec la pelote, puis employa le collecteur Gramme et le mode d'attache des extrémités de chaque segment à la touche correspondante du collecteur; l'enroulement du fil reste donc la disposition caractéristique de ces machines, c'est celui qui sera désigné sous le nom d'enroulement Siemens ; la disposition des quatre barres d'électro-aimants réunies des deux côtés de la pelote par des barres de fer méplat et courbées donne un air de famille à toutes les machines de puissance différente construites par les maisons SIEMENS et HALSKE, de Berlin, SIEMENS BROTHERS, de Londres, et SIEMENS frères, de Paris.

Là aussi nous rencontrons à côté des machines à fil fin destinées à la transmission de la force, à fil fin et grande résistance, à *haute tension*, des machines de *quantité* où le circuit induit a une section de 13 centimètres carrés et une résistance de 7 dix millièmes d'ohm ; chacune de ces machines employées dans les usines d'Oker (Communion Hüttenamt) à l'affinage du cuivre traite par jour (dans douze bains) 300 kilogrammes de métal.

Les machines Gramme et Siemens constituent d'excellents types, déjà entrés largement dans la pratique industrielle, mais ce ne sont pas des machines théoriquement parfaites, et il n'est pas interdit d'espérer des résultats meilleurs encore ; l'exposition de la maison Siemens et Halske montrait à titre d'essai deux machines d'un genre absolument nouveau dues au docteur WERNER SIEMENS.

Dans la machine *unipolaire*, on fait tourner entre un cylindre creux de fer doux, qui constitue le pôle épanoui d'un électro-aimant, et une branche d'un fer à cheval de polarité opposée qui en est l'axe, un cylindre de cuivre, dans lequel se produisent des courants faciles à recueillir par des frotteurs appropriés placés aux deux extrémités du cylindre ; mais même en donnant au pôle la forme d'un tube de 1^m,16 de long, de 0^m,16 de diamètre extérieur, et de 0^m,9 de diamètre intérieur, la force électromotrice, avec une vitesse de 7 à 800 tours, et un courant excitateur fort intense (jusqu'à 130 ampères) atteignait à peine trois quarts de volt.

Dans un autre modèle de machine, le même fil qui produit l'excitation

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des aimants inducteurs est en même temps induit par eux; l'aimant est un cylindre creux de fer doux, fendu sur un tiers environ de sa circonférence et le fil est enroulé parallèlement aux génératrices et suivant le mode Gramme, formant un solénoïde à axe curviligne, dont la section est très allongée suivant la direction de ces génératrices ; il est divisé en segments, dont les points de jonction répondent aux touches d'un commutateur. Les cadres qui portent ces segments sont fixes et le cylindre de fer tourne; les faces polaires sont les faces parallèles aux génératrices qui limitent la fente; sa rotation excite dans le fil des courants qui excitent à leur tour son magnétisme.

Ces modèles, qui demanderaient de grandes modifications pour être transformés en machines industrielles, n'étaient exposés que pour témoigner de l'activité intellectuelle et de l'incessante tendance vers le mieux qui règnent dans la maison Siemens, et dont la nouvelle machine à courants continus de M. von Hefner-Alteneck (décrite après les machines à courants alternatifs) est encore une preuve.

Les deux types, Gramme, Siemens, et surtout le premier, ont été modifiés par un grand nombre de constructeurs; ce sont ces modifications qui vont être décrites sous le nom de machines à courants continus, les machines à courants alternatifs faisant l'objet d'un paragraphe spécial.

Machines à courants continus.

En ce qui touche spécialement le groupe 1, il a été exposé au nom de M. Edison un ensemble complet d'éclairage électrique, comprenant le moteur à vapeur, la machine dynamo-électrique, la distribution, et enfin les célèbres lampes.

Le moteur est une machine à simple effet, qui a marché à une vitesse atteignant 375 tours par minute, dont l'arbre est attelé sur l'axe même de la bobine induite; un régulateur à ressorts agit sur l'excentrique commandant l'échappement, en modifiant son calage suivant que la machine s'accélère ou se ralentit; l'ouverture du régulateur reste fixe pour une vitesse déterminée de la machine, qui doit être réglée d'après le nombre des lampes à entretenir.

La machine dynamo-électrique peut être considérée comme une machine du type von Hefner-Alteneck à courants continus, mais ses dimensions et quelques détails de construction l'en différencient nettement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La bobine induite est formée de 138 barres de cuivre disposées régulièrement suivant les génératrices d'un cylindre de 67 centimètres de diamètre, renfermant l'armature de fer doux ; mais aux bouts de fil inutiles à la production de l'électricité, qui forment les deux parties hémisphériques de la bobine allemande, M. Edison a substitué des disques très minces de cuivre, qui sont empilés sur les bases du cylindre de $1^{m},20$ de longueur dont il vient d'être parlé ; ces disques sont isolés les uns des autres par des feuilles de mica et réunissent l'extrémité d'une barre à celle presque diamétralement opposée qui lui succède dans le circuit ; le même isolant sépare ces barres de l'armature interne. Le commutateur, semblable aux commutateurs Gramme ordinaires, porte 69 segments ; le courant est pris par des balais en fil de cuivre.

Les électro-aimants inducteurs et leurs pôles épanouis sont proportionnés à la grandeur de l'induit. Ces pôles sont au nombre de deux ; sur la masse du pôle supérieur sont implantés horizontalement, et perpendiculairement à l'axe de la machine, cinq cylindres de fer portant les spirales magnétisantes ; le pôle inférieur, relié magnétiquement au bâti de la machine, porte trois cylindres semblables, et les extrémités opposées aux pôles de ces huit cylindres sont fixées à une culasse commune.

Ces électro-aimants sont placés en dérivation sur le courant principal et forment deux circuits de quatre électro-aimants assemblés en série ; la résistance de chacun d'eux est de $3^{ohms},35$, ce qui donne pour leur ensemble, étant donné le mode d'accouplement, une résistance de $6^{ohms},7$, tandis que le circuit induit a une résistance de $0^{ohm},009$; de plus on peut introduire, au moyen d'un rhéostat, une résistance extérieure dans le circuit des électro-aimants ; on peut ainsi régler le magnétisme de l'inducteur, sans augmenter d'une manière appréciable la résistance du circuit général.

Le courant produit est lancé dans deux conducteurs de très grande section, entre le potentiel desquels règne une différence très sensiblement constante et égale à la force électro-motrice de la machine ; on peut imaginer que chaque lampe soit placée dans un circuit aboutissant aux deux bornes de la machine ; les lampes étant sensiblement identiques, si ces circuits sont également résistants, l'intensité du courant sera la même dans chaque lampe. On réalise très sensiblement cette condition en donnant aux groupes de deux conducteurs sur lesquels doivent s'embrancher les lampes une section proportionnelle à leur longueur et au nombre des lampes à desservir, chaque lampe ayant une résistance de 140 ohms, considérable par rapport à celle du circuit proprement dit.

Dans les conditions où les lampes se trouvaient placées, une diffé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rence de potentiel de 106 volts en moyenne aux deux bornes y occasionnait un courant de 0,76 ampères et donnait une lumière estimée à 16 candles, soit un carcel type et demi environ, en consommant un travail de $\frac{1}{10}$ de cheval. La différence de potentiel aux deux bornes de la machine était de 110 volts. La machine motrice demandait, dit-on, 125 chevaux de force pour alimenter 1,000 lampes et produire, par conséquent, avec cette force électro-motrice, un courant de 760 ampères, dont l'intensité justifie la grande section des barres constituant l'anneau induit.

La marche de la machine est réglée par un homme qui observe une lampe au photomètre et fait modifier en conséquence l'ouverture du régulateur, ou la résistance de l'inducteur, suivant les circonstances.

On sait que la lampe Edison est un filament de charbon produit par la carbonisation d'un petit fragment d'un bambou du Japon, allongé dans le sens des fibres ; un courant trop intense la détruirait rapidement : pour éviter que de pareils courants ne circulent passagèrement, un petit fil d'alliage fusible, placé dans le circuit spécial de chaque lampe, et aussi à l'origine du circuit alimentant un groupe de lampes, sépare la lampe ou le groupe de lampes du circuit général, sans augmentation du courant d'ensemble, puisqu'on peut dire que la résistance du circuit extérieur est en raison inverse du nombre des lampes allumées.

Le système est complété par des compteurs d'électricité de deux sortes. L'un, compteur d'usine, pour ainsi dire, est une balance, au fléau de laquelle sont attachées deux plaques de cuivre équilibrées plongeant dans deux vases contenant une dissolution de sulfate de cuivre ; le courant passe dans ces vases et dans les plaques de telle sorte que l'une se dissout quand l'autre se charge de cuivre ; l'équilibre est rompu, et lorsque le fléau forme avec l'horizontale un angle déterminé, un commutateur change le sens du courant ; le fléau ne tarde pas à se déplacer en sens contraire jusqu'à ce qu'il produise un nouveau changement de sens du courant ; à chaque oscillation correspond le dépôt d'une quantité déterminée de cuivre ou le passage d'une certaine quantité d'électricité ; il n'y a donc qu'à monter sur l'axe du fléau un compteur totalisant ses oscillations.

L'autre compteur est destiné aux abonnés de l'éclairage Edison : c'est un voltamètre ordinaire à sulfate de cuivre placé en dérivation sur le circuit entrant chez l'abonné ; il suffit de peser le cuivre pour connaître la quantité d'électricité entrée ; il faut, pour que cette mesure soit exacte, que la résistance de la dérivation soit maintenue constante et que sa température ne varie pas. A cet effet une lampe est placée dans la petite armoire contenant le voltamètre (ou plutôt les voltamètres, car il y en a un de con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trôle) ; lorsque, par la suite d'un abaissement de température, la résistance du circuit de dérivation diminue, un thermomètre bimétallique se courbe et introduit la lampe dans le circuit.

Tel est dans ses traits principaux le système Edison ; la machine dynamo-électrique n'en est pas le côté le moins original ; la connexion directe du moteur, la vitesse angulaire relativement faible de l'anneau, le rapport considérable de la force électro-motrice à la résistance intérieure de la machine, sont à signaler.

A côté de cette puissante machine, M. Edison en exposait une autre, dont voici les éléments principaux, et qui est dite de 52 volts, et destinée à entretenir des lampes petit modèle équivalant à 1 carcel. Les électro-aimants sont ici verticaux ; l'armature a 150 barres, d'où 75 touches au commutateur ; la résistance de l'induit était de $0^{ohm},02$; celle du circuit inducteur, 56 ohms ; la résistance des conducteurs étant de $0^{ohm},36$, la vitesse de la machine de 1,250 tours par minute, elle doit alimenter, en dépensant $11^{chevaux},11$, 200 lampes de 70 ohms de résistance, entre les extrémités desquelles doit exister une différence de 52 volts.

La WESTON ELECTRIC LIGHT C° a exposé une machine à galvanoplastie, de très petit volume, sur laquelle on n'a pu avoir de renseignemnets, et qui paraît être une machine à courants alternatifs d'un système semblable aux machines Lontin, mais munie d'un redresseur de courants.

La même Compagnie a exposé aussi une machine à lumière, dont l'aspect est celui des machines Gramme, pour la disposition de l'électro-aimant à points conséquents, formé par quatre barres horizontales réunies à leurs extrémités par deux culasses et portant en leur milieu les pôles épanouis, tandis que la bobine induite porte l'enroulement Siemens. Les lames du collecteur sont légèrement obliques, avec calage mobile. Les pôles épanouis sont refendus perpendiculairement à l'axe de la machine et présentent ainsi une série de languettes ; l'armature de l'induit se compose d'une série de disques en fer (36) enfilés sur l'axe, découpés en forme de roue dentée à 16 dents, et séparés par des intervalles égaux à leur épaisseur ; ces dispositions assurent une ventilation énergique.

Les lampes sont placées en série sur un seul circuit ; elles sont différentielles. L'électro-aimant régulateur est entouré de trois bobines ; l'intérieure et l'extérieure, en fil fin, montées en dérivation sur les bornes de la lampe, font partie d'un seul circuit ; la bobine intermédiaire est parcourue par le courant total. L'armature de cet électro-aimant est mobile dans le sens vertical, perpendiculairement à l'axe et parallèlement à la face plane des noyaux de fer doux ; elle entraîne avec elle une griffe. Celle-ci, à tra-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vers laquelle passe le charbon positif, le coince en se relevant, et le laisse glisser quand elle s'abaisse ; une cataracte régularise et adoucit ces mouvements.

L'UNITED STATES LIGHTING C° expose le système MAXIM, fonctionnant au moyen de lampes à incandescence de ce nom, placées toutes en dérivation, comme les lampes Edison.

Les machines dynamo-électriques ont l'aspect des machines Siemens, mais l'enroulement est celui de Gramme ; à l'Exposition, comme à Londres, une des machines servait d'excitatrice aux autres et portait un régulateur spécial, réglant automatiquement le courant de l'excitatrice [1] ; dans ce but, un électro-aimant à fil fin, placé en dérivation sur le circuit des lampes, agit sur une armature portant un cliquet à deux dents opposées ; ce cliquet reçoit de l'arbre de la machine un mouvement de va-et-vient ; il est suspendu entre deux roues dentées qu'il n'actionne pas tant que le courant a sa force normale ; si celle-ci augmente ou diminue, le cliquet agit sur l'une ou l'autre des roues dentées et fait alors tourner dans un sens ou dans l'autre le porte-balais, et rapproche ou éloigne les balais des points neutres.

Les touches du collecteur sont en forme de V obtus pour assurer le contact sur deux touches au moins. Ce régulateur est complété par un électro-aimant de sûreté, au moyen duquel on place immédiatement en dérivation l'inducteur de la machine excitatrice, quand le courant général dépasse une certaine limite.

La lampe fonctionne dans un vide presque complet. Le filament charbonneux provenant de la calcination du carton, puis formé dans des vapeurs de carbure d'hydrogène, est beaucoup moins résistant que celui de la lampe d'Edison ; la résistance à froid de 48 ohms peut descendre à 28 ou à 22, suivant que la lampe est traversée par des courants de $2^{\text{ampères}},2$ ou $4^{\text{ampères}},5$; l'intensité lumineuse varie également avec l'intensité du courant et passe de 29 candles à 416, correspondant à des travaux de $14^{\text{km}},8$ et de 44 kilogrammètres par seconde ; le pouvoir lumineux a même été poussé jusqu'à 800 candles, mais la lampe a été immédiatement détruite (renseignements donnés par M. Crookes).

1. Un autre essai de réglage automatique se trouvait représenté à l'Exposition. M. CHAMEROY a proposé de régler l'intensité du champ magnétique en écartant les armatures de l'anneau induit; celles-ci sont éloignées par un électro-aimant puissant traversé par le courant général.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La Compagnie WHITE-HOUSE-MILL expose une machine, où les bobines induites, dépourvues de fer doux, sont montées sur des noyaux en bois ; chacune d'elles sert successivement d'excitatrice pour les électro-aimants, dont le courant est redressé par un collecteur à six segments : cette machine, qui porte le nom d'*Arago disc*, serait destinée à produire de l'électricité pour les besoins de la télégraphie.

Une autre machine, formée en réalité d'une excitatrice et d'une machine à lumière, porte sur son axe deux disques à bobines, l'un de 8 pour les électro-aimants, l'autre de 6 pour les lampes.

Dans une autre disposition, l'arbre porte deux commutateurs, l'un de 6 segments, l'autre de 24 ; à chacun des électro correspond une poupée portant 3 fils aboutissant à ceux de ces segments qui porteraient les numéros 1, 9, 17 pour l'un des électro-aimants, 2, 10, 18 pour l'autre, et ainsi de suite.

M. BÜRGIN a modifié l'anneau de la machine Gramme, en distribuant le fil induit sur une série d'anneaux parallèles entre eux et montés sur le même axe ; on peut dès lors, avec un même diamètre, augmenter la longueur du fil induit, tout en diminuant le nombre des couches qui composent chaque anneau ; le système devient plus facile à refroidir ; chaque anneau consiste en un cadre hexagonal de fil de fer, sur les côtés duquel s'enroule le fil induit, tandis que les sommets sont à découvert, le contour extérieur étant approximativement circulaire. L'espace paraît moins bien utilisé que dans la machine Gramme, et la grande étendue angulaire de chaque segment n'est pas un avantage.

Dans la machine exposée, il n'y avait que 5 couches de fil au milieu des côtés des 8 anneaux ; les 48 segments ainsi obtenus ont leurs extrémités réunies comme dans la machine Gramme ; chaque anneau est calé en avance de $\frac{1}{48}$ de tour sur le précédent, et le fil, après avoir contourné un côté du premier anneau, passe au second, puis au troisième, et ainsi de suite jusqu'au huitième, avant d'entourer le second segment du premier anneau ; chacun des 48 segments a sa lame dans le commutateur, pour lequel M. CROMPTON, qui emploie la machine BURGIN en Angleterre (notamment à la gare de King's Cross), fait usage de bronze phosphoreux.

L'armature de l'anneau pèse 11 kilogrammes représentant 720 mètres de fil de $1^{mm},5$ de diamètre, ou une résistance intérieure de $1^{ohm},6$. La vitesse variant de 1,500 à 1,600 tours, la force électro-motrice varie de 195 à 206 volts. La vitesse de 1,500 tours correspond à une vitesse linéaire de 12 mètres par seconde. Les électro-aimants sont venus de fonte

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec leur culasse; les pôles épanouis ont 5 centimètres d'épaisseur ; le fil inducteur, de $3^{mm},5$ de diamètre, pèse 60 kilogrammes, et sa résistance est de $1^{ohm},2$; ils sont excités par une machine spéciale, ou mis dans le circuit de l'anneau induit sans dérivation.

D'après des expériences faites par M. Hagenbach, cette machine, tournant à 1,675 tours par minute, aurait donné, avec 3 lampes à arc dans le circuit, un courant de $20^{ampères},5$, la lampe équivalant à 2,720 bougies [1] dans une expérience, à 4,206 dans une autre, les intensités étant prises horizontalement, avec un travail de $1^{cheval},65$ à $1^{cheval},84$ par lampe, mesuré au dynamomètre de transmission. Dans l'installation de King's Cross, les 5 générateurs Burgin sont excités par 2 machines Gramme produisant un courant de 12 ampères, et la force motrice employée est de 29 chevaux. Dans ces conditions, et avec la vitesse de 1,500 tours, la force électro-motrice est suffisante pour entretenir trois arcs sur chaque circuit.

M. Crompton estime que les 29 chevaux sont répartis ainsi : 18 chevaux pour 4 circuits de 3 lampes en série ; 6 pour un circuit de 2 lampes plus fortes, et $1\frac{1}{4}$ pour 5 lampes Swan ; le reste, soit $3\frac{1}{4}$, serait pris par les transmissions et l'excitatrice.

On a reproché à l'anneau type de la machine de Gramme d'être inutile à la production de l'électricité dans toute sa partie interne. Deux solutions ont été proposées pour remédier à cet inconvénient, l'une par M. le professeur Golfarelli, consiste à changer la forme des masses appliquées aux extrémités de la bobine inductrice; on y ajoute une saillie embrassant l'anneau et dirigée vers l'axe de la machine ; l'anneau est ainsi plus complètement enveloppé par les pôles épanouis qui agissent sur les côtés, mais il n'est pas certain que le magnétisme de l'anneau de fer doux, qui est toujours complètement utilisé dans la machine Gramme, en soit augmenté.

L'autre disposition adoptée par M. Jurgensen, de Copenhague, sur les conseils de M. le professeur Lorentz, consiste à placer à l'intérieur de l'anneau Gramme, très allongé dans le sens de l'axe du cylindre, un puissant électro-aimant fixe, placé dans le même circuit que l'électro-aimant extérieur.

Sans aller aussi loin, nous devons rappeler que le docteur Werner Siemens avait tenté de rendre également fixe la masse de fer doux qu'en-

1. Il s'agit de la bougie de paraffine, type allemand, dont 9,6 valent la lampe Carcel normale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

toure la bobine de ses machines pour se mettre à l'abri de la production de chaleur résultant d'un changement fréquent dans le sens de l'aimantation, mais avait dû y renoncer, la complication mécanique n'étant pas compensée par l'accroissement de rendement. L'accroissement du champ magnétique dans lequel se meut l'anneau Jurgensen (formé de 24 anneaux de fer doux séparés par des isolants) n'est pas douteux, à courant égal parcourant les inducteurs. Dans le type exposé, la résistance de l'induit était de $\frac{1}{4}$ d'ohm, et celle des électro-aimants de $\frac{1}{5}$; l'anneau induit porte 450 mètres de fil de $3^{mm},5$, et les électro-aimants, 350 mètres de fil de 5 millimètres.

Le cylindre creux, formé de l'assemblage des anneaux de fer doux et du fil enroulé, est fixé à ses deux extrémités à deux disques, dont l'un est monté sur l'arbre de la machine, tandis que l'autre, percé en son centre, laisse passer l'axe du noyau de fer doux de l'électro-aimant, et tourne dans un coussinet porté par le bâti. Ces disques sont percés d'ouvertures assurant la libre circulation de l'air. Les difficultés de construction que présente cette machine ont paru très heureusement surmontées; l'augmentation de *puissance* à vitesse égale, évidente *a priori*, puisque le magnétisme du fer doux de l'anneau est plus grand, a été vérifiée par l'expérience; mais on n'a pas pu établir que le *rendement* fût amélioré.

La machine exposée était la seconde construite sur ce modèle; celui-ci n'a donc pas subi l'épreuve de la pratique.

Nous devons encore citer la machine GULCHER; quatre électro-aimants excitateurs sont en jeu, disposés en deux circuits égaux, formant dérivation sur le circuit général de la machine, chaque électro-aimant étant parcouru par la moitié du courant total; l'anneau est très allongé dans le sens du rayon et forme plutôt un disque percé; les pôles des électro-aimants sont disposés des deux côtés du disque et réunis par une pièce en forme d'U, de sorte qu'une faible longueur (seulement égale dans sa région centrale à l'épaisseur du disque) est seule en dehors du champ magnétique intense formé par l'anneau cunéiforme, et les électro-aimants. L'enroulement est nécessairement discontinu sur la surface externe du disque, et les segments sont maintenus séparés par des petites cales en bois, comme dans l'anneau Pacinotti.

La résistance de cette machine (qui a quatre balais) est indiquée de $0^{ohm},127$. D'après le constructeur, en tournant à la vitesse de 650 tours par minute, et en consommant un travail de dix chevaux, on obtiendrait une lumière de 6,000 bougies (?)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A l'Exposition, cette machine faisait fonctionner douze régulateurs Gülcher, donnant un très petit arc, et placés tous en dérivation ; la distribution étant telle que les courants envoyés dans les divers régulateurs étaient rigoureusement égaux : à cet effet le fil partant de la borne positive ayant une section de 12, par exemple, se divise en arrivant à la première lampe ; un fil de section 1 l'en sépare, le fil de section 11 va à la 2me lampe, où il laisse de même un fil de section 1, qui le traverse, et va rejoindre le fil de la 1re. Après avoir traversé la 12me lampe, le fil, réduit à la section 1, reprend successivement les fils qui sortent des autres lampes, et sa section devient 2, 3, 4, et enfin 12 ; cela revient à placer chaque lampe dans un circuit de section 1, aboutissant directement aux deux bornes.

La machine Brush constitue un type tout à fait spécial ; l'aspect extérieur de l'anneau se rapproche du type Pacinotti, encore est-il bien moins couvert. L'anneau est en fonte, profondément excavé par une rainure normale à l'axe, découpé dans le sens du rayon par huit encoches destinées à loger les bobines, et les saillants qui séparent ces encoches sont à leur tour excavés de profonds sillons concentriques. Les deux faces de l'anneau sont dressées avec soin, et le fil induit est enroulé dans ces encoches, chaque spire étant composée de deux parties rectilignes, dirigées suivant le rayon, et de deux demi-cercles qui les réunissent ; l'ensemble des parties rectilignes remplit les encoches et affleure exactement des deux côtés de l'anneau le plan suivant lequel celui-ci a été dressé ; l'anneau tourne entre les pôles des deux paires d'électro-aimants latéraux, à pôles épanouis et à surface plane ; mais le mode d'assemblage est tout à fait spécial ; les bobines diamétralement opposées sont réunies par leurs extrémités internes et leurs extrémités externes, traversent l'arbre de la machine et viennent aboutir aux deux segments d'un commutateur. Chaque paire de bobines tournant devant les électro-aimants constitue une machine à courants alternatifs, le sens du courant changeant lorsque l'une des bobines quitte le champ placé entre deux pôles nord pour arriver dans la région influencée par les deux pôles sud de l'autre paire d'électro-aimants et ces courants alternatifs sont redressés par le commutateur, où ils sont pris par des balais à bandes de cuivre communiquant avec les bornes. Ce commutateur porte en outre deux petits segments isolés des autres et diamétralement opposés ; lorsque les balais portent sur ces segments, détachés en quelque sorte du commutateur, la paire de bobine correspondante est isolée ; à ce moment elle doit être dans la région voisine du point où le courant se ren-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

verse, et la force électro-motrice qu'elle engendre nulle ou très faible.

Il y a autant de commutateurs que de paires de bobines, mais les balais portent à la fois sur les commutateurs des deux paires à angle droit, et si le nombre des bobines croit au-dessus de huit comme dans la machine à 40 lumières, qui en a 12, les balais porteront à la fois sur 3 commutateurs. Désignons pour un instant par les chiffres 1 et 2 les supports communiquant avec les deux balais de la première paire, par 3 et 4 ceux qui communiquent avec la seconde, le trajet du courant sera celui-ci : de 1 par le circuit extérieur à 4, pour deux ou trois bobines à la borne 3, par les électro-aimants à la borne 2, et par les dernières bobines à la borne 1 ; les aimants peuvent être shuntés en introduisant entre les bornes 2 et 3 un rhéostat automatique, qui limite le courant dans les aimants (le nombre de tours de la machine étant fixé par le régulateur du moteur à vapeur, le courant induit est par là même réglé à une intensité constante) ; ainsi les électro-aimants sont en tension dans le circuit, et les bobines réparties dans deux dérivations ; il importe d'empêcher des courants dérivés de passer d'une paire de bobines dans l'autre, comme cela arriverait si les forces électro-motrices de ces paires associées en dérivation étaient différentes tandis que leurs extrémités sont au même potentiel ; la mise hors circuit de l'une d'elles est donc nécessaire, quand une paire a une force électro-motrice presque nulle et que l'autre est à son maximum. Le régulateur auquel il a été fait allusion est un rhéostat composé de prismes de charbon, superposés et qu'un électro-aimant puissant comprime d'autant plus qu'il est plus énergique, ou que le courant général est plus fort ; un accroissement de ce dernier diminue donc la résistance du shunt 2, 3, et par suite l'intensité du courant des inducteurs.

Ce type de machines développe des forces électro-motrices inusitées jusqu'ici pour les courants continus, et peut alimenter un grand nombre de lampes sur un seul circuit, en même temps que supporter des résistances considérables ; ainsi une machine a alimenté 40 lampes sur un circuit de 80^{ohms} équivalant à 32 kilomètres de câble de fil de cuivre à sept brins.

La Société Lyonnaise de constructions mécaniques et de lumière électrique expose la machine à courants continus que M. Lontin a imaginée pour l'excitation de ses machines à courants alternatifs. L'induit est composé de bobines dont les noyaux sont implantés comme des rayons autour d'un disque en fer ; ces noyaux sont légèrement coniques, leur base la plus large étant à l'extérieur, afin de s'opposer à la tendance des hélices

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à être projetées par la force centrifuge : ces hélices sont toutes réunies en série, et tout le système tourne entre les pôles d'un électro-aimant, monté en série sur le circuit; on peut associer autant de disques porte-pignons qu'on le juge utile. Le collecteur est semblable à celui de Gramme; les balais sont remplacés par des prismes en alliage métallique dit anti-friction, qu'un poids presse contre le collecteur; il est nécessaire qu'un filet d'eau tombe sur les parties frottantes pour éviter l'échauffement et entraîner les parcelles d'alliage. Les pôles des électro-aimants sont munis de pièces mobiles que l'on peut rapprocher ou éloigner de la circonférence décrite par les noyaux des bobines induites pour régler l'intensité du courant. Dans son ensemble cette machine, dont la ligne neutre passe par les pôles des électro-aimants, doit être rapprochée de la machine construite par M. NIAUDET en 1872, et de la machine de Clarke; on peut dire que c'est une machine de Clarke, dans laquelle le nombre des bobines est multiplié; chaque bobine n'est active réellement que pendant un temps très court et est tout le temps résistante; étant admis le principe de la machine, il y aurait tout avantage, sans augmenter le poids de la partie mobile, à augmenter le nombre des aimants, et des prises du courant.

Sur le même principe, M. CANCE a construit une machine où il a évité avec soin les courants d'induction, dits de Foucault, et amélioré les conditions magnétiques en substituant aux noyaux pleins des groupes de fil de fer; la machine est disposée de manière à réduire au minimum la distance des pôles inducteurs et induits.

Dans sa nouvelle machine à courants continus exposée par MM. SIEMENS et HALSKE, M. VON HEFNER-ALTENECK a cherché à tirer parti de tous les courants qu'il était possible de produire en multipliant le nombre des électro-aimants inducteurs, et il a renoncé complètement, comme dans sa machine à courants alternatifs, aux noyaux de fer doux dont les désaimantations rapides introduisent toujours des perturbations et des pertes de travail correspondant à leur échauffement.

La disposition des bobines est bien complexe pour être saisie sans dessin; les bobines, au nombre de *huit*, montées sur un plateau commun, font partie d'un même circuit, mais l'enroulement de deux bobines consécutives est inverse ; elles traversent en tournant *dix* champs magnétiques intenses dont les orientations sont également alternatives; ces champs étant produits par autant de paires d'électro-aimants fixes dont les pôles opposés sont de signe contraire, et placés aussi près que possible des extrémités des bobines; celles-ci sont très plates, car l'intensité du champ magné-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tique étant en raison inverse de la distance des surfaces polaires des électro-aimants on augmenterait la résistance, sans augmenter la force électromotrice en augmentant la hauteur de la bobine.

Dans le circuit formé des huit bobines existe une ligne neutre, qui se déplace dans l'espace; le collecteur, semblable à celui des machines Gramme, porte quarante lames, qui sont de cinq en cinq en communication métallique entre elles et avec le point de jonction des deux bobines.

En résumé, cette machine est fondée sur le même principe que la machine de Clarke, les courants étant produits par le passage des bobines induites d'un champ magnétique à un champ voisin dont l'orientation est opposée ; les courants de chaque bobine sont redressés, et les connexions sont telles que les courants individuels de chaque bobine s'ajoutent ; et sauf le moment où une bobine se trouve dans l'axe d'une paire des électro-aimants inducteurs, elle n'est jamais inactive.

Peut-être la place de la machine à courants continus de M. de Méritens se trouve-t-elle ici. L'anneau de cette machine est le même que celui de la machine à courants alternatifs du même auteur ; les divers segments du fil sont reliés à un collecteur de Gramme, et les fers doux correspondants constitués et isolés magnétiquement comme dans la machine à courants alternatifs ; la discontinuité magnétique de l'anneau est une différence profonde entre cette disposition et l'anneau de Pacinotti. Les inducteurs sont des aimants permanents puissants au nombre de quatre à pôles alternés dont un seul pôle est utilisé ; tant que chaque segment reste dans la partie intense du champ d'un de ces pôles, l'induction ne saurait être forte ; à cause de l'isolement magnétique des segments, aplatis dans le sens du rayon, chacun d'eux emporte son magnétisme avec lui, et la bobine correspondante ne peut pas être comparée à une bobine mobile dans un champ magnétique immobile, mais dans un champ qui suit son mouvement; au contraire lorsqu'une bobine quittera un champ sud pour se diriger vers un champ nord, le magnétisme de son noyau changera, et l'on rentrera dans les conditions de la machine de Clarke ; la partie utile du trajet des bobines se trouve donc réduite à l'intervalle entre les pôles, et *la ligne neutre passe par ceux-ci*, ce qu'indique d'ailleurs la position des balais lorsque la machine fonctionne à petite vitesse ; ceux-ci sont au nombre de quatre, comme les pôles actifs des aimants permanents.

C'est encore à ce groupe que l'on doit joindre la machine actuelle de M. Wilde, lorsqu'elle est munie d'un redresseur de courants, et telle qu'elle est employée comme excitatrice par la Compagnie l'Alliance ; on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

doit seulement mentionner dans ce redresseur de courant la forme ondulée donnée à la ligne de séparation des segments, d'où résulte que pendant une courte période, et dans le voisinage de la ligne neutre, la bobine induite se trouve en court circuit comme l'électro-aimant qu'elle doit exciter. M. Wilde, en imaginant cette disposition, a insisté sur les avantages qu'elle présenterait pour l'excitation des électro-aimants.

Moteurs.

On aurait pu signaler parmi les machines magnéto-électriques à courants continus la disposition donnée par M. Marcel Deprez à la machine primitive de Siemens; l'armature Siemens est composée d'un cylindre de fer doux évidé suivant deux arêtes opposées, et dans l'évidement est enroulé le fil conducteur; cette armature se meut entre les deux branches d'un aimant en fer à cheval, et son axe de rotation est *parallèle* à ces deux branches; cette machine, réversible comme toutes les machines à courants continus, est plutôt employée comme moteur pour transmettre des forces de quelques kilogrammètres; sa légèreté permet de lui imprimer des vitesses considérables.

M. Griscom a exposé un moteur excessivement compact et léger, puisque son poids n'atteint pas 1,200 grammes et qu'il peut cependant produire de 3 à 4 kilogrammètres; la bobine de Siemens tourne dans l'intérieur d'un électro-aimant annulaire à deux points conséquents, analogue à l'anneau de Gramme comme forme; on réalise ainsi un champ magnétique bien plus puissant.

Le moteur Burgin présente cette particularité que le fer doux qui y entre n'est pas soumis à des inversions de polarité : un noyau un peu renflé en son milieu est entouré de fil formant une masse sphérique; cet ensemble mobile, autour d'un axe horizontal, reçoit le courant d'une pile; cette sphère tourne à l'intérieur d'une seconde sphère creuse, revêtue de plusieurs couches de fil horizontal, qui est relié aux deux balais du commutateur, et c'est dans ce fil fixe que se produisent les changements de sens du courant, que déterminent le mouvement continu de l'aimant intérieur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à courants alternatifs.

Les machines à courants alternatifs sont toutes fondées sur le principe de la machine de Clarke : si une bobine passe d'un champ magnétique parallèle à son axe dans un autre de polarité opposée, un courant naît dans cette bobine, courant dont la quantité est proportionnelle à l'intensité de ces champs magnétiques ; et cette quantité augmente lorsque l'intensité de ces champs est surexcitée par la présence d'un noyau de fer doux dans la bobine.

Quelques-unes sont magnéto-électriques (machine de l'Alliance, de Méritens) ; la plupart sont dynamo-électriques. Mais on utilise peu ou point le principe du renforcement successif ; on se sert le plus souvent des électro-aimants excités par une machine spéciale, dite excitatrice, à courants continus, en appliquant purement et simplement le principe de Wilde ; dans le second groupe, on peut encore distinguer les machines à induit mobile et à induit fixe ; les derniers présentent une facilité bien plus grande pour le groupement des éléments de l'induit qu'on peut réunir comme des éléments de pile, et pour leur remplacement en marche ; en revanche, le système mobile des inducteurs est beaucoup plus lourd.

M. Wilde a décrit, en 1873, une machine de 32 bobines montées sur 16 noyaux de fer doux qui traversent un disque en fonte, sont mobiles autour d'un axe horizontal perpendiculaire au disque, et passent devant les armatures de deux séries d'électro-aimants, dont les pôles opposés sont tournés vers le disque, et dont les polarités alternent.

Les 32 bobines induites étaient réunies en 8 groupes de 4 bobines en série chacun ; de ces 8 groupes, l'un fournissait le courant, qui, redressé, alimentait les inducteurs, tandis que les 7 autres avaient leurs extrémités réunies à 2 anneaux munis de frotteurs, sur lesquels on prend le courant. Plus récemment, la machine a été améliorée de beaucoup par la suppression du disque en fonte, remplacé par un plateau en cuivre, et par la substitution de faisceaux de fil de fer aux noyaux pleins des électro-aimants ; c'est sous cette forme que la Compagnie l'Alliance l'expose ; une machine à 6 bobines fait fonctionner 8 brûleurs Wilde.

Dans la machine von Hefner-Alteneck, exposée par la maison

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SIEMENS, il n'y a plus de noyau de fer doux, et les bobines sont toutes accouplées en un seul circuit, afin d'augmenter la force électro-motrice; une semblable machine alimentant 12 lampes différentielles a fonctionné.

M. LAMBOTTE, dont la machine est exposée par la Compagnie de la Lampe-Soleil, a introduit du fer doux dans l'âme des bobines, et, en modifiant l'insertion de celles-ci sur le disque porteur, a permis à ces bobines et à l'armature de passer plus près, pendant la rotation, des pôles des électro-aimants, qui sont ici mobiles.

M. KREMENECKI. Les électro-aimants fixes sont disposés aux extrémités des rayons d'un cercle au centre duquel tourne un plateau porteur de bobines allongées dans le sens de l'axe, aplaties dans le sens radial, et dont l'âme est formée par deux séries de lames de fer doux parallèles à l'axe comprimant une lame de liège centrale; ces lames ne sont soumises qu'à l'action d'un seul pôle à la fois, et non de deux pôles de nom contraire.

Le même constructeur a exposé une autre machine à induits fixes; d'après les renseignements qui nous ont été fournis, ces deux machines seraient équivalentes et alimenteraient, avec une dépense de 8 chevaux, soit 8 lampes estimées de 60 becs, soit 4 lampes estimées à 140 becs, pour la première à induit mobile, soit enfin 8 lampes de cette dernière force, avec une dépense de 16 chevaux, pour la machine à induits fixes; des résultats analogues sont annoncés pour la machine Lambotte-Lachaussée, les vitesses étant de 900 tours pour les premières, et de 1,000 tours par minute pour les machines Lambotte.

C'est encore à ce type qu'il faut rapporter la machine GÉRARD, à induits fixes, dans lesquels le fer doux est formé d'une bande de tôle en forme de spirale.

La Société lyonnaise expose diverses machines des systèmes BERTIN et LONTIN; c'est au moyen de ces appareils que la division de la lumière électrique a été réalisée pour la première fois, en ce sens qu'une machine unique a alimenté plusieurs foyers; une forme spéciale des aimants caractérise ces machines; les noyaux de fer doux sont implantés radialement sur le tambour qui les porte, d'où le nom de pignon magnétique.

Extérieurement à ce pignon se trouve une couronne sur laquelle sont implantées, radialement aussi, 24 dents cylindriques en fer doux, sur lesquelles sont enroulés les fils des bobines induites, fils dont les extrémités aboutissent aux diverses bornes d'un manipulateur qui permet de les grouper à volonté et d'un fonctionnement très simple.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce système a fonctionné pendant un temps assez long à la gare du chemin de fer de Lyon et paraît avoir donné de bons résultats. Les 24 bobines sont groupées en 6 circuits alimentant chacun 3 régulateurs; soit 18 foyers, dont la puissance annoncée est de 75 carcels pour un travail de 20 chevaux, la vitesse de rotation étant de 500 tours par minute, les bobines portant 240 mètres de fil de $2^{mm},5$ de diamètre, dont la résistance est $0^{ohm},79$.

M. GRAMME a construit également des machines à courants alternatifs, à induits fixes, qui sont employées en France par la Compagnie générale d'électricité pour l'éclairage par les bougies; les électro-aimants mobiles sont allongés dans le sens de l'axe de rotation; ils sont au nombre de 8 et tournent dans l'intérieur d'un cylindre en fer doux, composé de segments circulaires ajustés bout à bout, et sur lequel est enroulé le fil induit, qui peut être séparé en autant de segments qu'on le juge utile; les électro-aimants reçoivent le courant excitateur par deux balais en fil de cuivre argenté.

Dans certaines machines, l'arbre des électro-aimants porte, à côté de ceux-ci, une machine à courants continus, ce qui constitue la machine auto-excitatrice.

Dans les machines exposées, il y a 8 électro-aimants, et 32 segments dans l'induit fixe, et ceux-ci sont ordinairement groupés en 4 circuits, dont les 8 éléments ont à tout instant des positions semblables par rapport aux électro-aimants. Chacun des 4 circuits alimente 4 ou 5 bougies Jablochkoff, la résistance de chacun d'eux étant de $3^{ohms},721$.

Ce type de machine jouit d'une très grande élasticité, et on peut en augmenter beaucoup la puissance en employant des fils plus longs et en augmentant la vitesse; M. JAMIN, en cherchant à augmenter le nombre des bougies que l'on peut placer sur un circuit donné, s'est proposé d'augmenter autant que possible la force électro-motrice de la machine Gramme, tout en conservant le poids et les dimensions extérieures.

L'intensité du champ magnétique a été augmentée; l'isolement du fil induit assuré par l'emploi de deux couches de soie et de gomme laque, et une segmentation analogue à celle des bobines d'induction; le diamètre du fil induit réduit; et enfin la vitesse augmentée jusqu'à 2,900 tours; dans le type fonctionnant à l'Exposition, 60 brûleurs Jamin, disposés en 4 circuits, étaient alimentés par une machine unique tournant à une vitesse de 2,400 tours.

Mais ce résultat remarquable n'est peut-être pas dû uniquement au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

groupement nouveau des fils et à la vitesse de la machine; on a tout lieu de penser que le cadre directeur qui entoure la bougie Jamin réagit, par son induction propre, sur l'allure des courants alternatifs de la machine, d'autant plus qu'à l'Exposition la résistance du circuit était très faible; aucun arc ne consomme un aussi faible travail électrique et ne produit une lumière aussi faible que la bougie Jamin; par elle-même, cette bougie se prête donc déjà mieux à la division qu'aucune autre, et il eût été intéressant de voir fonctionner les bougies Jamin sur les machines Gramme ordinaires, et les bougies Jablochkoff sur la machine modifiée.

M. Jablochkoff a également construit une machine à courants alternatifs, où le magnétisme des noyaux de fer doux des bobines induites est excité d'une manière un peu différente; les barres des électro-aimants, au lieu d'être parallèles à l'axe, sont disposées en hélice, de sorte que le noyau de l'induit, qui est parallèle à l'axe, se trouve aimanté successivement au maximum dans les divers points de sa longueur, comme si on passait et repassait d'un bout à l'autre un pôle d'aimant. Le plan des spires est alors normal à l'axe de la machine, et non parallèle. Comme dans les machines ci-dessus, le fer des induits est composé de lames minces. Cette machine n'a pas fonctionné encore industriellement.

L'Exposition montrait encore comme machine à courants alternatifs, mais magnéto-électrique, l'ancienne machine de Nollet, modifiée par Masson et Van Malderen, exposée par la Compagnie l'Alliance, machine qui, au point de vue de la régularité, de la sûreté du fonctionnement, a fait ses preuves depuis longtemps au phare de la Hève.

M. Giraud a construit sur le même type des machines ne différant de la précédente que par des détails mécaniques assurant la position des aimants fixes.

Les machines de M. de Méritens diffèrent, au contraire, notablement du type primitif; elles en ont conservé la solidité, la régularité, et, à ce titre, ont été adoptées en France et en Angleterre pour l'éclairage des phares; mais leur puissance, à masse égale, est beaucoup plus considérable, ce qui est dû, d'une part, à l'augmentation de la puissance des lames dont sont formés les faisceaux aimantés, et à la disposition de l'induit; celui-ci a la forme d'un anneau sur lequel est enroulé le fil induit; mais cet anneau se compose d'une série de segments isolés magnétiquement et composés de paquets de lames minces de fer doux. Des expériences prolongées ont établi que la machine nouvelle à courants alternatifs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

donnait, en tournant, il est vrai, notablement plus vite, un rendement en lumière de 41 pour 100 plus élevé que la machine de l'Alliance [1].

Transmission de la force.

Le principe de la réversibilité des machines magnéto ou dynamo-électriques date théoriquement de la découverte des lois de l'induction, et tous les anciens moteurs électriques pouvaient fonctionner comme générateurs d'électricité ; mais la première application des courants électriques produits par une machine à la mise en marche d'un engin mécanique un peu puissant a été faite à l'Exposition de Vienne, en 1873, par M. Fontaine, ingénieur de la Société Gramme; une pompe était mue par une machine Gramme, recevant le courant produit par une autre machine semblable.

A l'Exposition de Berlin (1879), on vit ensuite un ascenseur et une petite locomotive électrique entraînant, sur une voie circulaire, trois wagons avec une vitesse de 3 à 4 mètres par seconde; les rails servaient de conducteurs au courant, qui passait par eux dans la locomotive et sortait par un troisième rail spécial intermédiaire; la machine motrice était entièrement semblable à la machine dynamo-électrique produisant le courant, et son travail effectif atteignait trois chevaux.

Poursuivant la même idée, la maison Siemens et Halske, de Berlin, a fait fonctionner, depuis le mois de mai 1881, sur le chemin de fer de Gross-Lichterfelde, une voiture automobile; la longueur du parcours est de 2,500 mètres et la vitesse de 15 à 20 kilomètres à l'heure. La maison Siemens frères, de Paris, a construit et fait fonctionner pendant toute la durée de l'Exposition un tramway électrique. Les conditions de ce tramway ne permettaient pas d'envoyer le courant à la machine par les rails, qui ne peuvent être isolés ; on a dû avoir recours à un conducteur placé au-dessus de la voie et auquel la voiture est reliée par un collecteur dû à MM. Boistel et Sappey.

On a même dû abandonner l'idée de se servir des rails comme fil de retour et établir deux conducteurs suspendus ; ceux-ci sont des tubes de laiton fendus, dans lesquels est guidée une olive ou noyau allongé, dont

1. Le type à cinq disques a donné aux essais faits par M. Allard, inspecteur général du service des phares, 705 becs Carcel, en lumière horizontale, pour 7 chevaux et demi et une vitesse de 790 tours.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les extrémités portent deux tiges verticales ; celles-ci, accrochées à la voiture, obligent le noyau à en suivre le mouvement ; le contact du tube et de l'olive est assuré par la pression d'un galet qui s'applique contre le tube sous l'action de deux ressorts à boudins enroulés autour de ces deux tiges verticales ; cette disposition a parfaitement atteint son but.

Le trajet de ce tramway était de 493 mètres, comprenant des courbes de 27, 30 et 55 mètres de rayon et des pentes s'élevant jusqu'à 21 millimètres ; la voiture pesait 5,500 kilogrammes vide, et environ 9,000 kilogrammes y compris cinquante voyageurs.

Une autre application sur une échelle industrielle du transport de la force par l'électricité a été faite par M. Félix [1] dans la sucrerie de Sermaize, où une batteuse et une charrue sont actionnées par des machines Gramme recevant le courant d'une machine génératrice, qui, pour le labourage, se trouve à 1,000 et 1,600 mètres des machines motrices ; le rendement de ce système est estimé à 50 pour 100 environ, et ce résultat ne paraît pas avoir été dépassé jusqu'ici dans aucune application *industrielle,* bien que M. Fontaine, pour les machines Gramme, et M. Frœhlich, pour les machines Siemens, aient obtenu jusqu'à 60 pour 100 dans des expériences de laboratoire. On voyait fonctionner dans la nef du palais un nombre considérable d'appareils de tout genre recevant leur mouvement de machines dynamo-électriques Gramme, Siemens ou de petits moteurs Marcel Deprez ; presses d'imprimerie, machines à coudre, à plisser, à broder, perforateurs à diamant, pompes, pilons, machines à haver ; MM. Heilmann-Ducommun et Steinlen actionnaient un atelier de machines-outils ; MM. Geneste et Herscher, des ventilateurs.

La maison Siemens frères, outre le tramway déjà cité, exposait un ascenseur électrique et un chemin de fer aérien pour le transport des dépêches ; enfin M. Trouvé avait appliqué à un bateau et à l'aérostat dirigeable de M. Tissandier la forme spéciale de petit moteur qui porte son nom et qu'il excite de préférence avec des piles secondaires de M. Planté.

Un champ immense, à peine exploré, reste ouvert au progrès dans cette voie ; la possibilité de transmettre la force à de grandes distances est pratiquement démontrée, et les conditions théoriques de cette transmission parfaitement connues, mais les conditions économiques doivent être encore perfectionnées. On n'a point vu fonctionner de machines transmettant économiquement vingt ou vingt-cinq chevaux.

1. C'est en mai 1879 qu'a eu lieu la première expérience publique de labourage ; mais dès 1878, MM. Félix et Chrétien utilisaient les machines Gramme au chargement et déchargement des wagons, bateaux, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour la force, comme pour la lumière, le problème de la distribution ou de la canalisation de l'électricité n'est pas moins important à résoudre; on prévoit que l'on sera conduit à installer, comme on l'a fait pour le gaz, des usines centrales, où la production d'énergie sous forme électrique pourra être obtenue à bon marché; il reste à la mettre à la disposition des consommateurs, sans leur faire payer trop cher les avantages inhérents à l'emploi de l'électricité comme source de lumière et de travail, et à régler la production de l'usine centrale sur les besoins. M. Édison, pour les lampes à incandescence, ainsi que M. Maxim, M. Gravier pour des lampes à arc en nombre variable, ont résolu partiellement le problème. M. Guichard avait exposé et fait fonctionner un système proposé par M. Marcel Deprez de régulation automatique; les appareils divers, presse Marinoni, moteurs magnétiques, etc., étaient placés en dérivation entre les deux bornes de la machine génératrice d'électricité; la résistance de chaque circuit partiel étant appropriée à l'intensité du courant convenable pour chaque appareil et à la force électro-motrice inverse qui naît de son fonctionnement, il ne s'agit plus que d'avoir aux deux bornes de la machine une force électromotrice approximativement constante; dans ce but, les inducteurs sont excités par deux circuits : l'un parcouru par le courant de la machine, l'autre par le courant d'une machine excitatrice spéciale, marchant à vitesse constante comme la machine génératrice d'électricité. L'intensité du courant étranger et la vitesse de rotation de la machine sont calculées de telle sorte que la variation du courant total, multipliée par la résistance de l'anneau induit, compense la variation de la force électromotrice produite par une modification de la résistance extérieure, et laisse constante la différence de potentiel aux bornes de la machine.

M. Deprez a montré que cette compensation pouvait se faire presque exactement, à condition de n'utiliser qu'une faible partie du magnétisme qu'on peut obtenir de la masse de fer des électro-aimants; de plus, lorsque les divers appareils, dont le fonctionnement indépendant doit être assuré, sont de nature différente, exigent, par conséquent, des forces électromotrices différentes entre elles et de celle de la machine, on est conduit à introduire dans leur circuit des résistances dont l'échauffement absorbe en pure perte une partie notable du travail dépensé. Cette solution, dont l'originalité et le mérite sont incontestables, ne paraît donc pas pouvoir s'appliquer économiquement à tous les cas, mais peut rendre dès à présent des services importants, lorsque la mise en dérivation des divers appareils est acceptable.

M. Marcel Deprez a également indiqué que la combinaison d'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

courant excitateur extérieur et d'un courant *dérivé* du courant général pouvait assurer la constance de ce dernier, quelle que fût sa résistance, ce qui donnerait la solution du problème de la distribution pour des moteurs disposés en série.

On doit noter que cette solution est jusqu'ici la seule véritablement automatique; la régularité dans la marche est obtenue sans le secours d'engins mécaniques dont l'action n'est jamais assez instantanée pour supprimer des variations de courant qui, dans un temps très court, peuvent causer des dommages sérieux.

A. POTIER.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 8

LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

L'éclairage par l'électricité a pris depuis quelques années un développement rapide. Il ne s'agit plus seulement d'allumer quelque foyer exceptionnel ; la lumière électrique s'est introduite dans nos rues ; elle s'impose dans les théâtres, les usines, les gares de chemins de fer ; et le jour n'est pas loin où elle pénétrera dans nos maisons.

Cette multiplicité d'applications a provoqué de nombreuses inventions et l'Exposition internationale d'électricité nous offre une série remarquable d'appareils à lumière électrique, depuis les puissants foyers des phares, lançant des éclats de plusieurs milliers de carcels, jusqu'aux gracieuses lampes à incandescence, équivalant modestement à quelques bougies.

Les lampes électriques aujourd'hui employées se partagent naturellement en deux grandes classes :

I. — *Les lampes à arc voltaïque ;*
II — *Les lampes à incandescence.*

I

Lampes à arc voltaïque.

Ces lampes se divisent elles-mêmes en plusieurs groupes :

1° Les lampes exigeant chacune un circuit spécial, ou lampes à lumière unique.

2° Les lampes pouvant se placer en nombre quelconque sur un même circuit et permettant par conséquent la division de la lumière électrique.

3° Enfin les bougies forment un troisième groupe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° *Lampes à lumière unique.*

Les appareils donnant un foyer unique par chaque circuit ne sont plus guère employés aujourd'hui, en dehors des laboratoires, que dans le cas où, comme pour les phares par exemple, on a besoin d'une lumière isolée très intense. Malgré cela, les régulateurs qui permettent de maintenir cette lumière fixe et constante présentent encore actuellement un grand intérêt, parce que d'abord ils sont utiles dans ces cas spéciaux et surtout parce que les combinaisons mécaniques imaginées par leurs inventeurs se retrouvent à des degrés divers dans les appareils récemment créés pour régulariser l'arc jaillissant en divers points d'un même circuit. A ce double titre, les régulateurs à lumière unique s'imposent donc d'abord à notre étude.

Pour bien saisir l'importance relative des différents régulateurs à lumière unique, il est nécessaire en premier lieu de poser nettement les conditions que doit remplir un bon régulateur. Il doit maintenir la lumière fixe dans l'espace et lui conserver une intensité constante, bien que les charbons s'usent et se consument dans l'air, bien que cette usure, inégale aux deux pôles, soit en outre soumise aux accidents résultant du défaut d'homogénéité des charbons, bien que, enfin, l'intensité du courant soit elle-même soumise à des changements incessants et inévitables. Si nous réunissons ces deux dernières causes qui, dans la pratique, entraînent également des variations accidentelles de l'arc électrique, nous voyons que tout régulateur complet doit parer : 1° à l'usure des charbons, laquelle tend sans cesse à les éloigner et, par conséquent, à augmenter la longueur de l'arc en affaiblissant son éclat ; 2 aux accidents qui menacent à chaque instant d'accroître ou de diminuer l'intensité de la lumière. A ces conditions enfin ajoutons l'allumage automatique, nécessaire dans un appareil industriel.

On sait comment Foucault, le premier, a donné une solution complète de la question en utilisant les variations mêmes du courant pour corriger les inégalités de la lumière. Le régulateur de Foucault, tel que le construit M. Duboscq avec une rare habileté, est un appareil dont la précision n'a pas été surpassée depuis. Mais, par sa nature même, cet appareil convient exclusivement aux laboratoires, où il occupe aujourd'hui encore une place d'honneur ; et, bien que entre les mains de M. Duboscq il fonctionne à l'Opéra depuis 1849, il n'a jamais passé et ne pouvait pas passer dans la pratique industrielle.

Pendant que Foucault travaillait à son régulateur, où un électro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aimant règle le jeu de deux mouvements d'horlogerie antagonistes reliés par une roue satellite, Archereau créait un appareil dans lequel un solénoïde, agissant sur un noyau de fer doux, suffisait sans autre mécanisme à produire une régulation suffisante. Il y avait là une idée féconde que nous retrouverons dans maint appareil et d'abord dans celui de M. Jaspar.

M. JASPAR obtint un régulateur simple et exact : 1° en employant le poids du porte-charbon supérieur comme moteur; 2° en adoucissant les mouvements par une *cataracte*, c'est-à-dire par l'afflux d'un liquide frottant contre la tige d'un piston relié au système mobile. Tout mécanisme d'horlogerie est supprimé. Le mouvement du porte-charbon supérieur est transmis au porte-charbon inférieur par un simple fil passant sur une poulie et ce mouvement, commandé par un solénoïde dans lequel s'engage un noyau en fer doux fixé au porte-charbon inférieur, régularise la consommation et corrige les accidents. On peut juger des qualités du régulateur Jaspar par les quatre foyers qui sont placés en haut des mâts dressés autour du pavillon de la Belgique, ainsi que par les trois lampes à réflecteur de la salle 15.

Le premier régulateur à foyer unique qui soit entré dans la pratique est celui de M. SERRIN. Installé aux phares de la Hève depuis le mois de décembre 1863, cet excellent appareil n'a pas cessé d'y fonctionner avec succès. Il est caractérisé par un parallélogramme oscillant, bien des fois employé depuis. L'écart des charbons est produit par un électro-aimant agissant sur un tube qui contient le porte-charbon inférieur. Le rapprochement s'opère, comme dans l'appareil de M. Jaspar, par le poids du porte-charbon supérieur, entraînant le porte-charbon inférieur. C'est un régulateur Serrin, alimenté par une machine de Méritens, qui illumine si brillamment le phare central de l'Exposition ; c'est le même appareil, modifié seulement quant au moteur, que l'on voit osciller près de la porte d'entrée et brûler également bien dans toutes les positions que pourrait lui donner le roulis d'un navire.

En Suisse, on emploie couramment un régulateur très simple et très bon, dû à M. BÜRGIN et dans lequel les charbons sont commandés directement par un électro-aimant agissant sur le côté vertical d'un parallélogramme articulé. Un frein appuyant sur une roue fixée à ce côté vertical modère le rapprochement des charbons et, si cela devient nécessaire, immobilise la roue et permet à l'électro-aimant d'éloigner les charbons à l'aide du parallélogramme.

Parmi les lampes à lumière unique figurant à l'Exposition, nous citerons encore le régulateur GAIFFE, qui a été la première réalisation vrai-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment satisfaisante de l'idée d'Archereau ; le régulateur SUISSE, qui constitue une simplification du régulateur Serrin, convenant très bien dans tous les cas où l'on n'a pas besoin d'un point lumineux fixe ; le régulateur CARRÉ, dans lequel un double solénoïde, agissant sur les extrémités d'une sorte de S, commande sans brusquerie le mouvement des charbons; enfin une lampe de locomotive, exposée par l'administration du CHEMIN DE FER DU PRINCE RODOLPHE, et dans laquelle on a supprimé tout mécanisme fragile en reliant les deux charbons par une colonne de glycérine.

2° *Lampes à division de lumière.*

Tous ces régulateurs, quelque bons qu'ils soient d'ailleurs, ont un inconvénient commun. On ne peut en placer qu'un seul par circuit, car le réglage de l'écartement des charbons dans tous ces appareils étant déterminé par les variations d'intensité du courant, un accident quelconque arrivé à l'une des lampes, en modifiant cette intensité, agit nécessairement sur les autres lampes intercalées dans le circuit; chacune de celles-ci à son tour réagit sur toutes les autres, et il n'y a plus de marche régulière possible. Pour obvier à cet inconvénient, il faut disposer les choses de façon qu'un régulateur actuellement en équilibre ne soit pas influencé par les variations d'intensité du courant.

On y parvient au moyen des *lampes différentielles*. Considérons un régulateur du type Archereau, où la marche des charbons est gouvernée par les mouvements d'un noyau de fer doux placé dans l'axe d'un solénoïde que traverse directement le courant ; imaginons un second solénoïde à fil très résistant, installé en dérivation sur l'arc et, pour préciser les idées, supposons que ce deuxième solénoïde soit placé au-dessus du premier et traversé intérieurement par le même noyau de fer doux, prolongé à cet effet. Deux voies sont alors offertes au courant, l'une qui contient l'arc et le solénoïde inférieur à gros fil, l'autre qui est constituée par le solénoïde supérieur à fil fin. Le courant se partage entre ces deux voies en raison inverse de leurs résistances réciproques ; et, d'après une loi connue, le partage aura toujours lieu dans le même rapport, quelle que soit l'intensité du courant, pourvu que les résistances des deux branches restent constantes. Si donc le régulateur est actuellement en équilibre, si, par conséquent, l'arc qui est la seule partie du circuit sujette à des variations offre présentement une résistance constante, le courant pourra impunément varier d'intensité : l'arc restera fixe. En d'autres termes, les accidents survenus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aux autres lampes du circuit ne toucheront en rien le régulateur considéré. Quant à la régulation à l'intérieur de l'appareil, on l'obtiendra aisément en utilisant les mouvements du noyau produits par les changements de résistance de l'arc. Si en effet l'arc s'allonge, sa résistance augmente, une fraction plus considérable du courant se dérive dans la bobine à fil fin ; l'attraction de cette bobine sur le noyau devient plus grande que celle de la bobine inférieure et le noyau monte sous l'action de la *différence* de ces deux attractions. Si, au contraire, la résistance de l'arc vient à s'affaiblir, la bobine inférieure l'emporte et le noyau s'abaisse.

Tel est, dans ses traits essentiels, le régulateur différentiel de M. Siemens. Bien que cet appareil date seulement de 1879, nous avons à l'Exposition au moins une vingtaine de lampes reposant essentiellement sur le même principe.

Ce principe d'ailleurs avait déjà été appliqué, il y a vingt-cinq ans, par Lacassagne et Thiers, de Lyon. Des expériences faites au Jardin d'Hiver et à l'Alcazar, au mois de mars 1856, en présence de la Faculté des Sciences de Lyon et d'un nombreux public d'invités, avaient montré pour la première fois la division de la lumière électrique. Mais à cette époque on n'avait pratiquement pas d'autre source d'électricité que les piles : il était à peu près indifférent de pouvoir placer plusieurs régulateurs sur un même circuit ou d'être forcé d'appliquer à chaque régulateur une pile spéciale. La question de la divisibilité de la lumière électrique ne présentait donc pas l'intérêt qu'elle a pris dans ces dernières années : la lampe à mercure de MM. Lacassagne et Thiers ne frappa aucun industriel, et les pauvres inventeurs ne trouvèrent dans leur invention, remarquable cependant sous d'autres rapports, que la misère et l'oubli.

Pour achever de donner une idée à peu près complète de la lampe différentielle de M. Siemens, nous devons ajouter que le mouvement des charbons est régularisé par un petit pendule ne permettant que des déplacements assez lents. Cette disposition, que l'on trouve déjà dans la lampe pendulum du même inventeur, remplace, à l'égard du mouvement d'horlogerie tendant sans cesse à rapprocher les charbons, le frein que nous avons rencontré dans d'autres appareils. De même, le mouvement du noyau est rendu gras par une petite pompe à air qui joue ici le même rôle que la cataracte à mercure de M. Jaspar. Enfin tout le mécanisme est situé au-dessus du foyer et par conséquent toute la lumière envoyée vers le bas est utilisable. Le lustre placé à l'entrée de la Nef offre cinq lumières Siemens intercalées dans un même circuit et alimentées par une machine Siemens à courant continu. A l'entrée de l'Exposition allemande, deux gros

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

foyers Siemens sont entretenus de même par une seule machine Gramme à courant continu. Douze autres lumières sont produites par une machine à courants alternatifs. On a ainsi chaque soir sous les yeux un ensemble permettant d'apprécier exactement l'éclairage Siemens.

Un autre éclairage très remarqué est celui de MM. Piette et Krizik. Leur régulateur, plus connu sous le nom de lampe Pilsen, est la lampe différentielle réduite à son schéma : le noyau de fer doux qui traverse les deux électro-aimants porte le charbon positif et l'actionne ainsi directement sans rouage ni mécanisme quelconque. Des lampes Pilsen sont placées à l'Exposition dans le grand escalier, au vestibule du premier étage et dans la salle 20.

A Londres, une partie de la Cité est éclairée chaque soir par les lampes Brush, et à l'Exposition quarante lampes disposées en une seule série et alimentées par une seule machine versent des torrents de lumière à l'extrémité est de la Nef. Le régulateur Brush est un régulateur différentiel dans lequel les deux solénoïdes sont enroulés en sens contraire sur une même bobine. Une bague disposée sur le porte-charbon supérieur laisse glisser ce charbon pour satisfaire à la consommation, mais peut le serrer plus ou moins, ou même le relever, sous l'action de l'électro-aimant différentiel de manière à corriger les accidents. Une cataracte à glycérine adoucit les mouvements.

Nous noterons encore les régulateurs différentiels de Weston et d'Egger, le premier très analogue à celui de Brush et le deuxième muni d'un frein gouverné par une bascule qui oscille entre les deux solénoïdes.

Ajoutons enfin que dans tous ces appareils une disposition très simple sépare du circuit général la lampe qui, par suite d'un accident quelconque, viendrait à s'éteindre : cette sorte de soupape de sûreté, commandée par un électro-aimant en dérivation, est tantôt dans la lampe même, tantôt en dehors. Le déviateur de Siemens est même une véritable petite lampe que l'on peut placer près de la machine et qui, en s'allumant, prévient le mécanicien de l'accident arrivé au foyer éloigné.

L'indépendance de chaque lampe peut être obtenue simplement en mettant en *dérivation* la bobine qui commande le réglage d'un régulateur quelconque à lumière unique. M. Tchikoleff modifia ainsi le régulateur Foucault. M. Lontin appliqua la même transformation au régulateur Serrin. Il est à remarquer que dans un appareil ainsi modifié, la bobine en dérivation agit à l'inverse de la manière dont elle agissait dans l'appareil primitif, le courant qui la traverse étant d'autant plus intense que l'arc s'allonge davantage : cela d'ailleurs, n'est nullement un inconvénient.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Lontin a en outre construit un générateur qui permet d'obtenir un grand nombre de courants séparés et indépendants. Sur chacun de ces courants on pourrait installer un régulateur à une seule lumière fonctionnant isolément, ce qui constituerait un mode de division. Le système se compose en réalité d'un générateur fournissant un certain nombre de courants distincts, lesquels alimentent chacun plusieurs arcs voltaïques. Ces deux modes de division s'aident mutuellement ; ils évitent la nécessité de multiplier à l'excès soit le nombre des courants demandés à la machine, soit le nombre des foyers intercalés dans chaque circuit. Ainsi, la halle des messageries de grande vitesse au chemin de fer P. L. M. est éclairée par dix-huit foyers répartis en six séries de trois régulateurs chacune. Les régulateurs employés sont des lampes spéciales, dans lesquelles les charbons sont placés horizontalement de manière à ce que l'on puisse sans inconvénient leur donner une longueur proportionnée à la durée de l'éclairage. Ces lampes, construites par M. de Mersanne, sont pourvues de la bobine de dérivation de manière à être sensiblement indépendantes les unes des autres. On peut voir dans la Nef et salle 19 plusieurs de ces foyers, surmontés de triples réflecteurs.

Dans la Nef, derrière un verre bleu foncé, est placé un régulateur fonctionnant très bien : c'est le régulateur Crompton, dans lequel une bobine de dérivation commande un déclenchement avec frein de friction. Le mécanisme est bien conçu et solidement construit, comme il convient dans un appareil particulièrement destiné à l'éclairage des gares de chemins de fer.

Un régulateur original est celui de M. Brokie : toutes les minutes un petit disjoncteur, mis en mouvement par la machine, interrompt pendant un temps extrêmement court le courant dans une bobine de dérivation ; le charbon supérieur, devenu libre, tombe sur le charbon inférieur, au-dessus duquel il est presque immédiatement relevé à une distance invariable. Cette remise à distance toutes les minutes assure à l'arc une longueur absolument constante ; elle est si rapide qu'elle passe inaperçue et le choc a l'avantage de faire tomber les cendres des charbons. Le régulateur Brokie, très estimé en Angleterre où il éclaire Cannon Street, est représenté à l'Exposition par plusieurs foyers à la British electric Light C°.

Nous trouvons encore la bobine de dérivation dans deux bons appareils très pratiques : le régulateur Gramme caractérisé par son moteur puissant ainsi que par le trembleur intercalé dans le circuit dérivé ; et le régulateur Berjot, constitué essentiellement par un mécanisme Serrin dont le déclenchement a lieu sous l'action d'un solénoïde à noyau fixe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La division de la lumière électrique peut encore être obtenue par une troisième méthode, par une *distribution* convenable de l'électricité entre des régulateurs ordinaires montés en dérivation sur un seul circuit que traverse un courant continu. Ce mode de division est représenté à l'Exposition par plusieurs systèmes d'éclairage intéressants, le système GRAVIER et le système GÜLCHER. Dans le système Gravier, le régulateur n'offre rien de nouveau : ce n'est autre chose qu'un régulateur Serrin construit de manière à placer le mécanisme en haut. Le régulateur Gülcher se distingue au contraire par des qualités spéciales. Le mécanisme est remarquablement simple : un électro-aimant horizontal oscillant agit directement sur le porte-charbon supérieur; le porte-charbon inférieur est relié au premier et le point lumineux reste fixe dans l'espace. L'arc est très petit; et l'appareil peut parfaitement se prêter aux expériences de projection.

M. AVENARIUS présente aussi un mode de distribution permettant de placer en dérivation plusieurs lampes sur un circuit traversé par des courants alternatifs; les condensateurs que l'on intercale alors ordinairement dans les branches de dérivation sont remplacés par des voltamètres jouant un rôle analogue.

3° *Bougies électriques.*

Si l'éclairage électrique est parvenu enfin à triompher des difficultés de toutes sortes qu'il a rencontrées à ses débuts, s'il est arrivé au point où nous le montre l'Exposition actuelle, ce résultat est en grande partie dû à la bougie JABLOCHKOFF. Par sa simplicité merveilleuse, elle a été l'objet pendant l'Exposition universelle de 1878 d'un engouement mérité et qui n'a pas cessé depuis. Laissons donc de côté la discussion aujourd'hui épuisée de ses mérites et de ses défauts, et, nous inclinant devant les faits, donnons-lui le rang d'honneur que lui assignent les progrès énormes dont elle a été l'origine dans l'éclairage par l'électricité.

Quelque simple que soit la bougie Jablochkoff, elle le serait davantage encore si le colombin, placé entre les deux charbons, pouvait être supprimé sans inconvénient. Des bougies sans colombin ont été effectivement construites par M. WILDE et plus récemment par M. DEBRUN. La bougie Debrun comme la bougie Wilde brûle par en haut et l'action électro-dynamique à laquelle l'arc se trouve soumis de la part des charbons, jointe à la légèreté spécifique de l'arc, suffit à le maintenir fixe au sommet de la bougie, si le courant est assez intense. Au même type se rapporte la lampe de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Dobrochotow-Maïkow qui n'est, à proprement parler, qu'une bougie à charbons obliques commandés par un électro-aimant tubulaire.

Concurremment à la bougie Jablochkoff la compagnie générale d'éclairage électrique présente la bougie Jamin. Ici la différence ne porte pas seulement sur la suppression du colombin : M. Jamin s'est préoccupé surtout de diviser la lumière, en utilisant au mieux chacun des petits foyers individuels. Pour cela, il fait brûler sa bougie la pointe en bas de façon à ne rien perdre de la lumière émise; et il fixe l'arc dans cette position au moyen d'un cadre directeur capable de le maintenir avec un courant peu intense. A l'Exposition, le système Jamin est représenté dans la Nef par soixante bougies montées en tension sur quatre circuits issus d'une seule petite machine, et au premier étage, par les foyers éclairant le Salon (salle 3) et les deux salles voisines (5 et 6). Dans la salle 5 nous devons citer en outre une lampe à air confiné pouvant avec cinq bougies durer cent cinquante heures.

II

Lampes à incandescence.

On sait qu'un fil métallique traversé par un courant électrique s'échauffe, rougit, devient incandescent; mais jusqu'à présent on n'a pas réussi à avoir un fil métallique ne se détériorant pas très vite sous l'action du courant. La seule substance qui se soit prêtée à un usage pratique, c'est le charbon. Mais le charbon est combustible à l'air. Il a donc fallu ou remédier à cette combustion, comme dans un régulateur, ou l'empêcher en opérant dans le vide. De là deux espèces de lampes à incandescence.

1° *Lampes à incandescence dans l'air.*

Au commencement de 1878, M. Reynier construisit une lampe avec une baguette de charbon très mince posée verticalement sur un bloc de charbon; le courant pénétrant dans la baguette près de son extrémité par un contact latéral et sortant par le bloc, un très petit arc se forme à la pointe de la baguette, qui devient elle-même incandescente et se consume lentement. Mais, avec les charbons impurs que l'on avait alors, les cendres s'accumulaient vite autour de la pointe et la lumière faiblissait. Pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

obvier à cet inconvénient, M. Reynier tailla son bloc de charbon sous la forme d'un disque que faisait lentement tourner la pression de la baguette posée excentriquement au-dessus du disque. Depuis, avec des charbons plus purs, M. Reynier a pu laisser le bloc inférieur fixe et même le prendre métallique.

Mais il est préférable d'adopter, comme l'a fait M. WERDERMANN, la disposition inverse et de placer la baguette de charbon sous le bloc; alors les cendres tombent d'elles-mêmes et la lumière est renvoyée vers le bas. La Compagnie générale d'éclairage électrique a installé à l'Exposition trois spécimens très heureux d'éclairage par incandescence : l'éclairage du salon du Président de la République française au moyen de huit lampes Reynier (modèle suspendu 1878), l'éclairage du théâtre avec arrangement pour baisser graduellement la lumière, et enfin l'éclairage de la salle à manger par le système Werdermann (dispositif Napoli).

Au type Reynier se rattache encore l'éclairage JOËL, placé par M. Fyfe dans la petite salle qui précède la bibliothèque.

2° *Lampes à incandescence dans le vide.*

Les lampes à incandescence dans le vide sont un des grands succès de l'Exposition actuelle. Rien de plus simple, de plus gracieux, de plus agréable à l'œil ne saurait être inventé en fait de lumière électrique. Un fil de charbon placé dans le vide et rendu incandescent par le passage du courant, voilà toute la lampe à incandescence. Assurément, il y a des années que l'on sait que le passage du courant électrique peut élever la température d'un corps jusqu'à l'incandescence; sans doute on sait depuis longtemps que le charbon pur est une substance éminemment réfractaire; on n'ignore pas non plus qu'il faut placer dans le vide un charbon incandescent si l'on ne veut pas qu'il brûle à l'air avec une extrême facilité. Il paraît donc que la lampe à incandescence, qui se présente à nous aujourd'hui pour la première fois, n'aurait pas dû se faire attendre aussi longtemps. Il y a plusieurs années déjà, M. Lodyguine a montré à Paris une lampe à incandescence reposant effectivement sur ces principes mêmes. Mais rien ne pouvait réussir avant ces vides extrêmes signalés par Hittorf et que M. Crookes nous a appris à manier. Les membres du Jury des récompenses tiennent à exprimer ici à M. Crookes leur haute approbation pour ses belles recherches, en même temps que leur regret de ne pouvoir pas lui décerner une récompense.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sans vouloir discuter une question de priorité difficile à résoudre entre M. Swan et M. Edison, prenons la lampe à incandescence telle qu'elle nous est offerte aujourd'hui. Quatre systèmes figurent à l'Exposition, qui ne diffèrent que par des variantes peu importantes : le système EDISON, le système SWAN, le système MAXIM et le système LANE-FOX. Les différences portent sur la substance avec laquelle on fabrique le charbon qui doit constituer le fil incandescent ; il est remarquable toutefois que ce soit toujours une substance siliceuse : filament de bambou, coton additionné de certaines substances, papier, fibre de chiendent, suivant les systèmes. La forme du fil est également un peu différente dans ces diverses lampes. Différente aussi est la manière de faire le vide, mais dans tous les cas, que le vide soit fait sur l'air (Edison, Swan, Lane-Fox) ou sur un gaz hydro-carburé (Maxim), il doit être poussé à un degré extrême, le fil étant porté à l'incandescence pendant les derniers instants de l'opération. A l'Exposition, chacun des quatre systèmes est représenté par un grand nombre de lampes fonctionnant également bien et sur lesquelles il serait difficile de porter un jugement absolu. Mais le jury a été vivement frappé de l'ensemble vraiment merveilleux de toutes les dispositions prises par M. Edison pour un éclairage pratique. Porte-lampes, canalisation, régulateur d'intensité, compteur d'électricité, tout a été prévu et étudié avec un soin et une ingéniosité extrêmes.

3° *Lampe soleil.*

Un mode d'éclairage très remarquable est celui que présente la galerie de tableaux. Par une combinaison heureuse de l'arc et de l'incandescence, la lampe soleil constitue un véritable Drummond électrique dont la lumière dorée et parfaitement égale présente des qualités hautement appréciées chaque soir. Elle va être appliquée à l'éclairage du plafond de Baudry à l'Opéra et elle y produira certainement les plus heureux effets.

III

Construction et application des appareils à lumière électrique.

Une question capitale pour la lumière électrique est celle des charbons. M. CARRÉ a le premier installé une fabrication en grand, à la filière,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de charbons artificiels: la qualité est satisfaisante, surtout dans les nouveaux charbons, à âme. MM. SIEMENS, JABLOCHKOFF, etc., fabriquent également des produits appréciés. Pour l'éclairage en plein air, on recouvre généralement aujourd'hui les charbons d'une mince enveloppe de cuivre qui augmente leur durée. MM. MIGNON et ROUART font depuis quelque temps des charbons émaillés, dont l'usure est lente et régulière.

Parmi les applications de la lumière électrique, l'une des plus anciennes et des plus utiles est son emploi aux projections dans les conférences et cours publics. Personne n'a plus fait que M. DUBOSCQ pour vulgariser ce précieux moyen d'instruction : ses appareils de projection sont devenus classiques. On trouve dans la section italienne une petite lampe de M. GOLFARELLI qui peut économiquement remplacer, dans la plupart des cas, les beaux régulateurs sortant des ateliers de M. Duboscq et de M. BREGUET.

Au point de vue des applications de la lumière électrique, l'exposition la plus importante est celle de MM. SAUTTER et LEMONNIER. En dehors du matériel des phares, MM. Sautter et Lemonnier exposent toute la série des appareils d'éclairage qui rendent de si grands services à la marine et à la guerre et, en particulier, les projecteurs MENGIN qui ont fait récemment leurs preuves en Tunisie. Au service des phares, nous devons en outre signaler comme collaborateurs distingués MM. BARBIER et FENESTRE, dont l'habileté est hautement proclamée par M. le directeur Allard.

MM. LA ORDEN et BENNET nous montrent, dans la section espagnole, un intéressant modèle d'appareil pour l'éclairage automatique d'une balise au port de Cadix.

M. CROMPTON présente une lampe de Swan disposée spécialement pour les mines, où elle peut rendre les plus grands services, puisqu'elle brille à l'intérieur d'un verre hermétiquement fermé.

Citons enfin les intéressantes études de M. DECAUX, le savant sous-directeur des teintures aux Gobelins, sur la solidité des couleurs exposées à la lumière électrique, et les importantes recherches de M. P.-P. DEHÉRAIN relativement à l'influence de la lumière électrique sur le développement des végétaux.

VIOLLE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 14

GÉNÉRATEURS, MOTEURS A VAPEUR, A GAZ ET HYDRAULIQUES
ET TRANSMISSIONS APPLICABLES AUX INDUSTRIES ÉLECTRIQUES.

La source la plus économique de l'énergie électrique étant aujourd'hui la transformation de la force motrice, les besoins de l'Exposition ont amené l'installation d'un grand nombre de machines motrices, représentant une force d'environ 1,500 chevaux et constituant un complément indispensable et une partie très importante de l'Exposition.

Ces machines doivent être examinées moins comme machines isolées que comme machines employées à un travail spécial.

La plupart des appareils producteurs d'électricité demandent une vitesse de rotation très supérieure à celle des machines à vapeur les plus économiques. Si l'on prend celles-ci, on est amené à l'emploi de courroies de transmission, et comme le rapport des vitesses est très grand, souvent de un à vingt, il faut employer deux transmissions successives; de là une consommation de force et la nécessité d'un espace beaucoup plus grand. Avec les machines à vapeur à grande vitesse, on peut éviter l'une des deux transmissions, et même conduire directement la machine dynamo-électrique; si la marche du moteur à vapeur n'est pas aussi avantageuse, l'ensemble du système économise la force absorbée par les transmissions et il peut être établi dans un espace restreint, ce qui est impossible avec les courroies. On constatera donc sans étonnement les tendances qui se manifestent dans cette voie; nous ne possédons pas de données suffisantes pour fixer la différence qui existe entre les deux systèmes, nous nous bornerons à dire que la commande directe présente un côté pratique qui ne saurait être méconnu toutes les fois qu'il est possible de l'établir.

Tous les moteurs peuvent être employés, à commencer par les machines hydrauliques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les machines à vapeur étaient très nombreuses, nous les passerons en revue successivement.

Joseph Farcot (France). — Machine à quatre tiroirs, principe Corliss, à condensation. — Puissance variant entre 60 et 120 chevaux.

On a obtenu la suppression presque complète des espaces nuisibles. Le cylindre est entouré d'une enveloppe de vapeur à grande section parcourue par la vapeur avant l'admission. Une pompe de purge reçoit l'eau condensée dans l'enveloppe et la renvoie aux chaudières.

La détente est commandée par le régulateur, elle peut varier de 0 à $\frac{8}{10}$ de la course du piston.

La marche de la machine est parfaitement régulière, sans chocs ni vibrations, les mouvements de distribution, rendus très rapides au moyen de ressorts-vapeur. Le mécanicien peut seul, et instantanément, mettre en marche, ralentir ou accélérer sa machine.

Enfin la consommation par heure et par force de cheval indiqué est de :

7 kilogr.	de vapeur	pour une machine	de 40	chevaux.
6,8	—	—	100	—
5,8	—	—	330	—

Le charbon consommé à l'une de ces machines établie à Saint-Maur pour le service des eaux de Paris a été reconnu de $0^{kg},900$ à $0^{kg},950$ en eau montée, ce qui revient à environ $0^{kg},8$ sur l'arbre du volant et $0^{kg},7$ par cheval indiqué dans le cylindre. Résultat très remarquable obtenu par l'observation des dispositions qui peuvent produire le meilleur emploi de la vapeur, et par une construction irréprochable.

Carels frères (Belgique). Avaient mis au service de l'Exposition une grande machine compound à soupapes, système Sulzer.

Les deux manivelles sont calées à angle droit sur l'arbre principal. Les soupapes sont à double siège, équilibrées. La détente est variable par le régulateur, elle peut s'étendre de 0 à 70 pour 100 de la course du piston.

Les soupapes d'exhaustion sont au-dessous des cylindres, donnant facilement passage à l'eau condensée. L'enveloppe complète de vapeur qui protège les deux cylindres et la chambre de vapeur intermédiaire procure une économie importante de combustible.

Des expériences faites à l'Exposition de Bruxelles en octobre 1880 ont donné une consommation d'eau par cheval et par heure de $7^{kg},802$, et en déduisant l'eau condensée dans les tuyaux et dans l'enveloppe du petit cylindre : $7^{kg},692$. Ces chiffres sont confirmés par les expériences faites à l'Exposition en 1881.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette machine a occupé une place importante en employant une force de 170 chevaux à la conduite d'un grand nombre de machines magnéto-électriques.

La machine à un cylindre consomme un peu plus, mais elle est beaucoup plus simple. Pour donner la préférence à la machine composée, il faut être assuré qu'elle sera toujours entretenue dans un état parfait, afin que l'économie réalisée sur la consommation compense l'augmentation des frais de premier établissement.

Olry et Grandemanche (France). — Machine horizontale de 25 chevaux, avec enveloppe de vapeur indépendante de la distribution, introduction de vapeur de $\frac{8}{10}$. Régulateur isochrone. Solidité de toutes les pièces.

Cail Halot et C^ie^ (Belgique). — Machine à détente variable par le régulateur.

Société anonyme de constructions mécaniques d'Anzin. Établissements Quillacq (France). — Machine de 40 chevaux, système Corliss.

Ransomes Head et Jefferies. (Grande-Bretagne). — Machine à vapeur mi-fixe de 10 chevaux. Type employé à Londres pour l'éclairage électrique.

J. Boulet et C^ie^, maison Hermann-Lachapelle (France). — Machine compound demi-fixe de 40 chevaux, montée sur sa chaudière à foyer et faisceau tubulaire amovibles. La vapeur arrivant de la chaudière enveloppe les cylindres, elle est distribuée ensuite par un tiroir à détente variable par le régulateur. Le tiroir est double de façon à réduire l'espace nuisible au strict nécessaire.

La vapeur d'échappement peut être envoyée à volonté au condenseur ou à l'air libre; dans ce dernier cas, elle traverse un réchauffeur de l'eau d'alimentation placé dans le bâti même.

Chaligny et Guyot-Sionnest, ancienne maison Calla (France). — Machine système compound. Les deux cylindres sont entourés d'une enveloppe de vapeur. L'arbre, à manivelles croisées, porte la poulie-volant. La condensation est avantageusement employée sur ces machines.

La maison Beer (Belgique) expose une machine demi-fixe de 6 chevaux, à chaudière verticale; la machine horizontale est fixée sur le bâti à côté de la base de la chaudière. Elle occupe peu de place, elle est pourvue d'un régulateur très sensible, le nombre des organes est réduit autant que possible.

Wallis et Steevens (Grande-Bretagne). — Machine demi-fixe.

Le cylindre possède une enveloppe de vapeur en communication permanente avec la chaudière et dans laquelle l'eau ne peut s'accumuler.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La vapeur d'échappement réchauffe l'eau d'alimentation qui circule dans deux tubes contenant une tige pleine concentrique; l'eau se présente ainsi en couche étendue et mince à l'action réchauffante de la vapeur.

On peut faire varier à volonté la vitesse de régime pendant la marche; à cet effet, la communication entre le régulateur et l'arbre moteur est établie par une courroie que l'on peut faire glisser sur deux poulies coniques ; on change ainsi le rapport de leurs vitesses.

La machine peut donc avoir des vitesses différentes pour une vitesse constante du régulateur. Cette variation, qui pour la machine à deux cylindres de la force nominale de 12 chevaux s'étend de 115 à 135 tours, est utilisée pour obtenir le meilleur rendement de la force en lumière.

Ces machines sont employées à l'éclairage du British Museum à Londres.

Robey et C^ie (Grande-Bretagne). — Cette maison a exposé sept machines de 12 à 40 chevaux normaux, pouvant donner une force effective plus grande de moitié.

Elles se font remarquer par une disposition simple et par la recherche de l'économie de combustible, au moyen d'une enveloppe de vapeur pour les cylindres, de la détente et du chauffage de l'eau d'alimentation.

Une soupape de sûreté rendue inaccessible par une fermeture à clef empêche toute élévation anormale de la pression ; une plaque fusible est placée au ciel du foyer.

La détente est commandée par le régulateur qui agit sur l'excentrique du tiroir en le faisant glisser le long de deux caleš inclinées sur l'axe; l'excentricité varie, et avec elle la durée de l'admission.

Les plus grandes machines ne portent plus le mécanisme sur la chaudière, il est placé au-dessous; l'ensemble est établi sur une plaque de fondation, de sorte que la chaudière ne subit plus aucun effort du moteur.

Le corps cylindrique de la chaudière est supporté d'un côté par la boîte à feu qui repose sur la fondation, de l'autre, par le massif des cylindres. Cette disposition, qui laisse accessibles toutes les parties du mécanisme, est très heureuse.

Machines à grande vitesse.

Varrall, Elwell et Middleton (France). — Moteur composé de deux machines à vapeur à double effet, placées en regard l'une de l'autre sur un arbre commun, les boutons de manivelle placés à 180°.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les pressions exercées à chaque instant sur l'arbre étant égales et contraires se font équilibre. Les pièces en mouvement sont deux à deux, égales, symétriquement placées, et animées de vitesses égales et de sens contraires, elles se font ainsi équilibre.

Les pistons ont une grande longueur; ils sont creux et ajustés à frottement doux dans le cylindre, de façon à éviter l'emploi de segments qui pourraient amener des grippements.

Le graissage se fait au moyen d'un réservoir qui amène l'huile dans l'intérieur de l'arbre. Sur le conduit débouchent de petites ouvertures en face de chaque tourillon à graisser, l'huile en excès est projetée sur un couvercle en tôle qui la conduit dans des gouttières, d'où elle revient par des fils aux petits tourillons des bielles. Ce mode de graissage est fort efficace, mais assez dispendieux.

Le régulateur limite la vitesse entre 995 et 1,020 tours par minute.

Le diamètre des pistons est de $0^m,135$.

Leur course, $0^m,110$.

Leur vitesse pour mille tours, $3^m,67$ par seconde.

Poids de la machine, 500 kilos.

Les dispositions de cette machine lui donnent une stabilité remarquable malgré sa grande vitesse.

Des machines semblables ont été installées pour faire fonctionner des ventilateurs ; elles ont donné d'excellents résultats. Elles ne se montreront pas inférieures employées à la production de la lumière électrique.

M. Edison (États-Unis de l'Amérique du Nord) emploie pour la production des courants électriques une machine à vapeur du système Armington, alimentée par une chaudière de MM. Babcock et Wilcox.

La machine, dont l'installation n'a été complétée qu'à la dernière période de l'Exposition, est horizontale, à un seul cylindre; le piston a un pied de diamètre et un pied de course ($0^m,305$) ; il est animé d'une très grande vitesse, 320 et même dit-on, 350 tours par minute, ce qui permet de conduire directement l'anneau de la machine électrique, auquel on a donné un grand diamètre. Les deux machines sont montées sur un bâti en fonte pesant 18 tonnes, masse qui rend les ébranlements insensibles.

Entre les deux machines est interposé un régulateur de vitesse, qui agit en changeant le calage de l'excentrique du tiroir à vapeur; cette action ne commence qu'à une vitesse déjà très grande (350 tours).

La grande vitesse de la machine demande des précautions spéciales. Les coussinets sont fondus autour des arbres en place, ce qui assure un ajustage d'une précision absolue. Le graissage des portées est obtenu par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'introduction de l'huile à l'intérieur de l'arbre tournant; des conduits l'amènent à la surface sur les parties frottantes.

La chaudière Babcock et Wilcox est formée de tubes en fer forgé soudés à recouvrement, inclinés sur le plan horizontal et disposés par séries verticales ; chaque série est en communication avec une boîte en fonte, sur un côté de laquelle tous les tubes viennent s'ajuster ; de l'autre côté, et en face de chaque tube, est un orifice avec plaque de fermeture maintenue par un étrier intérieur et un écrou ; cet orifice permet le nettoyage des tubes.

Les tubes communiquent par leurs deux extrémités avec un corps cylindrique horizontal qui surmonte le tout. Les tubes et la moitié du corps sont pleins d'eau. D'autre part, ils sont en communication avec un cylindre transversal placé à l'arrière, au point le plus bas de la chaudière, afin de recevoir les dépôts abandonnés par l'eau.

Cette chaudière présente une disposition analogue à celle de la chaudière Belleville : grande circulation d'eau ; absence de rivets exposés au feu ; facilité de dilatation ; explosions moins dangereuses et plus rares, car les tubes qui reçoivent l'action du foyer peuvent résister à une pression beaucoup plus élevée que les enveloppes de grand diamètre, qui n'ont jamais une épaisseur proportionnelle à celle des tubes ; de plus, une rupture de tube ne peut donner lieu qu'à une mise en liberté progressive de l'eau chauffée au-dessus de 100 degrés, évitant ainsi la transformation subite d'une grande quantité d'eau en vapeur, ou, en d'autres termes, d'une grande quantité de chaleur en puissance mécanique, cause des effets les plus désastreux.

Machine Brotherhood (Grande-Bretagne). — Ces machines sont assez nombreuses ; les unes sont exposées par l'inventeur lui-même, les autres employées par plusieurs exposants de machines électriques. Elles sont composées de trois cylindres répartis également sur une circonférence ; leurs axes dirigés vers le centre de l'arbre moteur ; les trois pistons à simple effet agissent successivement par compression sur la manivelle. La distribution se fait par un tiroir circulaire situé dans l'axe de la machine et séparé de l'entrée des cylindres par de longs conduits. Il en résulte un espace nuisible ou une quantité de vapeur perdue considérable. Mais la simplicité d'installation et de manœuvre de ces machines, la grande vitesse qu'elles peuvent prendre et qui leur permet de conduire directement les machines électriques, constituent des conditions favorables, et il ne serait pas impossible qu'elles eussent, dans leurs applications aux machines électriques, le succès qu'elles ont déjà obtenu pour d'autres usages.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La machine de M. TEGNANDER (Suède), composée de quatre cylindres à simple effet, a pour objet de faire tourner, sans l'intermédiaire d'aucune bielle, un disque qui imprime une grande vitesse de rotation à un arbre moteur.

Machines rotatives.

MM. SIEMENS et HALSKE (Berlin) exposent une machine rotative du système Dolgorouki.

Cette machine, ingénieusement combinée, formée de deux disques tournant dans deux cylindres qui se pénètrent, ne paraît pas avoir évité le grand écueil de ces systèmes, qui est la perte de vapeur entre les bords des disques et les parois fixes contre lesquelles ils ont à se mouvoir.

M. W. JACOBS (Pays-Bas) envoie une machine rotative à grande vitesse, dans laquelle il s'est appliqué à réduire au minimum le travail du frottement.

Appareils divers.

Appareil à mesurer l'eau entraînée mécaniquement par la vapeur. GUICHARD ET Cie (France), système BROCQ. — M. Brocq mesure l'eau entraînée avec la vapeur par l'augmentation de volume d'une quantité donnée du mélange, causée par la transformation totale du liquide en vapeur, la température du mélange étant maintenue constante.

Un cylindre est plongé dans le courant de vapeur ; on peut le remplir du mélange ; cela fait, on intercepte toute communication avec la vapeur ambiante. Un piston plongeur, mû par une vis graduée, permet d'augmenter la capacité du cylindre, de telle sorte que l'eau entraînée qu'il renferme soit entièrement transformée en vapeur. Pendant la vaporisation, la température est entretenue constante par la circulation de vapeur extérieure au cylindre et la pression ne varie pas ; mais si le volume augmente au delà de ce point, la vapeur n'est plus saturée et la pression diminue.

Au début de l'expérience, une vis à pas fin a été mise en contact avec une membrane métallique faisant partie de la paroi du cylindre pressée sur une face par le courant de vapeur, sur l'autre, par le mélange intérieur ; le contact avec la vis établit la continuité d'un circuit électrique actionnant une sonnerie. Au moment où la pression diminue, la membrane s'éloigne de la vis, la sonnerie s'arrête. On mesure ainsi l'augmentation du volume de la vapeur admise primitivement dans le cylindre, on en déduit la quan-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tité d'eau entraînée. Cet appareil pourra sans doute rendre un grand service dans l'étude du fonctionnement des machines.

M. Legat expose un robinet détendeur automatique de pression.

MM. Cordier et Fils, en édifiant la principale cheminée destinée au service des chaudières à vapeur, ont montré jusqu'à quel point l'emploi de la brique, tel qu'il a été perfectionné à Paris, se plie à l'harmonie des lignes et à une sobre ornementation. L'ensemble est des plus satisfaisants.

MM. Hamelle-Fleutelot et Cie (Paris) exposent des produits d'amiante manufacturés : fils, tissus, cordes, qui trouvent leur emploi dans les applications mécaniques et électriques.

Machines à gaz.

Les machines à gaz sont relativement nombreuses à l'Exposition ; elles présentent des progrès remarquables, et leur application à l'éclairage peut prendre une importance considérable. Tout concourt à ce développement, l'amélioration des machines et la facilité de les introduire dans les lieux habités ; certaines industries, qui n'exigent que très peu de force, ont donné la préférence aux machines à gaz, qui dispensent de la chaudière et des inconvénients de son emploi : transport du combustible, cendres, danger d'incendie et d'explosion, main-d'œuvre d'entretien, consommation de combustible en dehors des heures de travail proprement dites.

Cette dispense est rachetée par l'emploi d'un combustible d'un prix plus élevé, ce qui est peu de chose pour les petits moteurs.

Mais l'éclairage électrique demande des machines plus puissantes que l'on ne peut introduire que rarement dans les locaux offrant une garantie suffisante contre les explosions, car la prudence comme les règlements ne les admettent que dans des conditions particulières ; dès lors, malgré la plus grande dépense de combustible, le choix n'est plus à faire et la machine à gaz s'impose.

Les principales machines exposées sont celles du système Otto, à cylindre horizontal. On sait que sur deux doubles courses du piston ou deux tours de l'arbre moteur, une seule course fournit la force motrice ; pendant les trois autres courses, le mouvement est conservé par le volant. Le jeu de la machine se décompose ainsi :

1re course, aspiration du mélange d'air et de gaz.

2e course, compression.

3e Inflammation du mélange, production de force motrice.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4e Expulsion des gaz brûlés.

Malgré la diversité de ces phases, on obtient un mouvement d'une régularité suffisante pour une foule d'usages.

L'inventeur a cherché à produire une période de combustion par chaque tour de volant ; à cet effet, il employait deux cylindres, dans l'un d'eux le piston aspirait et comprimait un mélange d'air et de gaz qui était refoulé dans l'autre cylindre et aussitôt enflammé. Aux essais on reconnut que l'inflammation et la combustion complète des gaz introduits étaient moins régulières que celles des moteurs à un cylindre et que la consommation de gaz et d'eau pour le refroidissement était de beaucoup augmentée. On y renonça pour accoupler sur le même arbre deux machines simples et obtenir une impulsion à chaque tour de cet arbre.

La Compagnie française des moteurs à gaz a exposé une grande machine de 50 chevaux, construite par la Compagnie de Deutz ; naguère, la plus grande force ne dépassait pas 8 à 10 chevaux. Et cependant cette machine consomme 750 litres de gaz d'éclairage par force de cheval (c'est-à-dire 22 centimes au prix du gaz à Paris), tandis que la machine à vapeur, consommant 1 ½ à 2 kilogrammes de houille, donne le cheval à 6 ou 8 centimes. On a été soutenu par ces considérations, que la lumière électrique est moins dangereuse que le gaz au point de vue de l'incendie et que l'on a souvent plus de facilité pour installer un moteur à gaz qu'un moteur à vapeur.

Le théâtre de Francfort a installé deux de ces machines de 50 chevaux.

Le gaz ne coûte pas partout aussi cher qu'à Paris ; beaucoup d'industries sont disposées de manière à fabriquer leur gaz elles-mêmes et à un prix de revient très modéré, si la consommation est d'une certaine importance ; en ce cas, le moteur à gaz deviendrait le rival heureux de la machine à vapeur.

Les petites machines consomment un mètre cube par cheval et par heure ; les grandes descendent à 750 litres, ainsi qu'on l'a vu plus haut.

Parmi les machines étrangères on remarque la machine Clerk, construite par Thomson Stern et Cie de Glascow. Une inflammation est produite à chaque tour ; les produits de la combustion sont chassés du cylindre par l'air frais, qui en refroidit en même temps les parois intérieures.

Le gaz d'éclairage n'est pas le seul qui puisse être employé à ces différents usages, M. J. Emerson Dowson présente un *gaz économique* très digne de fixer l'attention.

Dans son appareil, la vapeur d'eau est décomposée au contact d'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

combustible incandescent. On avait essayé autrefois, pour obtenir un gaz d'éclairage, de décomposer la vapeur en la faisant passer à travers une colonne de combustible chauffée préalablement au rouge par un courant d'air. La décomposition de la vapeur était obtenue pendant quelques minutes, mais la quantité de chaleur absorbée était considérable, et il fallait bientôt arrêter le passage de la vapeur et amener une nouvelle quantité d'air. Des intermittences dans la production et des variétés dans la qualité des gaz étaient inévitables.

Dans l'appareil Dowson le courant d'air et de vapeur est continu, la température du combustible est constante ainsi que le volume de vapeur décomposée.

Il est formé d'un corps cylindrique garni intérieurement de terre réfractaire. Au fond du cylindre est une grille sur laquelle repose le feu et sous cette grille une chambre close où passe un jet de vapeur surchauffée à la pression de 1 ½ à 2 ½ atmosphères; ce dernier entraîne avec lui un courant d'air, le mélange d'air et de vapeur traverse le foyer, le gaz se forme d'une manière constante et uniforme. On donne la préférence à l'anthracite sur les autres charbons.

D'après M. le professeur W. E. Ayrton, pour produire un mètre cube de ce gaz, il faut environ 142 centimètres cubes d'eau et 200 grammes de charbon, en évaluant à 8 ou 10 p. 100 les impuretés et les pertes. Le gaz se compose approximativement en volume de :

Hydrogène	20
Oxyde de carbone	30
Acide carbonique	3
Azote	47
	100

Il contient environ 50 pour 100 de gaz combustible. Théoriquement, le pouvoir calorique du gaz de houille est 3,5 fois plus grand que celui du gaz Dowson; ce dernier peut très bien actionner un moteur à gaz ou servir à toute espèce de chauffage.

En pratique, cinq volumes de gaz Dowson équivalent à un volume de gaz de houille dans le moteur Otto. M. Ayrton trouve qu'un moteur actionné par le gaz Dowson coûte environ 45 pour 100 de moins que la machine à vapeur et 53 pour 100 de moins que la machine à gaz de houille, celui-ci étant supposé à 0 fr. 15 le mètre cube.

La consommation d'un moteur au gaz Dowson serait par cheval et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par heure la quantité de gaz produite par 888 grammes de charbon, et moins encore dans les grands moteurs.

Il paraît très intéressant de voir ces résultats confirmés par la pratique.

HUMBLOT ET DUFORT. — Petit moteur hydraulique. — C'est une petite turbine de 6 centimètres de diamètre appliquée à l'appareil Hughes. Il marche avec la grande régularité nécessaire aux transmissions télégraphiques, et il remplace avantageusement les systèmes à poids.

Dynamomètres.

Ces instruments sont de deux genres : les uns demandent le remplacement de la résistance à vaincre à un appareil spécial dont la résistance est facile à évaluer, tels que le frein de Prony ; ce sont les dynamomètres par substitution ; les autres donnent la mesure de la résistance en s'interposant entre les machines motrices et les machines conduites ; ce sont les dynamomètres par transmission.

Dynamomètre par substitution.

Balance de M. RAFFARD. — Cet appareil se compose d'une poulie calée sur l'arbre, flanquée de deux poulies folles ; un étrier pouvant pivoter sur l'arbre est tenu en équilibre par deux sangles passant sous les poulies folles et attachées à l'extrémité d'un fléau placé au-dessus de l'arbre, à l'autre extrémité du fléau pend un poids. Cet étrier est sollicité en sens contraire par une troisième sangle qui passe par-dessus la poulie calée sur l'arbre et soutient un poids.

La poulie calée tourne dans le sens où l'entraîne le poids, mais la sangle de ce poids est retenue par les sangles des contrepoids des poulies folles fixées à l'étrier commun, et agissant en sens contraire ; il en résulte un frottement plus ou moins grand, suivant que l'arc embrassé par la sangle frottante est plus ou moins étendu, une position d'équilibre s'établit et le travail absorbé par ce frottement, égal à celui de la machine fonctionnant utilement, est donné par la différence des poids suspendus multipliée par la vitesse à la circonférence de la poulie.

En donnant à cette circonférence des longueurs exprimées en mesures métriques simples, le calcul de la force est rendu très facile, il ne restera plus à mesurer que le nombre de tours par minute. Ce frein est appliqué à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la mesure du travail produit par une machine dynamo-électrique Siemens actionnée par des accumulateurs Faure.

Il constitue une forme particulière du frein de Prony, dans laquelle on utilise le frottement d'une sangle.

Dynamomètres par transmission.

MÉGY. — Construit par MM. Sautter, Lemonnier et Cie, Paris.

Cet instrument est destiné à mesurer et à enregistrer le travail absorbé par une machine.

Il se compose de deux poulies, l'une calée, l'autre folle sur l'arbre moteur. Cette dernière porte des taquets sur lesquels viennent s'appuyer quatre lames de ressort dont les autres extrémités sont fixées invariablement à l'arbre.

La première poulie reçoit la courroie motrice; la seconde, à son tour, entraîne la machine à essayer, mais les ressorts qui la poussent fléchissent, et elle reste en retard sur la poulie fixe, d'un angle proportionnel à l'effort exercé. Un manchon vissé à frottement doux sur l'arbre suit le mouvement de la poulie folle, il se déplace donc dans le sens de la longueur de l'arbre, en suivant la flexion des ressorts.

Ce déplacement est communiqué au levier qui conduit un galet enregistreur du travail, c'est-à-dire reposant sur un plateau tournant en même temps que l'arbre; le galet est, au centre du plateau, quand les ressorts ne sont pas tendus, plus ou moins éloigné de ce centre, quand ils fléchissent. Le travail accompli est mesuré par le nombre de tours du galet, enregistré par un compteur.

Ce dynamomètre peut être employé pour des machines tournant à 1,500 ou 1,600 tours, et convient aux machines dynamo-électriques.

C'est le dynamomètre Morin avec le compteur immobile, au lieu d'être entraîné dans le mouvement général.

Dynamomètre de M. VON HEFNER-ALTENECK (Allemagne). — Celui-ci fonctionne par la mesure de la tension des courroies de transmission. Il se compose de deux galets montés sur un cadre fixe, les deux brins d'une même courroie de transmission s'appuient sur chacun des galets du côté intérieur.

Si les courroies sont au repos, la position d'équilibre sera celle de symétrie, et la ligne des centres des poulies passera au milieu de la ligne des centres des galets. Mais si la courroie est en mouvement, la tension

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du brin conducteur sera plus grande que celle du brin mené, et la différence sera précisément la force motrice agissant à la circonférence de la roue menée. Dans ces conditions, le cadre des galets sera sollicité à s'écarter de sa position symétrique par une force proportionnelle à la différence de tension. Si on le maintient en place par un ressort, il suffira de mesurer la tension de ce ressort pour connaître la force motrice, après que l'instrument aura été taré au moyen de tractions connues, exercées sur la courroie au repos.

Cet instrument est d'une installation facile, et lorsqu'il s'agit de résultats approchés, il offre des avantages sur les appareils du même genre.

Dynamomètre SMITH (Grande-Bretagne). — M. Smith expose le modèle d'un dynamomètre enregistreur fondé sur la tension d'un ressort qui reçoit l'effort exercé par la machine motrice sur la machine conduite.

Deux poulies folles sur un arbre commun reçoivent, l'une la courroie motrice, l'autre la courroie de la machine à mouvoir ; elles sont liées chacune à une roue conique dentée, s'engrenant sur une roue intermédiaire, dont l'axe, ordinairement vertical, peut tourner autour de l'arbre des poulies. Celles-ci sont ainsi solidaires, et lorsque l'une d'elles est mise en mouvement, l'autre tourne en sens contraire. Cependant si la seconde poulie éprouve une résistance, c'est la roue d'angle intermédiaire qui se déplace. Elle est insérée dans un cadre en forme de secteur, mobile autour de l'axe principal, et qui peut être retenu par une force tangentielle au moyen d'un ressort. La tension de ce ressort mesurera l'effort nécessaire pour retenir le secteur égal à la résistance offerte par la machine à conduire. Un autre secteur, diamétralement opposé au premier avec lequel il est solidaire, porte un stylet qui indique constamment la tension du ressort par sa position sur un cylindre tournant avec une vitesse proportionnelle à celle de la machine.

On a donc la mesure de l'effort à chaque instant et le travail, en mesurant les aires tracées sur le papier qui recouvre le cylindre. Il n'a pas été expliqué jusqu'à quelle puissance cet appareil pouvait-être utilisé.

Dynamomètre à balance de M. E.-D. FARCOT. — Ce dynamomètre estime le travail absorbé par une machine en mesurant la tension du brin conducteur d'une courroie allant de l'arbre moteur à l'arbre conduit ; à cet effet, on la fait passer autour de deux galets tendeurs, fous sur les arbres et montés sur des châssis mobiles chacun autour d'un pivot. Des poids chargeant les extrémités de ces châssis donnent la tension de la courroie avant et après son passage sur la poulie conductrice.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En tarant convenablement l'appareil, on obtient la mesure du travail consommé.

Dynamomètre optique LATCHINOW (Russie). — Dans cet appareil, la mesure de l'effort exercé sur la poulie motrice est lue directement sur les poulies en mouvement. Deux poulies contiguës sont l'une clavetée, l'autre folle sur l'arbre ; elles sont reliées entre elles par trois ressorts. Si la courroie de transmission est posée sur la poulie clavetée, le dynamomètre ne fonctionne pas ; lorsqu'elle conduit la poulie folle, la poulie fixe est entraînée par les ressorts qui les unissent, mais elle reste en retard d'un angle proportionnel à l'effort exercé. Une petite ouverture pratiquée dans la jante de l'une des poulies laisse apercevoir à chaque passage devant l'œil la face intérieure des jantes opposée à cette ouverture ; on a tracé sur l'une d'elles une division, sur l'autre un repère ; la répétition des impressions permet la lecture de l'écart des deux roues.

Le dynamomètre AYRTON (Grande-Bretagne) est fondé sur le même principe ; l'indicateur de la tension est un goujon à tête de fer polie ; lié au ressort, il trace un cercle lumineux d'un diamètre variable avec l'effort exercé et qu'il est facile de mesurer.

Wagon dynamométrique du CHEMIN DE FER DE L'EST. — Les appareils installés sur ce wagon ont permis de mesurer avec une précision, une facilité et une simultanéité inconnues jusqu'à ce jour, les efforts de traction d'une locomotive sur un train, et d'obtenir l'indication complète du travail de la vapeur sur les pistons.

Ils sont organisés par M. Regray, ingénieur en chef du matériel et de la traction, avec les conseils et la collaboration de M. Marcel Deprez, étudiés par MM. les ingénieurs Gerhardt et Flaman, et construits par M. Napoli.

Ils constituent deux groupes séparés pouvant fonctionner indépendamment l'un de l'autre : l'appareil dynamométrique avec les enregistreurs d'espace parcouru, de temps, de vitesse et de totalisation du travail, et l'appareil manométrique.

Ce rapport ne comporte pas une description complète du système ; il se bornera à donner quelques indications sur sa composition et sur les résultats qu'il permet d'obtenir.

Appareil dynamométrique. — Un ressort à lames est placé sous le plancher ; ses indications sont transmises par un système de leviers jusqu'à la table d'expériences placée dans le wagon ; là, un crayon trace sur une bande de papier, qui se déroule avec une vitesse proportionnelle à celle du véhicule, une ligne dont les ordonnées donnent l'effort de traction à chaque

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

point du parcours, et l'aire, le travail de résistance sur l'attelage du wagon.

Un compteur kilométrique marque sur le papier les distances parcourues.

Outre ces indications, le travail est indiqué par un totalisateur.

L'enregistrement des temps est obtenu par une horloge électrique, la valeur du temps est indiquée sur la bande de papier mobile. Enfin la vitesse est donnée encore par le tachymètre Napoli, instrument à la fois indicateur et enregistreur.

Appareil manométrique. — L'ensemble du système, dont l'idée fondamentale appartient à M. Marcel Deprez, consiste en :

1° Instruments dits explorateurs de pression placés sur la machine ;

2° Instruments manométriques placés dans le wagon ;

3° Appareils produisant le mouvement des tableaux mobiles, synchrone du mouvement des pistons ;

4° Instruments constatant à chaque tour de roue de la machine le synchronisme de ces mouvements ;

5° Instruments électriques produisant les signaux.

On emploie l'indicateur de Watt modifié par M. Marcel Deprez, dans lequel les erreurs dues à l'inertie du piston sont annulées. Le déplacement du piston, qui se produit à une pression déterminée par l'expérimentateur, ferme un courant actionnant un électro-aimant à l'intérieur du wagon ; celui-ci indique sur le tableau mobile le point de la course du piston où la pression choisie a été atteinte. Un régulateur de pression, système Napoli, est employé pour envoyer à volonté à l'indicateur toutes les tensions différentes que la vapeur possède dans les cylindres.

Enfin les tableaux mobiles représentent rigoureusement le mouvement des pistons en espace et en temps, au moyen de procédés extrêmement ingénieux, parmi lesquels l'électricité joue un rôle capital.

Cet ensemble d'appareils donne à l'intérieur du wagon des diagrammes très exacts de la pression à chaque position de la course des pistons.

Tous les détails sont admirablement compris, jusqu'à la mesure des retards dans les indications fournies par les appareils électriques. A cet effet, on emploie un chronographe de M. Marcel Deprez, qui peut inscrire les retards à moins de $\frac{1}{23000}$ de seconde.

Ce moyen d'investigation des forces employées sur les chemins de fer réalise plusieurs applications remarquables de l'électricité ; à ce titre, il occupe un rang très distingué à l'Exposition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Compteurs à eau.

Système Kennedy ; exposant, M. Kern (France). — Ce compteur est formé d'un cylindre avec un piston sur lequel roule une bague en caoutchouc qui constitue une garniture n'occasionnant qu'un très faible frottement. A l'extrémité de la tige du piston est une crémaillère qui transmet son mouvement à un pignon ; un marteau, que les lames solidaires du pignon entraînent au bout de chaque course de piston, appuie sur la clef qui a pour objet de changer la direction de l'eau.

Système Frager ; exposant, M. Michel (France). — Cet appareil comporte deux cylindres; les tiges des pistons déplacent des tiroirs qui commandent les entrées de l'eau et les modifient.

L'appareil se prête à un moyen de contrôle facile.

Les deux systèmes sont employés dans les services publics à Paris.

Divers.

Régulateur de vitesse de M. Napoli. — C'est un régulateur électrique agissant sur la valve d'admission de la vapeur. Le mouvement de cette valve est commandé par une vis sans fin, qui reste immobile quand la machine tourne à la vitesse voulue, mais qui augmente ou diminue le passage de la vapeur si la vitesse de la machine diminue ou augmente. A cet effet, l'arbre de la vis porte à chacune de ses extrémités un électro-aimant tubulaire en face de deux poulies folles sur le même arbre, et tournant chacune en sens contraire.

Le manchon d'un régulateur à boules commande une lame de ressort dont le jeu est limité par deux boutons; le contact avec le bouton supérieur établit un courant avec l'un des électro-aimants, la poulie folle y adhère et l'arbre de la vis est entraîné dans un sens ; si le bouton inférieur est touché, c'est l'autre électro-aimant qui entraîne la vis en sens contraire.

Il suffit d'un élément Leclanché pour mettre en mouvement ce régulateur.

Cependant si, au lieu d'agir sur la valve, on voulait agir sur un robinet d'admission ou sur une détente variable, l'effort serait plus considérable, et le nombre des éléments de la pile devrait être augmenté.

Tachymètre Buss. — M. Buss construit deux instruments, l'un vertical

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour les machines fixes, l'autre horizontal, disposé spécialement pour toutes les machines mobiles.

Ils sont basés sur l'action de la force centrifuge.

Dans le premier, l'arbre moteur se termine par une coupe qui porte deux broches parallèles situées dans un plan perpendiculaire à l'axe et à distance égale de part et d'autre. Chacune de ces broches sert de centre d'oscillation à une pièce en forme de demi-cercle ou pendule. Ces pièces sont reliées à une tige qui peut glisser dans l'axe de l'instrument. Quand l'arbre principal tourne, les secteurs obéissent à la force centrifuge ; leurs centres de gravité s'éloignent et la tige axiale est entraînée longitudinalement ; mais un levier chargé d'un poids s'appuie par un galet sur le plateau qui termine cette tige et tend à la ramener à la position de repos. La poussée de la tige augmente avec le carré de la vitesse angulaire ; la résistance opposée par le levier chargé augmente avec l'angle qu'il fait avec la verticale ; il s'établit pour chaque vitesse une position d'équilibre indiquée sur un cadran par une aiguille en communication avec le levier.

L'instrument est construit pour marcher à des vitesses variant de 250 à 1,000 tours par minute. Si la machine à essayer ne travaille pas dans ces limites, on adapte à la machine une poulie d'un diamètre tel que le tachymètre fonctionne dans les limites ci-dessus indiquées.

Le tachymètre horizontal est basé sur le même principe. L'arbre tournant se transforme en une fourche portant une broche perpendiculaire à l'axe et dans le même plan ; sur cette broche oscillent deux pendules coniques qui s'éloignent d'autant plus de l'arbre que la vitesse de rotation est plus grande ; ce mouvement exerce une poussée sur une tige dirigée suivant l'axe. Un ressort spiral, fixé par une extrémité à cette tige, par l'autre au pendule, s'oppose à l'écartement ; pour chaque vitesse il s'établit une position d'équilibre indiquée par une aiguille sur un cadran.

Ces deux instruments sont bien étudiés dans tous leurs détails ; ils sont très appréciés pour les machines à grande vitesse.

M. Radiguet emploie l'électricité pour débrayer les métiers de tissage, notamment les métiers à faire les tricots. Grâce à des dispositions aussi simples que sûres, les machines, quelle que soit leur vitesse, s'arrêtent spontanément et instantanément dans les diverses circonstances qui produiraient des accidents si le mouvement n'était suspendu. Ainsi le travail cesse si un fil vient à casser, s'il s'accumule en un point d'une aiguille, s'il présente une irrégularité sensible, si la maille ne se fait pas ou se réalise mal, et enfin si une perturbation quelconque se fait sentir dans les organes du métier. Ainsi s'exprimait M. Alcan dans un rapport présenté à la Société

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'encouragement en 1868. Depuis cette époque, les avantages de ce système ont été appréciés et les appareils de M. Radiguet se sont largement répandus.

M. Mouchère pèse automatiquement le fil destiné à former une pelote ou une bobine déterminée. Au moment où le fil reçu sur le plateau d'une balance atteint le poids voulu, le mouvement du fléau interrompt un courant et fait cesser l'entraînement du fil par la poulie à dévider l'écheveau.

Cet appareil réalise la régularité des pesées ainsi que l'économie de la main-d'œuvre.

MM. Ferry et Millet présentent un avertisseur électrique de la rupture de l'un des fils des 200 aiguilles d'un métier à broder, l'arrêt instantané du métier se produit après un, deux ou trois avertisssements de rupture. Ils exposent un métier à broder au point de chaînette avec quatre aiguilles travaillant simultanément; adapté à ce métier un appareil électrique interrompt le travail aussitôt que l'un des fils à broder se rompt.

Bacle. — Pédale pour machine à coudre, pouvant fonctionner par un moteur électrique.

MM. Bessand et C^ie^, 2, rue du Pont-Neuf, Paris, emploient des machines à coudre mues par des machines Gramme.

M. Journaux se propose le même but.

Le remplacement de la force musculaire par un moteur mécanique dans les machines à coudre est un progrès depuis longtemps préconisé.

Lenoir. — Une médaille d'or a été attribuée à M. Lenoir, dont le nom se rattache à plusieurs des objets qui occupent une grande place dans l'Exposition d'électricité.

C'est à M. Lenoir que l'on doit les premières machines à gaz qui aient fait l'objet d'une grande exploitation; il est, sous ce rapport, le précurseur d'Otto.

Le télégraphe Lenoir, avec ses dispositions ingénieuses de synchronisme, figure dans l'exposition de l'administration des lignes télégraphiques, et l'on sait quelles sont les tentatives qui ont été faites pour reproduire avec cet instrument et à toute distance des portraits photographiques dont la ressemblance ne laissait prise à aucune incertitude.

M. Lenoir est en outre l'inventeur des procédés à l'aide desquels, par l'emploi d'une carcasse en fils métalliques, on est arrivé à faire de bonnes reproductions galvanoplastiques en ronde bosse.

MM. Heilmann-Ducommun et Steinlen. — Les machines-outils de la maison Ducommun, de Mulhouse, occupent une trop grande place dans les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ateliers des constructeurs français pour qu'il soit utile de les décrire ; cependant les types réunis dans le pavillon spécial de l'Exposition constituaient par leur ensemble une réelle nouveauté, tant au point de vue du choix des modèles qu'à celui de leur fonctionnement facultatif par l'électricité.

Huit machines Gramme, d'une construction irréprochable, étaient mises en action par une machine locomobile et à 25 mètres de distance, sans autre communication que des fils métalliques immobiles, toutes les machines de l'atelier pouvaient à volonté être actionnées par le courant et parfaire automatiquement leur travail. C'est bien là l'ensemble rêvé par tous les artistes de précision, ensemble qui n'avait pu être ainsi assuré encore dans aucune des expositions précédentes. MM. Heilmann-Ducommun et Steinlen n'y avaient pas oublié l'éclairage électrique, auquel ils ont donné en Alsace un si grand essor ; mais aux foyers à arc voltaïque qu'ils ont installés en si grand nombre, ils avaient substitué cette fois les lampes à incandescence, qui conviennent mieux, en effet, à un atelier dont le principal mérite réside, non dans l'activité du fonctionnement des machines, mais dans la parfaite précision de leur travail.

Une médaille d'or a été accordée à MM. Heilmann-Ducommun et Steinlen.

LUUYT.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

GROUPE II

CLASSES 4, 6 ET 7

Le groupe II du Jury international des récompenses avait à examiner et à juger les objets exposés dans les classes 4, 6 et 7 du catalogue général. A sa première réunion, il a constitué son bureau en nommant :

Président : M. BECQUEREL (ED.), membre de l'Institut (France).

Vice-présidents : MM. le Dr BRIX, ingénieur des télégraphes à Berlin (Allemagne).

PREECE (W. H.), électricien en chef de l'administration des télégraphes à Londres (Grande Bretagne).

Rapporteur : M. BLAVIER (E. E.), directeur de l'École supérieure de télégraphie (France).

Il s'est ensuite subdivisé en quatre sections : l'une d'elles a été chargée de la classe 4 (câbles, fils et accessoires, paratonnerres) ; une seconde de la classe 7 (téléphonie, microphonie, radiophonie) ; quant à la classe 6 (télégraphie, signaux), elle a été, en raison de son importance, divisée en deux sections comprenant l'une la télégraphie électrique proprement dite, l'autre les applications de l'électricité aux chemins de fer.

Par suite de ces divisions, le groupe II du Jury s'est trouvé composé de la manière suivante :

CLASSE 4. — *Câbles, fils et accessoires, paratonnerres.*

Président : M. BERGON, directeur du matériel et de la construction au ministère des postes et des télégraphes (France).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Secrétaire : M. RAYNAUD, ingénieur des télégraphes, professeur à l'École supérieure de télégraphie (France).

Membres : MM. ARANTAVE (Enrique d'), inspecteur général des télégraphes de l'île de Cuba (Espagne).

le Dr BRIX, ingénieur des télégraphes, à Berlin (Allemagne).

KAREIS, ingénieur des télégraphes (Autriche).

MALEVÉ, capitaine en premier du génie, commandant de la compagnie des télégraphistes de campagne (Belgique).

ROUSSEAU, professeur à l'université de Bruxelles et à l'École militaire (Belgique).

TROTIN, ingénieur, chef du service de la vérification et de la réception du matériel au ministère des postes et des télégraphes (France).

CLASSE 6. — *Télégraphie électrique.*

Président : M. BARON, directeur au ministère des postes et des télégraphes (France).

Secrétaire : M. CLÉRAC, ingénieur des télégraphes (France).

Membres : MM. BANNEUX, ingénieur en chef des télégraphes de l'État, membre de la commission belge de l'Exposition d'électricité (Belgique).

BLAVIER, directeur ingénieur des télégraphes, directeur de l'École supérieure de télégraphie (France).

BUGGE (J. U. F.), inspecteur des télégraphes (Norvège).

CARHART (Henry S.), professeur de physique à l'université Northwestern (États-Unis).

COLLETTE (J.-M.), chef du service des télégraphes à la Haye (Pays-Bas).

ELSASSER, conseiller supérieur du département des postes germaniques (Allemagne).

MASCART, professeur au Collège de France, directeur du bureau central météorologique (France).

MONTENEGRO (Adolfo), inspecteur des télégraphes (Espagne).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PREECE (W. H.) F. R. S., électricien en chef de l'administration des télégraphes à Londres (Grande-Bretagne).

le général baron DE SAINT-CYR NUGUES, président de la commission de télégraphie militaire (France).

URENA (Justo), directeur des télégraphes (Espagne).

CLASSE 6 *bis*. — *Applications de l'électricité aux chemins de fer.*

Président : M. GUILLEBOT DE NERVILLE, inspecteur général des mines (France).

Secrétaire : M. BANDERALI, ingénieur de la Compagnie des chemins de fer du Nord (France).

Membres : MM. BONTEMPS, ingénieur, professeur à l'École supérieure de télégraphie (France).

Le colonel LAUSSÉDAT, directeur des études à l'École polytechnique, professeur au Conservatoire des arts et métiers (France).

PONTZEN (E.), ingénieur civil (Autriche).

SARTIAUX, ingénieur en chef adjoint à la Compagnie des chemins de fer du Nord (France).

STORK (J), directeur des télégraphes des chemins de fer de l'État (Suède).

UBICINI, chef du service télégraphique des chemins de fer de l'Italie méridionale (Italie).

CLASSE 7. — *Téléphonie, microphonie, radiophonie.*

Président : M. BECQUEREL (Ed.), membre de l'Institut, professeur au Conservatoire des arts et métiers, professeur au Muséum d'histoire naturelle (France).

Secrétaire : M. POLLARD, ingénieur des constructions navales (France).

Membres : MM. BIDWELL (Shelford) (Angleterre).

CAËL, ingénieur des télégraphes (France).

FERNET, inspecteur général de l'enseignement secondaire (France).

FREEMANN (Franck L.), inspecteur principal de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

section électrique de l'Office des brevets des États-Unis (États-Unis de l'Amérique du Nord).

JANSSEN, membre de l'Institut, membre du bureau des longitudes, directeur de l'observatoire d'astronomie physique de Meudon (France).

ROTHEN (Timothée), adjoint à la direction des télégraphes à Berne (Suisse).

Les rapports qui suivent ont été rédigés pour la première section par M. RAYNAUD, pour la seconde par M. BLAVIER, pour la troisième par M. BANDERALI et pour la quatrième par M. POLLARD.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 4

FILS, CABLES ET ACCESSOIRES, PARATONNERRES

La classe 4 comprend le matériel destiné à la transmission de l'électricité : les paratonnerres s'y rattachent comme ayant pour objet de conduire au sol l'électricité atmosphérique.

Pour transmettre l'électricité d'un point à un autre, on relie les deux points par un fil *conducteur* que l'on *isole* du milieu ambiant afin d'atténuer les déperditions pendant le trajet. L'examen doit donc porter en premier lieu sur les *fils conducteurs* et les *matières isolantes*.

I

Section I. — *Fils conducteurs.*

Cuivre. — Dans l'échelle des conductibilités, le cuivre pur tient le rang le plus élevé après l'argent qu'il suit de très près, mais la présence de matières étrangères diminue beaucoup son pouvoir conducteur et la qualification de cuivre de *haute conductibilité* est synonyme de celle de cuivre *très pur*. Le docteur Matthiessen [1] a étudié l'effet qu'exerce sur la conductibilité du cuivre pur (préparé par l'électrolyse) l'introduction des principales substances que l'on rencontre associées au cuivre naturel. « Il a

1. Voir l'adresse inaugurale du professeur Abel à la Société des ingénieurs des télégraphes de Londres, 24 janvier 1877.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

reconnu qu'il était impossible d'augmenter le pouvoir conducteur du cuivre pur par l'addition d'une autre substance, et que certains éléments non métalliques que l'on rencontre à peu près dans tous les cuivres du commerce (notamment l'oxygène et l'arsenic) altèrent ce pouvoir dans de fortes proportions. Ainsi, la conductibilité du cuivre pur galvanoplastique étant représentée par 100, l'addition de quelques traces d'arsenic la réduit à 60, et une addition de 5 pour 100 la fait tomber à 6,5 [1].

« La fusion du métal pur au contact de l'air ramène au bout de très peu de temps sa conductibilité à 76, et la quantité d'oxygène ou de sous-oxyde de cuivre qui se forme est si faible qu'il est fort difficile de la doser.

« La conductibilité du cuivre est moins altérée par la présence de petites quantités d'autres métaux que par les impuretés non métalliques; cependant le fer et l'étain la diminuent beaucoup : l'existence de 1,3 pour 100 d'étain dans le métal pur réduit sa conductibilité à 50,4 et celle de 0,48 pour 100 seulement de fer la fait tomber à 36.

« Les travaux de Matthiessen et d'autres chimistes permettent d'expliquer les qualités de malléabilité et de ductilité que donne au cuivre l'addition d'un peu de plomb. Cependant l'addition de 0,25 pour 100 de plomb rend le cuivre cassant, et il suffit même de 0,1 pour 100 pour rendre impossible le passage à la filière; les excellents effets produits par l'addition d'un peu de plomb dans l'affinage du cuivre prouvent donc que le plomb agit en se combinant avec des impuretés du cuivre et en s'éliminant avec elles, puisque l'analyse du cuivre ainsi traité ne révèle que la présence de quelques traces de plomb. Il est très probable que le plomb agit comme désoxydant en raison de sa grande affinité pour l'oxygène. Un échantillon de cuivre pur, après sa fusion au contact de l'air, avait une conductibilité de 87,25; en ajoutant 0,1 pour 100 de plomb, et fondant le tout dans un courant d'acide carbonique, la conductibilité est remontée à 93, et la quantité de plomb restant dans le métal était trop faible pour être dosée. L'étain donne des résultats analogues : un alliage de cuivre pur avec 1,3 pour 100 d'étain a une conductibilité de 50,4; mais en ajoutant 0,1 pour 100 d'étain à l'échantillon de cuivre qui avait été fondu au contact de l'air, la conductibilité de ce dernier est remontée de 87,25 à 94,55, quelques traces d'étain seulement restant dans le cuivre.

« L'addition de petites quantités de substances facilement oxydables,

1. M. Mouchel (France) expose un échantillon de cuivre avec 10 pour 100 d'arsenic, dont la conductibilité est 3,66 (voir page 157).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comme le phosphore (qui cependant altère beaucoup la conductibilité du cuivre), a le même effet que celle de ces métaux oxydables.

« Ainsi l'effet de l'oxygène, que l'on rencontre dans presque tous les cuivres du commerce, sur la conductibilité électrique de ce métal, peut être combattu avec succès par l'addition judicieuse de certaines autres impuretés, que l'on emploie avec avantage comme agents chimiques, bien que si elles restaient alliées à ce métal, elles altéreraient sa conductibilité autant que l'impureté qu'elles permettent d'éliminer.

« Matthiessen a trouvé pour la conductibilité des cuivres commerciaux qu'il a analysés des valeurs variant de 94 à 92 [1]..... ».

On atteint aujourd'hui facilement des conductibilités de 90 et au-dessus, rapportées au cuivre pur.

La conductibilité d'un cuivre, par rapport au cuivre pur, se calcule en sachant que 1 mètre de fil de cuivre pur pesant 1 gramme a une résistance de 0,144 ohm à la température de 0° C. Si l mètres d'un fil de cuivre pesant P grammes ont une résistance R_0 à la température de 0°, la conductibilité de ce fil par rapport au cuivre pur sera donnée par la relation

$$C = \frac{14,4 \times l^2}{P R_0}.$$

La résistance R_0 se déduit de la résistance R_t à la température t, par la relation $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$ dans laquelle $\alpha = 0,00388$, ou approximativement 0,004.

La comparaison se fait quelquefois à la température de 15°,5 C. (60° Fahrenheit), et dans la télégraphie sous-marine, toujours à la température de 24° C. (75° Fahrenheit).

A la température de 15°,5, 1 mètre de fil de cuivre pur pesant 1 gramme a une résistance de 0,1526 ohm ; et à la température de 24° C. de 0,1575 ohm.

La conductibilité du cuivre est quelquefois rapportée à celle du mercure, en particulier quand les mesures s'effectuent en unités Siemens. On admet alors que la conductibilité du cuivre est 60 fois celle du mercure pur à 0° C.

Dans les applications télégraphiques, on prend 8,89 comme densité du cuivre ; sa charge de rupture est d'environ 28 à 29 kilogrammes par millimètre carré de section.

1. Professeur Abel, déjà cité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La fabrication française des fils de cuivre de haute conductibilité est représentée à l'Exposition par les maisons MOUCHEL, LÉTRANGE (fonderies de Romilly, Eure), LAVEISSIÈRE ET FILS, DOPFELD (fils de cuivre rosette), VIDECOQ (Rugles, Eure), SOCIÉTÉ PARISIENNE DE FONDERIE ET DE LAMINAGE (Mines de cuivre argentifère du Var, arrondissement de Puget-Théniers, Alpes-Maritimes), WEILLER ET MONTEFIORE-LEVI (Angoulême), OESCHGER MESDACH et Cie, etc.

Les spécimens de M. Mouchel méritent une mention spéciale par leur finesse, leur longueur et les soins apportés au tréfilage. Les fils sont ronds, carrés, ovales, triangulaires. Les fils ronds ont des diamètres depuis 10 millimètres jusqu'à $0^{mm},5$; leur conductibilité est supérieure à 90 pour 100. On voit entre autres une pièce de $0^{mm},5$ d'un seul bout mesurant plus de 12 kilomètres et une autre pièce de $1^{mm},3$ mesurant plus de 15 kilomètres et pesant 181 kilogrammes environ. Dans la pratique, les couronnes ne dépassent guère 80 kilogrammes.

MM. Laveissière et fils exposent l'appareil servant à mesurer la conductibilité des fils; c'est un pont de Wheatstone ordinaire. Le fil est enroulé sur une gorge hélicoïdale creusée à la surface d'un cylindre en bois : on mesure la résistance d'une longueur de 100 mètres comprise entre deux bornes serre-fils.

Dans les sections étrangères, il faut citer les échantillons envoyés par la SOCIÉTÉ ANONYME DE SKULTUNA (Suède).

Fer et acier. — Dans la construction des lignes télégraphiques aériennes, on emploie à peu près exclusivement le fil de fer galvanisé. La densité du fer est d'environ 7,79; comme règle approximative, on admet souvent que le fil de fer galvanisé de 4 millimètres de diamètre pèse 100 kilogrammes par kilomètre (au lieu de 98).

D'après les tables de résistances électriques spécifiques, le fer pur à 0° C. serait 5,94 fois plus résistant que le cuivre pur à la même température. Mais ce rapport doit augmenter avec la température, car le fer varie de 0,63 pour 100 par degré de température et le cuivre de 0, 38 pour 100. A la température de 15°,5 C., il est de 6 environ. On admet généralement que le fer employé dans la télégraphie a 7 fois la résistance du cuivre pur, ce qui, à la température de 15°,5, met à 10 ohms environ la résistance d'un kilomètre de fil de 4 millimètres.

Les électriciens américains se sont préoccupés de spécifier la conductibilité du fil de fer galvanisé. Ils la définissent par le *ohm-mile*, c'est-à-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dire le poids que doit avoir un mille (1609 mètres) du fil considéré pour que sa résistance soit de 1 ohm. Le *ohm-mile* pour le cuivre pur à 15°,5 C. est de 872 livres.

La condition imposée par les cahiers des charges de la *Western-Union Company* est que la résistance en ohms par mille à 15°,5 C. n'excède pas le quotient de 5,500 par le poids du fil en livres par mille. Un fil pesant 550 livres par mille ne doit pas avoir une résistance supérieure à 10 ohms par mille, ce qui revient à dire qu'un kilomètre de fil de 5 millimètres ne doit pas avoir une résistance supérieure à 6,2 ohms, ou un kilomètre de fil de 4 millimètres une résistance supérieure à 9, 7 ohms.

Le fil fourni actuellement à la *Western-Union* aurait un ohm-mile de 4,884 livres; en Angleterre, où l'on commence aussi à introduire des spécifications de ce genre, le ohm-mile des fils livrés au Post-Office ne dépasserait pas 4,900 livres. En d'autres termes, la résistance de ce fil ne dépasserait pas 6,4 fois celle du cuivre pur. Une disposition simple permet de reconnaître si une couronne de fil remplit les conditions électriques exigées. Supposons, par exemple, que la résistance du fil ne doive pas dépasser 10 ohms par kilomètre, ou 0,1 pour 10 mètres. On déroule la couronne et on fait glisser le fil entre deux doubles galets à ressort qui établissent successivement dans toutes ses parties deux contacts distants de 10 mètres. On forme un pont de Wheatstone dont la portion du fil comprise entre les galets forme l'une des branches; les trois autres branches étant déterminées par la condition que l'équilibre est établi quand la quatrième branche a une résistance de 0,1, tout déplacement de l'aiguille d'un certain côté du zéro indiquera que la portion correspondante du fil a une résistance supérieure à celle exigée.

En France, les cahiers des charges ne spécifient pas encore de conditions de ce genre; ils se bornent à exiger que le fil soit fondu et affiné au bois, et bien recuit; mais la question est à l'étude [1], et, à l'instigation du service télégraphique, un certain nombre d'essais ont été entrepris.

La COMPAGNIE ANONYME DES FORGES DE CHATILLON ET COMMENTRY expose divers types de fils de fer pour lignes télégraphiques, provenant les uns de fers au coke, les autres de fontes au bois et affinées au bois. Ils ont été fabriqués dans ses usines du Berry (Tronçais) et de Bourgogne (Plaines de Sainte-Colombe). La Compagnie résume dans le tableau ci-des-

1. M. Hughes a appelé notre attention sur les indications que pourrait donner sa balance d'induction dans les recherches relatives aux qualités des fils de fer et d'acier destinés à la télégraphie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sous les qualités physiques et électriques de ses fils pour usages télégraphiques :

		TRACTION de RUPTURE par millimètre carré.	ALLONGEMENT pour CENT.	PLIAGES A ANGLE droit.	SPIRES sur 10 centimèt.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millim.
		Kilogramm.				Ohms.
Qualité ordinaire.						
Fers au coke.						
5 millimètres	Berry, n° 1....	44 à 48	5 à 7	4 à 6	18 à 19	10,23
4 —	Bourgogne, n° 1.	40 à 45	6 à 10	4 à 7	18 à 20	10,01
3 —						
Qualité extra.						
Fers au bois.						
5 millimètres.	Berry, n° 2....	38 à 42	7 à 10	7 à 9	19 à 22	10,34
4 —	Bourgogne, n° 2.	48 à 40	10 à 14	7 à 11	19 à 24	10,84
3 —						

Des essais faits par le service télégraphique ont donné d'autre part les résultats suivants :

DIAMÈTRE DU FIL.	TRACTION DE RUPTURE par millimètre carré.	ALLONGEMENT pour CENT.	PLIAGES A ANGLE droit.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millimètres à 0° C.
4 millimètres.	44 kilogramm.	9	5	10,14 ohms.
3 —	40 —	13	11	9,31 —

On remarque parmi les échantillons exposés une botte de fil de 3 millimètres dépassant 1,500 mètres de long et pesant 90 kilogrammes; c'est le maximum de poids obtenu en fabrication courante.

L'acier ayant une résistance à la traction supérieure à celle du fer, son emploi dans la construction des lignes permet d'augmenter la portée et par suite de diminuer le nombre des appuis et des isolateurs. Les efforts des fabricants tendent à obtenir des aciers d'une grande résistance mécanique et dont la conductibilité se rapproche de celle du fer. Les premiers fils d'acier des forges de Châtillon et Commentry, essayés par le service télégraphique en décembre 1880, ont donné comme résultats :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAMÈTRE.	TRACTION DE RUPTURE par millimètre carré.	ALLONGEMENT pour CENT.	PLIAGES A ANGLE droit.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millimètres à 0° C.
4 millimètres	71 kilogramm.	5	6	13,87 ohms
3 —	85 —	5	6	14,14 —

Les fils d'acier exposés répondraient, d'après la Compagnie, aux conditions ci-dessous :

		RÉSISTANCE par millimètre carré.	ALLONGEMENT pour ENT.	PLIAGES A ANGLE droit.	SPIRES sur 10 centimèt.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millimèt.
		Kilogramm.				Ohms.
Qualité pour Télégraphes.	Acier Tronçais doux et extra-doux.	45 à 50	5 à 7	6 à 9	18 à 19	11,09
5 millimètres.		55 à 60	5 à 6	6 à 8	18 à 21	10,30
4 —	Acier Sainte-Colombe doux.	44 à 50	9 à 12	6 à 10	18 à 25	10,35
3 —						

Par des opérations convenables de trempe et de recuit, on peut obtenir les fils d'acier les plus variés sous le rapport des nuances et de la dureté. Ces fils sont utilisés dans la construction des lignes téléphoniques aériennes, où la conductibilité n'a plus la même importance que lorsqu'il s'agit de lignes télégraphiques à longues distances. La résistance à la rupture de ces fils peut alors atteindre 140, 150 et même 200 kilogrammes par millimètre carré. La Société de Châtillon et Commentry expose des échantillons de fils d'acier de 2 millimètres pour téléphones, présentant les résistances suivantes par millimètre carré :

Acier non trempé galvanisé, 80 kilogrammes ;

Acier trempé galvanisé, 110 kilogrammes ;

Acier trempé noir, 120 kilogrammes.

La conductibilité de ces fils est environ la moitié de celle du fer.

La maison SCHNEIDER et C^ie^ (forges et aciéries du Creusot) fabrique des fils en *métal homogène* ou acier doux galvanisé, dont la conductibilité égale au moins celle des bons fils de fer, mais dont les propriétés méca-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

niques seraient plutôt inférieures, d'après les expériences faites par le service télégraphique.

DIAMÈTRE.	TRACTION DE RUPTURE par millimètre carré.	ALLONGEMENT pour CENT.	PLIAGES A ANGLE droit.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millimètres à 0° C.
5 millimètres	30 kilogramm.	6	3	9,40 ohms
4 —	40 —	13	3	9,40 —
3 —	40 —	9	12	9,12 —

Dans une notice, MM. Schneider et C^ie font connaître qu'ils se sont préoccupés d'abord d'obtenir avec de l'acier la conductibilité normale du fer, pensant qu'il sera facile ensuite de donner à cet acier des qualités mécaniques supérieures à celles du fer. Ils ont entrepris des essais dans le but de rechercher les causes des variations de conductibilité des aciers; les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau suivant, qui donne, à côté de la résistance électrique d'un échantillon, sa composition chimique :

DÉSIGNATION.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millimèt. en ohms.	TEMPÉRATURE.	COMPOSITION CHIMIQUE.		
			CARBONE pour 100	SILICIUM pour 100.	MANGANÈSE pour 100.
1. Fer des télégraphes français.....	10,87	10°	»	»	»
2. Acier doux du Creusot (écroui ou non)..	9,37	10°	0,15	0,075	0,18
3. id. id.....	9,80	14°	0,22	0,14	0,22
4. id. id.....	10,44	10°	0,17	0,13	0,32
5. Acier du Creusot (fil de clavecin, diamètre 0,39).....	11,56	10°	0,57	?	0,41
6. Fil de câble (Felten et Guilleaume)...	12,25	8°	0,62	0,12	0,25
7. Fil de câble (inconnu).....	13, »	10°	0,80	0,21	0,41
8. Fil de câble (Richard Johnson).....	14, »	8°	0,65	0,15	0,40
9. Acier du Creusot..... ..	14, »	11°	0,65	0,31	0,62
10. Id.	14,25	10°	0,35	0,35	0,64
11. Inconnu (rupture de 120 à 130 kilogrammes).....	16, »	11°	0,54	0,24	1,40
12. Fil d'acier suédois.....	18,44	11°	0,78	0,59	0,41

Voici les conclusions que MM. Schneider et C^ie tirent de leurs expériences :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« 1° La conductibilité, aussi bien que toutes les autres propriétés physiques, est une fonction de la composition des aciers ;

« 2° Le manganèse et le silicium ont une action prédominante. En effet, les aciers classés par ordre de résistance électrique croissante le sont aussi par ordre de teneur croissante en manganèse, sauf deux exceptions : l'une, n° 12 (acier suédois), correspond à une teneur considérable en silicium ; l'autre, n° 6 (fil de câble de Felten et Guilleaume) a dû subir des trempes spéciales pour acquérir un haut degré de durcissement. La teneur en carbone, variant très irrégulièrement avec la conductibilité, semble n'avoir sur cette propriété qu'une influence de second ordre.

« 3° L'écrouissage ne diminue pas sensiblement la conductibilité ; un échantillon de l'acier doux n° 2, écroui spécialement, a conservé la résistance électrique moyenne des autres fils de la même coulée ; le fil de clavecin n° 5, amené au diamètre de $0^{mm},39$ et non recuit, reste au rang que lui assigne sa teneur en manganèse.

« Il semble donc que l'on pourrait obtenir à volonté, aussi bien que les fils extra-doux exposés, des fils beaucoup plus résistants à la rupture sans altérer notablement la conductibilité ; il suffirait pour cela de donner la dureté par le carbone seul, en éliminant soigneusement le silicium et le manganèse ; ou, si l'on conserve les aciers doux n°s 2, 3, 4, de laisser subsister en partie l'écrouissage dû à la filière. »

A titre de renseignement, et bien que cette société n'ait pas exposé, nous citerons le résultat d'expériences faites sur des fils d'acier non galvanisés de la Société des forges de Firminy.

DIAMÈTRE.	TRACTION DE RUPTURE par millimètre carré.	ALLONGEMENT pour CENT.	PLIAGES A ANGLE droit.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millimètres à 0° C.
Millimètres.	Kilogramm.			
4	85	1,9	3	13,13
3	97	1,55	7	13,15
2,2	190	1,8	11	13,61
1,52	148	2,7	13	13,06

Outre son emploi dans la construction des lignes aériennes, le fil de fer sert encore dans la télégraphie à former les armatures des câbles souterrains et sous-marins ; et, à l'état de fil ténu, on le retrouve dans les paratonnerres à fil préservateur. Ces trois usages du fil de fer se rencontrent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans l'exposition de la Société anonyme des hauts fourneaux, fonderies et forges de la Franche-Comté. On y voit une botte de fil de $2^{mm},5$ d'une longueur de 2,200 mètres sans soudures et des fils fins pour paratonnerres de diamètres $0^{mm},14$ et $0^{mm},21$ mesurant respectivement 34,510 et 24,113 mètres en un seul bout sans soudures.

La maison Felten et Guilleaume, dans la section allemande, expose les produits de son usine *Carlswerk*, à Mulheim-sur-Rhin, affectée exclusivement à la fabrication des fils et cordes métalliques et des câbles télégraphiques.

Les fils télégraphiques sont classés en quatre catégories :

1° Fer au coke, recuit et huilé (huile de lin cuite) ;

2° Fer au bois, recuit et huilé ;

3° Flusseisen (acier décarburé) galvanisé ;

4° Fer de haute conductibilité (préparé avec les meilleurs produits allemands et suédois en fer au bois) galvanisé.

Ces quatre qualités répondraient aux spécifications suivantes :

		TRACTION de RUPTURE du fil.	ALLONGEMENT pour CENT.	TORSIONS sur $0^{m},15$ de longueur.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres à 15° C.
		Kilogramm.			Ohms.
Fer au coke	5 millimètres.	785	14	13	»
	4 —	500	14	14	»
	3 —	280	14	17	»
Fer au bois	5 —	750	17	15	»
	4 —	475	17	17	»
	3 —	265	17	20	»
Flusseisen (acier décarburé)	5 —	825	19	16	7,2
	4 —	525	19	20	11,»
	3 —	295	19	27	19,5
Fil de haute conductibilité	5 —	650	20	16	5,6
	4 —	415	20	20	8,8
	3 —	225	20	27	15,75

La galvanisation des fils résisterait, sans que le fil soit mis à nu, à sept immersions successives de une minute chacune dans une solution d'une partie de sulfate de cuivre et cinq parties d'eau. Les cahiers des charges en France n'exigent que quatre immersions.

Pour les lignes téléphoniques, la maison Felten et Guilleaume recommande l'emploi de fils en flusseisen de $2^{mm},2$ et $2^{mm},5$ résistant à des tractions de 40 et 65 kilogrammes par millimètre carré, qui possèdent une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

conductibilité suffisante en même temps qu'une grande souplesse, et celui de fils en acier fondu au creuset, de 2 millimètres et $2^{mm},2$ résistant à 90 et 140 kilogrammes par millimètre carré, d'une élasticité considérable, mais d'une conductibilité moindre.

On peut avoir des fils d'acier fondu de toutes les résistances jusqu'à 200 kilogrammes par millimètre carré. Les fils obtenus par les procédés des exposants auraient leur limite d'élasticité très voisine de la résistance à la rupture, ce qui permet au fil de supporter la tension produite par les plus grands froids et de s'allonger de nouveau quand la température s'élève. Cette qualité les distinguerait des fils en acier Bessemer, qui, n'ayant pas une limite d'élasticité supérieure à celle du fer, se brisent facilement par les temps froids. Le fil d'acier Felten-Guilleaume s'allongerait de 6 pour 100 à la rupture, alors que le fil d'acier Bessemer ne s'allongerait que de 2 pour 100 en moyenne.

Citons encore des fils télégraphiques de $2^{mm},5$ et des fils à ligature de $1^{mm},6$ et 2 millimètres en flusseisen ou en fer de Suède; des torons de 3, 4 et 7 fils de $2^{mm},5$ pour haubans; et des torons de 3 fils de $1^{mm},6$ dont on se servirait en Angleterre et en Belgique comme conducteurs téléphoniques.

La collection de fils galvanisés pour armatures de câbles comprend des fils de 9,5-7,5-5-3,8 millimètres et des fils d'acier dont la résistance de rupture par millimètre carré est indiquée entre parenthèses :

Fils d'acier de $2^{mm},5$ (80-90-110) et de $1^{mm},85$ (90 à 95);

Fils d'acier pour câbles de torpilles de 2 millimètres et $1^{mm},8$ (120), de $1^{mm},1$-0,85 et 0,55 (100);

Fils d'acier pour cordes de grappin de $2^{mm},5$ (140);

Pour les appareils de sondage, ce sont des fils d'acier non galvanisés de $1^{mm},6$-1-0,6 (180).

L'Angleterre distingue quatre qualités de fils de fer désignées par les noms de fils *best*, *best-best*, *extra-best-best* et *charcoal* (au bois). Le fil *best* est le fil ordinaire puddlé; en fait, cette désignation s'applique indistinctement à toute espèce de fil télégraphique ou de barre de fer. Le *best-best* est fait avec du fer de qualité supérieure, et le fil *extra best-best* s'obtient par l'introduction du fer au bois dans le fer *best-best*. Tandis qu'en France les cahiers des charges des Télégraphes continuent à exiger du fer au bois recuit, le *Post-Office* y substitue maintenant le fer *best-best*. Il n'emploie plus le fer au bois que pour le fil de ligature, fil n° 16 de la jauge de Birmingham (1^{mm}, 65).

Le plus gros diamètre des fils télégraphiques correspond au n° 4

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(6mm,10) : on ne s'en sert qu'exceptionnellement et sur les plus longs circuits. Le diamètre courant correspond au n° 8 (4mm,31) : pour les circuits peu importants, on use du n°11 (3mm,17). Le diamètre est exigé à 0mm,127 près (0,005 de pouce). Tous ces fils sont galvanisés. La galvanisation n'a pas d'effet appréciable sur la traction de rupture, mais diminue l'allongement.

Les épreuves mécaniques du fil de fer galvanisé sont au nombre de 4 : 1° pincé dans un étau, il doit pouvoir être plié à angle droit dans les deux sens un certain nombre de fois avant de se rompre ; 2° il doit pouvoir s'enrouler un certain nombre de fois sur lui-même sans se déchirer ; 3° il doit supporter sans se déchirer un certain nombre de torsions sur une longueur donnée : c'est l'épreuve la plus ordinaire de la ductilité ; 4° il doit supporter sans se rompre une certaine traction.

Suivant M. Preece, un bon fil de fer doux, bien recuit, ne doit pas se rompre sous une charge inférieure à 40 kilogrammes par millimètre carré et avec un allongement moindre de 18 pour 100. A toute diminution de ductilité, c'est-à-dire du nombre de torsions sur une longueur déterminée (0m,15) doit correspondre une augmentation de la traction de rupture.

Avec une traction de rupture minima de 40 kilogrammes par millimètre carré, le fil n° 8 (4mm,31) doit donner les résultats suivants :

	TORSIONS sur 0m,15.	ALLONGEMENT moyen pour 100.
Best-best	11	15
Extra-best-best	13	16 à 18
Au bois.	15	18

MM. Richard Johnson and Nephew (Bradford Iron Works, Manchester) exposent des échantillons de fil de fer galvanisé n° 8 (4mm,31) en bottes d'un seul bout pesant 63,5 kilogrammes et de fil à ligature n° 16 (1mm,65), répondant tous aux spécifications du Post-Office ; du fil galvanisé n° 11 (3mm,17), pour lignes téléphoniques, en bottes d'un seul bout pouvant atteindre 63,5 kilogrammes et du fil d'acier n° 15 (1mm,92) résistant à 125 kilogrammes par millimètre carré tout en pouvant s'enrouler sur un cylindre d'un diamètre double de celui du fil, pour les lignes téléphoniques des villes dont les supports doivent être très légers, et dont le fil doit pouvoir supporter une grande tension pour ne pas être exposé à se rompre et à tomber sur le sol des rues. Pour les armatures de câble, il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

importe d'avoir des fils de grande longueur d'un seul bout, afin de diminuer le nombre des soudures, et par suite le nombre des arrêts des machines à câbles et le nombre des points faibles dans le câble : une botte exposée de fil *best* galvanisé n° 00 ($9^{mm},21$) a un poids qui dépasse 90 kilogrammes.

La WHITECROSS WIRE AND IRON COMPANY (Warrington) fournit également des fils de fer au gouvernement anglais ; elle présente quelques spécimens de fils télégraphiques, de fils à ligature et de fils en fer homogène pour armatures de câbles. Des essais faits par le service télégraphique français sur des fils de cette Compagnie ont donné pour résultats :

DIAMÈTRE.	TRACTION DE RUPTURE par millimètre carré.	ALLONGEMENT pour CENT.	PLIAGES A ANGLE droit.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millimètres à 0° C.
$4^{mm},4$	45	10	9	9,12 ohms

Deux grandes maisons de fabrication de fils de fer et d'acier figurent dans la section belge. MM. A. DAWANS et H. ORBAN (laminoirs et tréfileries de Renory, près Liège) offrent des échantillons de fils d'acier dont les diamètres varient de 12 millimètres à $0^{mm},13$, de toutes les qualités, depuis les aciers durs résistant à 90 kilogrammes par millimètre carré et ne s'allongeant que de 1 pour 100 jusqu'aux aciers les plus doux résistant à 35 kilogrammes par millimètre carré et s'allongeant de 21 pour 100. Le prix de ces fils est de 10 pour 100 supérieur à celui des fils de fer de mêmes dimensions. La maison a fourni une partie notable du fil d'acier galvanisé de 2 millimètres employé sur les réseaux de la *Bell Telephone Company*.

Les fils de fer et d'acier, pour lignes télégraphiques et téléphoniques, de la SOCIÉTÉ ANONYME DE GRIVEGNÉE (près Liège) comprennent des rouleaux de fils de 1 à 6 millimètres de diamètre, pesant de 14 à 60 kilogrammes. Ces fils forment trois catégories : 1° fils d'acier, clairs, durs, résistant à 55 kilogrammes par millimètre carré, sans allongement ; 2° fils de fer recuits, résistance 30 kilogrammes par millimètre carré avec allongement de 2 à 3 pour 100 ; 3° fils de fer galvanisés résistant à 36 kilogrammes par millimètre carré, avec allongement de 2 à 3 pour 100. Des échantillons de fonte d'affinage et de fontes manganésifères miroitantes, ainsi que des billettes de fer fin grain et d'acier montrent les matières premières de ces fils.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les ateliers de galvanisation de JOWA (Liège) ont envoyé des spécimens de leurs fils galvanisés et l'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES DE L'ÉTAT BELGE expose les fils de fer et d'acier galvanisés qu'elle emploie.

Le fer suédois est renommé par ses qualités mécaniques et sa conductibilité : on en trouve des échantillons dans la section suédoise, au nom de la SOCIÉTÉ ANONYME DE LESJOEFORS.

Le DÉPARTEMENT DES TÉLÉGRAPHES DE RUSSIE expose du fil d'acier depuis $2^{mm},25$ jusqu'à 6 millimètres, fabriqué par Hobrecker, à Riga, et des fils télégraphiques de l'usine de Lvoff, à Saint-Pétersbourg.

Fil compound (acier et cuivre). — On a songé à utiliser les qualités respectives du cuivre et de l'acier en associant ces deux métaux dans la composition des conducteurs télégraphiques. Le premier fil *compound*, fabriqué en Amérique, était du fil d'acier recouvert de cuivre par la galvanoplastie. D'après M. Prescott, le *ohm-mile* du fil d'acier employé était de 6,383 livres, ce qui met à 1,31 la résistance électrique de cet acier par rapport au meilleur fer (dont le *ohm-mile* est de 4,884) et à 1,16, cette résistance par rapport au fer ordinaire (celui dont le *ohm-mile* est de 5,500).

En désignant par A la résistance du fil d'acier, C celle de l'enveloppe de cuivre, R celle du fil composé, on a $R = \frac{AC}{A+C}$.

Cette relation permet, connaissant la résistance d'un fil d'acier, de trouver le poids du cuivre à ajouter pour que le fil composé ait une résistance donnée. Ainsi la résistance d'un fil d'acier étant de 33 ohms par kilomètre, si on veut que le fil composé ait une résistance de 9,32, la résistance du cuivre sera donnée par $C = \frac{AR}{A-R} = 13$.

Le poids du kilomètre de cuivre ayant un ohm de résistance étant $152^{kgs},6$, le poids du cuivre pur à ajouter par kilomètre sera de $152,6 : 13 = 11,74$ kilogrammes.

Le fil composé se fabrique actuellement en enroulant un ruban de cuivre autour d'un fil d'acier étamé, passant le tout à la filière et soudant par immersion dans un bain d'étain. On a fabriqué en France du fil d'acier de $1^{mm},7$ recouvert d'une feuille de cuivre de $0^{mm},2$, pesant 29 kilogrammes par 1,000 mètres ; il rompait sous une charge totale de 150 kilogrammes et avait une conductibilité un peu supérieure à celle du fil de fer galvanisé de $3^{mm},5$. Ce fil, qui allie une grande ténacité à une conductibilité suffisante avec un poids faible, procurerait une économie notable dans le transport et une grande simplification dans la construction. Avec la même

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

conductibilité sous une section moindre, on diminuerait l'induction mutuelle des fils. Mais les expériences faites n'ont pas suffisamment prouvé que l'adhérence des deux métaux doive se maintenir.

MM. SIEMENS frères (Grande-Bretagne) ont envoyé quelques échantillons de fil d'acier recouvert d'un tube de cuivre bien adhérent; son poids est un tiers de celui du fil de fer de même résistance électrique. Les joints de ces fils s'effectuent à l'aide de manchons en cuivre que l'on remplit de soudure ; ils présentent une grande analogie avec ceux en usage en France sur les lignes en fil de fer. On voit aussi du fil d'acier cuivré chez MM. DAWANS et ORBAN (Belgique).

Bronze phosphoreux. — En Belgique et en Italie, les compagnies téléphoniques font usage de fils en bronze phosphoreux dont M. MONTEFIORE-LÉVI (fonderie et tréfilerie d'Anderlecht) expose plusieurs spécimens dans la section belge. Tandis que le cuivre rouge ne s'écrouit pas à la filière, possède peu d'élasticité et prend un allongement permanent sous de faibles charges, le bronze phosphoreux, par l'écrouissage, devient élastique, durcit et peut supporter des charges de 50 et même 100 kilogrammes par millimètre carré. Comme il est absolument inoxydable, on peut l'employer en fils très fins. Or l'emploi de fils fins dans les lignes aériennes présente de nombreux avantages. On peut augmenter les portées et diminuer le nombre des appuis, augmenter le nombre des fils sur les mêmes appuis, sans que la charge soit trop considérable ; les fils fins offrent peu de prise au vent ou à la neige et il n'est pas nécessaire d'éteindre les vibrations par des sourdines ; enfin l'induction mutuelle est diminuée. Les réseaux téléphoniques de Bruxelles et de Gand sont construits, pour la plus grande partie, en fil de $0^{mm},8$ dont le kilomètre pèse environ $4^{kgs},500$: certaines portées atteignent 500 mètres et les chevalets placés au-dessus des maisons supportent jusqu'à 150 et 200 fils. L'élasticité de ces fils serait telle que, s'ils se brisent, les deux bouts sont ramenés aussitôt vers les supports voisins, sans descendre de plus de 4 mètres au-dessous de leur position primitive dans les plus grandes portées. Toutefois le maniement d'un fil aussi mince exige des ouvriers expérimentés, car le fil se brise facilement s'il se forme un nœud et au moindre enchevêtrement le rouleau de fil est perdu. Aussi M. Montefiore-Lévi recommande de préférence le fil de $1^{mm},25$ dont on fait surtout usage en Italie et qui pèse 10 à 11 kilogrammes par kilomètre.

Le prix du bronze phosphoreux étant d'environ 4 francs le kilogramme, le fil de $0^{mm},8$ revient à longueur égale au même prix que le fil d'acier de 2 millimètres ; en tenant compte des économies dans la pose, M. Montefiore-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lévi estime que le prix d'une ligne en fil de bronze de 1mm,25 est encore inférieur à celui d'une ligne en fil d'acier de 2 millimètres.

On voit dans la vitrine de MM. Weiller et Montefiore-Lévi (fonderie et tréfilerie d'Angoulême, France) 30 fils de 0mm,14 supportant ensemble un poids de 45 kilogrammes, soit plus de 100 kilogrammes par millimètre carré et un fil en un seul bout de 19,280 mètres dépassant 110 kilogrammes par millimètre carré. Par le recuit, le bronze phosphoreux perd sa dureté et son élasticité et prend un grand allongement sous un faible effort ; un spécimen exposé s'allonge de 0m,52 par mètre.

La conductibilité électrique du bronze phosphoreux est assez variable ; les fabricants paraissent jusqu'ici s'être surtout préoccupés de sa résistance à la rupture. Certains essais faits en Belgique et en Suisse mettent sa conductibilité à $\frac{1}{5}$ de celle du cuivre, soit une résistance de 1,4 fois plus faible que celle du fer. Quelques essais faits à Paris à la température de 0° C. ont donné les résultats suivants :

DIAMÈTRE.	TRACTION DE RUPTURE par millimètre carré.	ALLONGEMENT pour CENT.	PLIAGES A ANGLE droit.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 1 millimètre.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de fer de 1 millimètre.
Millimètres.	Kilogramm.				
1,21	39,13	8	17	99,325	161,840
1,46	53,50	4,8	10	100,974	161,840
2,34	53,50	4	14	97,933	161,840
0,815	55,55	8,5	35	164,834	161,840

Le fil de bronze phosphoreux de MM. Felten Guilleaume (section allemande) aurait, d'après le fabricant, une résistance de 6,5 unités Siemens rapportée au fil de 4 millimètres et une traction à la rupture de 55 kilogrammes par millimètre carré.

Fils pour bobines de résistance. — L'alliage le plus généralement usité dans la construction des bobines de résistance est le maillechort ou argent allemand (4 cuivre, 2 nickel, 1 zinc), qui possède une grande permanence et dont la résistance électrique assez élevée (13 fois celle du cuivre) varie peu avec la température (10 fois moins que le cuivre).

M. Mouchel (France) présente un fil de maillechort de 0mm,02 d'une conductibilité de 6,51 pour 100 par rapport au cuivre pur et d'une résistance kilométrique de 779,433,5 ohms ; un autre de 0mm,08 d'une conductibilité

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 4,77 pour 100 et d'une résistance kilométrique de 66,422,5 ohms. En introduisant de l'arsenic dans du cuivre rouge, le même fabricant a obtenu des alliages dont la conductibilité descend jusqu'à 3,66 pour 100 (avec 10 pour 100 d'arsenic) : un fil de $0^{mm},24$ a alors une résistance kilométrique de 9,809 ohms.

Mme Bonis (France) fabrique un fil de platine de 1/40 de millimètre dont un centimètre a une résistance de 11,22 ohms et rougit avec un élément Leclanché.

Section II. — *Matières isolantes.*

Parmi les matières isolantes, les unes servent à la fabrication des isolateurs pour lignes aériennes et des plaques isolantes pour appareils télégraphiques, les autres à la fabrication des fils recouverts et des câbles.

Isolateurs. — La *porcelaine émaillée* est la substance la plus généralement employée pour les isolateurs. Ses qualités isolantes dépendent du choix de la pâte (le kaolin le plus blanc n'est pas celui qui isole le mieux), de celui de l'émail (dont la composition elle-même doit dépendre de la nature de la pâte) et du mode de fabrication (l'isolateur obtenu au *tour à porcelaine* est moins poreux que l'isolateur *moulé*). MM. de Fuisseaux (manufacture de Baudour, près Mons) exposent, dans la section belge, environ 1,500 isolateurs en porcelaine des divers types en usage. Cette maison fournit un certain nombre d'administrations européennes ; et, en ce qui concerne la France, on doit reconnaître que la part qu'elle a prise aux adjudications, nonobstant les droits d'entrée, a contribué à abaisser notablement le prix de ce matériel. On remarque encore les beaux spécimens de MM. Hache et Pepin-Lehalleur (Vierzon), Frion et Thierré, dans la section française ; de MM. Ginori (Florence) et Richard (Milan), dans la section italienne ; de Fukagawa (Arita, par Nagasaki), dans l'exposition du Japon.

Les isolateurs en *grès* ou *faïence brune* sont très employés en Angleterre sous deux formes : l'isolateur double en V (isolateur composé de deux cloches distinctes et reliées par un ciment) et l'isolateur commun en Z (dont la double cloche est faite d'un seul morceau). MM. Bourne and Sons, Stiff and Sons exposent ces divers types.

Le *verre* isole bien, mais l'humidité se dépose facilement sur sa surface. L'isolateur américain de Brooks est en verre soufflé et paraffiné ; il a

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la forme d'une bouteille renversée, cimentée dans un cylindre de fer. Le verre entre aussi dans l'isolateur métallique à scellement vitreux de M. Papin (France) : les constructeurs de paratonnerres en font des embases et des anneaux servant à isoler des édifices (ce qui est un tort) les conducteurs allant de la tige au sol.

L'*ébonite* ou caoutchouc durci est un mélange de 5 parties de caoutchouc et de 2 à 3 parties de soufre : la masse étant rendue homogène et ayant la forme voulue, on la chauffe pendant plusieurs heures à 76° C. en vase clos et sous une pression de 4 à 5 atmosphères. L'exposition à l'air et à la lumière détermine l'oxydation du soufre et la formation d'acide sulfurique, l'ébonite devient cassante et poreuse, et retient les poussières ; on la préserve par un vernis à la gomme-laque. Enfin l'humidité couvre sa surface d'une couche d'eau continue, tandis qu'elle ne forme sur la porcelaine que des gouttelettes séparées, et l'ébonite mouillée sèche très difficilement. On l'emploie en Belgique pour former la cloche intérieure des isolateurs ; on l'emploie aussi pour la confection d'isolateurs très légers destinés à la télégraphie militaire, tels que ceux exposés par MM. Ménier (France), Le Tellier et Verstraet (France) et Pavoux (Belgique).

L'ébonite devient le *vulcanite*, quand on y ajoute des substances colorantes, telles que le sulfure d'antimoine ou le vermillon qui donnent une couleur orange ou rouge. Quand on se sert d'un sulfure, il faut avoir soin de diminuer la proportion de soufre naturel ajoutée au caoutchouc. Le sulfure d'antimoine aurait l'avantage d'empêcher les efflorescences de soufre à la surface de l'isolateur.

On a proposé l'emploi du *celluloïd* (mélange de camphre, pyroxiline et alcool, comprimé à 80° C. et sous une pression de 150 atmosphères) ; mais ce produit n'a pas encore été expérimenté.

Fils recouverts et câbles. La désignation de *fil recouvert* s'applique généralement à tout conducteur simplement revêtu d'un diélectrique, et celle de *câble* aux fils recouverts (un ou plusieurs), quand ils sont protégés par des enveloppes textiles avec ou sans armature métallique. Nous allons passer en revue les divers diélectriques employés dans la fabrication des fils recouverts et des câbles.

Gutta-percha. — En 1842, le Dr Montgomery observa que le manche d'une cognée dont se servait un naturel des îles de l'archipel indien était fait d'une substance particulière qui se ramollissait dans l'eau chaude et devenait assez plastique pour prendre par le moulage toute espèce de forme. Il en rapporta des spécimens en Angleterre et les présenta à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Société des Arts en 1843 et 1844. M. Williams Siemens, qui s'y trouvait, pensa que cette substance pourrait avoir d'utiles applications dans la télégraphie, et en fit parvenir un échantillon à son frère le Dr Werner Siemens[1] qui expérimenta cette substance à Berlin, pendant que Faraday, de son côté, constatait ses propriétés isolantes. En 1847, MM. SIEMENS et HALSKE imaginèrent la première presse destinée à recouvrir les fils conducteurs d'une couche cylindrique et continue de gutta-percha. Cette presse figure dans l'exposition rétrospective de l'Allemagne, avec des échantillons des fils isolés qui en sont sortis. En 1848, la *Gutta-percha Company* commence à fabriquer des fils recouverts.

Dans l'origine, on considérait la gutta-percha comme fournie par une seule espèce d'arbres, l'*isonandra gutta*. On sait aujourd'hui que le suc laiteux d'un certain nombre d'arbres, appartenant pour la plupart à la famille des *sapotées*, entre dans la substance connue sous le nom de gutta-percha. Ces arbres se trouvent principalement dans l'archipel indien et la presqu'île de Malacca. Le *dichopsis*, que l'on rencontre dans les forêts du Cambodge et de la Cochinchine française, semble donner un produit analogue. Les Guyanes et le Brésil fournissent la *sève de Balata* ou *Gutta de Surinam*, qui est une variété de gutta se rapprochant du caoutchouc.

Le commerce distingue plusieurs sortes de gutta-percha, qu'il désigne tantôt par les noms des marchés où se fait le trafic (Macassar, Singapore), tantôt par ceux des pays de production (Sumatra, Bornéo, Java, etc.). Mais il règne une grande confusion dans ces dénominations, en raison des mélanges qu'opèrent les indigènes ou les intermédiaires. La gutta brute arrive en Europe en blocs de 1 à 4 kilogrammes, dont MM. SIEMENS FRÈRES (Angleterre) et MÉNIER (France) exposent des spécimens. Les Malais donnent quelquefois à ces blocs la forme d'animaux bizarres (exposition de MM. Siemens), le plus souvent celle de pains ou bouteilles à long col. Ces blocs renferment des fragments de bois, de la terre et diverses résines,

1. M. Werner Siemens était alors officier de génie en Prusse, et membre d'une commission chargée de l'étude de la construction des télégraphes. Il songeait à se servir de fils recouverts de caoutchouc pour la construction des lignes souterraines, et trouvant que la gutta-percha était préférable, il en proposa l'emploi au gouvernement prussien en 1846. Tout d'abord, le fil fut recouvert à l'aide de deux bandes de gutta-percha ; mais ayant reconnu que l'humidité arrivait au conducteur, il imagina sa presse, qu'il ne fit pas breveter alors, parce qu'il était au service du gouvernement. Le 23 avril 1850, il prit brevet en Angleterre, seulement pour quelques perfectionnements. Voici maintenant quelques antériorités. Le premier brevet concernant la gutta-percha a été pris par M. Charles Hancock en 1844, pour bouchons et obturateurs; en 1845, M. Bewley brevette une machine à faire des tubes; en 1848, M. Thomas Forster, puis M. Lewis Ricardo brevettent la fabrication de fils recouverts de gutta-percha, en plaçant les fils entre deux bandes qu'on faisait passer entre des cylindres à gorges chauffés à la vapeur (*Journal de la Société des ingénieurs des télégraphes, 1876*).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lesquelles proviennent soit de l'altération spontanée de la substance au contact de l'air, soit des sophistications dont elle est l'objet. La qualité d'une gutta est en raison inverse de la quantité des résines qu'elle contient.

La meilleure gutta est jaunâtre et fibreuse; les autres sont rougeâtres ou blanchâtres et souvent visqueuses. Les gutta dites de Java et de Macassar sont les plus estimées, puis viennent les Sumatra, et en dernière ligne celles dites Bornéo. Les gutta Bornéo sont blanchâtres et renferment un lait qui fermente en dégageant une odeur caractéristique d'acide butyrique; plus tard elles subissent une nouvelle altération et répandent une odeur parfumée de butyrate d'amyle. Finalement elles se résinifient tout à fait, perdent leur odeur et tombent en poussière. Quelques guttas provenant de Bornéo sont cependant considérées comme bonnes: elles portent alors des noms de provinces de cette île (Boelongan, Bandjermassin).

Les procédés de purification sont seulement mécaniques, mais assez compliqués. MM. SIEMENS, MÉNIER et CLARK MUIRHEAD exposent des échantillons de la substance dans les diverses phases de sa manipulation.

La gutta a la même composition chimique que l'huile de térébenthine, soit 88 pour 100 de carbone et 12 pour 100 d'hydrogène. Elle est insoluble dans l'eau et très peu soluble dans l'alcool et l'éther; elle se dissout librement, surtout avec la chaleur, dans le sulfure de carbone, le naphte, la créosote, la benzine, le chloroforme, l'huile de térébenthine et les essences analogues. Elle est complètement inaltérable dans l'eau; mais sous l'action de l'oxygène de l'air, elle brunit et devient cassante, en se transformant en une résine soluble dans l'alcool. L'oxydation est facilitée par la lumière, la chaleur, et surtout les alternatives de sécheresse et d'humidité : elle marche rapidement sous l'influence combinée de ces diverses causes.

Le Dr Miller [1] a montré que la gutta-percha du commerce, avant d'être spécialement soumise à toute action oxydante, contenait déjà dans une certaine proportion la résine, qui est le produit de l'oxydation. Dans un échantillon de *bonne* gutta du commerce, provenant d'un câble neuf et fourni par M. Latimer Clark, il a trouvé 15 pour 100 de résine et 2,5 pour 100 d'eau mécaniquement interposée : cette eau lui parut avoir quelque influence sur la dureté et la souplesse de la matière.

1. Voir l'adresse inaugurale du professeur Abel, à la Société des ingénieurs des télégraphes, dans le journal de cette Société, t. VI, 1877.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les procédés mécaniques de préparation de la gutta-percha ont été beaucoup perfectionnés depuis la date du *Rapport du Comité du télégraphe sous-marin* (1861), qui relate les expériences du docteur Miller ; il ne semble pas cependant qu'aucune amélioration ait été obtenue en ce qui concerne la qualité de la matière, envisagée au point de vue de sa composition chimique. Par des analyses récentes, M. Abel a constaté que la gutta en feuilles la plus estimée contient encore près de 13 pour 100 de résine et 5 pour 100 d'eau, et que, pour des gutta bonnes, mais venant après, la proportion varie en général de 20 à 27,5 pour 100 pour la résine et de 3 à 12 pour 100 pour l'eau. D'autre part, une feuille de gutta de même prix que celles-ci, au bout d'un an de magasin, renfermait 20 pour 100 de résine et 4 d'eau ; et un bâton de gutta-percha continuellement exposé à l'air et à la lumière pendant plusieurs années contenait 24 pour 100 de résine et 2 pour 100 d'eau ; il n'est donc pas évident que ces spécimens aient subi une altération.

Dans l'application de la matière sur les fils, on s'efforce autant que possible de chasser l'eau et l'air contenus dans la gutta en feuilles ; néanmoins deux fils recouverts, provenant de la même manufacture et de fabrication moderne, contenaient encore 1,86 et 3,97 pour 100 d'eau, tandis qu'un fil recouvert laissé dans l'eau pendant plus de dix ans n'en renfermait que 3,07 pour 100, c'est-à-dire moins que l'un des précédents.

« Il n'est donc pas douteux, conclut M. Abel, que l'oxydation ne soit favorisée par les procédés mécaniques de mastication, etc., auxquels on soumet la gutta-percha, pour en séparer certaines impuretés et la rendre bien homogène. Par conséquent, la proportion de résine dans la matière travaillée, c'est-à-dire l'introduction dans la gomme d'une substance diminuant les qualités les plus précieuses d'un diélectrique destiné à la télégraphie, dépend dans une certaine mesure du degré même de perfection du traitement mécanique ayant pour objet la séparation des impuretés. L'examen de *vieilles* gutta de bonne qualité semble prouver que, pourvu que la matière ait été amenée à un état suffisamment compact, dont la proportion d'eau interposée peut donner une idée, l'oxydation de la gomme par l'exposition à l'air et à la lumière marche encore, mais lentement [1]. »

Dès 1852 [2], M. Edwin Clark était arrivé à cette conclusion, aujourd'hui

1. Professeur Abel, discours cité.

2. Voir dans le *Journal de la Société des ingénieurs télégraphiques*, année 1877, la communication de M. Willoughby Smith, sur les *télégraphes souterrains*, et la discussion à laquelle elle a donné lieu. Voir aussi dans le même journal, p. 234, année 1880, la communication de M. Preece sur les déteriorations de la gutta-percha.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bien établie, que dans le travail de préparation de la gutta-percha, une certaine quantité d'eau s'unit mécaniquement à la gomme et que, lorsque la matière est ensuite exposée aux variations de température, l'eau s'évapore et laisse dans la gomme une résine poreuse. Il pensa que si le fil était recouvert d'une substance isolante susceptible de remplir les interstices de la gutta-percha laissés vides par l'évaporation de l'eau, la gomme conserverait probablement ses qualités. De là l'idée de recouvrir les âmes en gutta-percha de rubans saturés de goudron. Seulement, à l'origine, on commit l'imprudence de passer le fil recouvert dans un bain de goudron chaud et de l'exposer au soleil sur des barres de bois : le fil de cuivre se décentra et vint affleurer à la surface du diélectrique. On reprocha alors au goudron de masquer momentanément, par ses propriétés isolantes, le défaut de fabrication des âmes, et en 1861, M. Willoughby Smith remplaça, dans la construction des câbles sous-marins, le chanvre ou jute goudronné par du chanvre ou jute, trempé dans du tannin ou du cachou et appliqué humide. Mais on continua à se servir de rubans goudronnés dans les câbles souterrains. M. W. Smith prétend que ce goudron attaque la gutta-percha ; il entre généralement dans le goudron des principes exerçant une action dissolvante sur la gutta et qui pénètrent dans la gomme devenue poreuse par l'évaporation de l'eau mécaniquement interposée. Toute la question est de savoir si le goudron de bois ou goudron de Stockholm, dont l'emploi est exclusivement prescrit parce qu'on le regarde comme débarrassé de créosote, ne renferme pas de ces principes dissolvants. On a des exemples de câbles souterrains et sous-marins en bon état au bout de vingt ans, malgré le goudron dont ils étaient enduits ; le goudron, en pénétrant les pores de la gutta, peut tout d'abord faire baisser l'isolement (de 20 à 30 pour 100, suivant quelques-uns), mais ensuite, dans un grand nombre de cas, l'isolement restant s'est bien maintenu, le ruban goudronné préservant d'ailleurs la gutta du contact de l'air. Comme, d'autre part, les rubans goudronnés sont incommodes quand il faut tirer les câbles dans des tuyaux, on a trouvé en France une solution satisfaisante pour les lignes souterraines en conduite, en plaçant sur l'âme une enveloppe de jute tanné par-dessus une enveloppe goudronnée, et enfin extérieurement une autre enveloppe de jute tanné. On évite également de cette façon le contact direct de la gutta et du goudron. On a proposé aussi de recouvrir l'âme des câbles souterrains de jute tanné et d'empêcher l'accès de l'air par un ruban extérieur enduit de caoutchouc.

En Angleterre, on a essayé de remplacer le goudron par la paraffine, mais celle-ci est trop cassante. On obtient aujourd'hui de bons résultats

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec l'ozokérite, qui est très souple et très plastique et augmenterait même l'isolement de 10 à 12 pour 100 [1].

Pour avoir un conducteur bien centré, la gutta-percha est placée sur le cuivre par couches successives, en général deux pour les câbles souterrains et trois pour les câbles sous-marins ; et, pour faire adhérer la gutta sur le cuivre et les couches successives entre elles, comme pour remplir les interstices des torons conducteurs, on emploie la *composition Chatterton* [2], qui est un mélange de 1 de goudron de Stockholm, 1 de résine et 3 de gutta-percha. On a attribué un effet fâcheux à l'emploi de cette composition dans les soudures des câbles souterrains, à cause du goudron. Dans les lignes souterraines anglaises, après avoir supprimé d'abord le goudron et laissé la résine, on tend maintenant à supprimer tout à fait l'emploi de cette composition, non seulement dans les soudures, mais même dans les âmes. La meilleure solution, suivant M. Truman, serait d'avoir autant que possible une enveloppe *solide* de gutta, c'est-à-dire une seule couche, sans composition intermédiaire ; et, d'après lui, les procédés de fabrication sont aujourd'hui assez parfaits pour qu'il ne soit plus nécessaire de procéder par couches successives afin d'obtenir le centrage du conducteur et d'éviter l'introduction des bulles d'air dans le diélectrique ; de plus on réalise une grande économie en ne faisant plus repasser plusieurs fois le fil sous la machine à recouvrir. La Compagnie de *Silvertown* a appliqué ce mode de fabrication aux câbles souterrains et aux câbles téléphoniques ; et, dans les câbles sous-marins qu'elle construit pour l'Amérique centrale et l'Amérique du sud, elle a réduit à deux le nombre des couches pour diminuer l'introduction de la Chatterton. M. Truman propose également de faire les soudures avec un moule dans lequel on fait couler de la gutta-percha chaude, qui ravive la surface des bouts dénudés et adhère avec elle. On gagne ainsi du temps et la soudure n'a pas un diamètre plus fort que l'âme. Les derniers câbles souterrains employés par le Post-Office sont à une seule couche de gutta et revêtus de ruban imprégné d'ozokérite.

1. En raison de son point de fusion assez élevé, l'ozokérite ne peut pas s'appliquer comme le goudron, en faisant passer dans la matière liquide le fil garni de son ruban. On fait d'abord passer le ruban dans de l'ozokérite fondue, à laquelle on ajoute un peu de poix de Stockholm pour donner du corps à l'enduit et boucher les pores du ruban ; celui-ci ainsi préparé est appliqué à froid sur la gutta-percha. Pour imprégner le ruban de goudron de Stockholm, il fallait chauffer à 38° C. afin qu'il fût bien saturé, et cette température jointe à la présence de la créosote dans le goudron (?) faisait baisser l'isolement de la gutta.

2. Pour faire adhérer les couches de gutta-percha, on employait autrefois du naphte minéral, qui exerçait une action dissolvante. C'est en 1857 que M. Smith trouva la composition dite Chatterton.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La nature du terrain a une certaine influence sur la durée des lignes souterraines ; les câbles se conservent bien dans l'argile, ils s'altèrent facilement dans le gravier, très vite dans le sol imprégné de gaz d'éclairage et partout où existent des émanations de ce genre. Dans les premiers essais de lignes souterraines faits en Angleterre (1852-54), on remarqua que la détérioration se manifestait surtout aux endroits où se trouvaient des racines de chênes. M. Highton observa aux points défectueux la présence d'un champignon, auquel on attribua alors un grand rôle dans l'altération de la gutta-percha. M. Preece a constaté depuis que c'était surtout dans les chambres de raccords (ou de soudures), c'est-à-dire aux points où l'accès de l'air est le plus facile, que la gutta s'altère ; aussi convient-il que ces chambres soient hermétiquement fermées pour éviter le renouvellement de l'air. De plus, en examinant soigneusement la poussière qui se trouvait sur les parties détériorées, il y découvrit la présence d'un insecte microscopique, le *templetonia crystallina*, de la famille des *Podura*, qui pourrait bien être la véritable cause de l'altération attribuée par Highton à un champignon.

On se garantit contre les attaques de cet insecte et celles des rongeurs, rats et souris, qui sont aussi des ennemis de la gutta, en enfermant le fil recouvert dans un tube en plomb. De même dans certains parages sous-marins infestés de tarets, on protège l'âme des câbles par un revêtement en ruban mince de laiton.

L'oxydation est le plus souvent la vraie cause de l'altération des câbles ; elle est complètement arrêtée par l'immersion dans l'eau ; les câbles sous-marins n'en souffrent jamais, il en est de même des câbles souterrains placés dans des conduites pleines d'eau ; c'est ce qu'on a vérifié dans les pays chauds où les atterrissements des câbles sous-marins sont maintenant raccordés aux bureaux par des fils souterrains enfermés dans des tuyaux que des réservoirs placés au point le plus élevé maintiennent remplis d'eau. Mais, là où les conduites sont sèches et partout où l'air arrive, la gutta devient sèche et cassante.

On peut empêcher l'accès de l'air en noyant les fils recouverts dans une masse solide, du ciment, par exemple [1]. M. Latimer Clark aurait obtenu d'excellents résultats en plaçant des fils vieux et détériorés dans une rigole en bois qu'il remplissait ensuite d'un mélange de goudron et de poix. Dans une ligne ainsi construite le long d'un tunnel, les fils étaient encore bons au bout de quinze ans, ce qui serait une nouvelle preuve qu'à l'abri de l'oxygène, de l'air et des insectes, la gutta se conserve bien.

1. Mais la recherche des dérangements devient difficile (voir la construction des lignes souterraines).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les gommes fibreuses sont celles qui ont le plus de durée ; ce ne sont pas cependant celles qui possèdent l'isolement le plus élevé ni la capacité inductive la plus faible. Ainsi la gutta Macassar donne un isolement moindre et une capacité plus grande que la gutta Bornéo. On augmente les qualités électriques des gommes fibreuses, en les soumettant à une mastication prolongée; mais on détruit les fibres et on favorise l'oxydation de la substance. Aussi les fabricants ont-ils été conduits, autant par raison d'économie que pour exalter les qualités électriques de leurs produits, à faire des mélanges dans lesquels entrent des gommes inférieures. Les recueils de formules et tables électriques ayant été établis à une époque où l'on n'employait que des gutta fibreuses, il en résulte que les nombres qu'ils fournissent sont bien inférieurs pour l'isolement, et notablement supérieurs pour la capacité, à ceux que l'on obtient avec les gutta de fabrication moderne [1]. Celles-ci se ramollissent davantage par la chaleur, résistent moins à la traction, etc. De là des dangers pour les câbles sous-marins, pendant le transport et l'opération de l'immersion ; ces dangers ne sont plus à craindre, une fois le câble posé ; mais ils reparaissent de nouveau, si un accident oblige à le relever. Les dangers sont bien plus grands quand il s'agit de câbles souterrains, surtout si ces câbles sont simplement recouverts d'enveloppes textiles et s'ils doivent subir les efforts de traction nécessaires pour les introduire dans des tuyaux. Les isolements considérables au début tombent vite et la matière se détériore par l'oxydation. Il est donc préférable, notamment pour les câbles destinés aux lignes en tuyaux, de n'employer que des gommes fibreuses, dont les qualités électriques sont moindres tout d'abord, mais offrent en revanche plus de permanence.

M. Willoughby Smith soumet la gutta à un traitement particulier

1. La résistance d'isolement par mille marin se calcule par la formule $R = A \log \frac{D}{d}$ meghoms, D étant le diamètre de l'âme, d celui du conducteur. Pour la gutta-percha, après vingt-quatre heures d'immersion à 24° C., et au bout d'une minute d'électrification, on prenait pour les âmes récemment fabriquées (après le quatorzième jour), A = 500, et pour les âmes vieilles A = 750 environ. Souvent, dans les contrats, on spécifie des nombres doubles ou triples de ceux donnés par la formule, et les isolements fournis par les fabricants sont encore bien supérieurs à ceux exigés. La façon dont se comporte le fil pendant une électrification prolongée paraît être l'épreuve la plus sérieuse à laquelle on puisse soumettre le diélectrique; l'isolement doit augmenter d'une manière continue; des variations brusques, même quand l'aiguille du galvanomètre revient très vite à sa position normale, sont un indice de quelque imperfection. Dans les essais définitifs sur les câbles fabriqués, on prend les déviations de minute en minute, ou même de quinze en quinze secondes, pendant trente minutes au moins; et on suit de la même manière la décroissance de la déviation pendant la décharge du câble. Dans les essais partiels, on spécifie souvent que l'isolement sera pris au bout de deux minutes, quelquefois même au bout de cinq minutes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui réduit un peu son isolement, mais diminue de près de 20 pour 100 sa capacité inductive. Les câbles de l'*Eastern Telegraph Company* sont presque tous fabriqués avec cette matière. Quelques auteurs attribuent à cette gutta une résistance mécanique plus grande qu'à la gutta ordinaire, ce qui semble en contradiction avec le nom de *gutta surchauffée* qu'on lui donne quelquefois et qui indiquerait qu'elle doit ses propriétés à un traitement de nature à favoriser l'oxydation.

Les principales manufactures de fils et câbles en gutta-percha représentées à l'Exposition sont : dans la section anglaise, MM. SIEMENS frères, L'INDIA-RUBBER, GUTTA-PERCHA AND TELEGRAPH WORKS COMPANY (Silvertown) ; en France, MM. RATTIER, MÉNIER, l'usine de PERSAN-BEAUMONT (succursale de Silvertown) ; dans la section allemande, MM. SIEMENS et HALSKE.

Caoutchouc. — Le caoutchouc de l'Amazone a été envoyé en France par La Condamine, lors de sa mission au Pérou (1736), c'est le produit du *Siphonia élastica,* que l'on trouve surtout dans l'Amérique centrale et à Java ; le caoutchouc de Para, qui est le plus estimé, provient de l'*Hevea Guyanensis* et du *Castilloa elastica*. Ce dernier a été transplanté dans les Indes par le gouvernement anglais ; il y est cultivé sur une vaste échelle de préférence au *Ficus elastica,* qui est cependant une espèce indienne. Le commerce classe les caoutchoucs suivant leur provenance : d'abord les caoutchoucs de l'Amérique centrale et de l'Amérique méridionale, ceux d'Asie, qui renferment des impuretés, et ceux d'Afrique qui sont les moins estimés.

Le caoutchouc isole mieux que la gutta-percha et sa capacité inductive spécifique est notablement plus faible ; de plus, il ne devient pas plastique à une température modérée, en sorte que le conducteur ne risque pas de se décentrer dans les pays chauds, comme cela arrive avec la gutta-percha. Mais ce manque de plasticité devient un inconvénient pour la fabrication, et on ne peut pas recouvrir le conducteur d'un tube continu de caoutchouc en employant la presse à filière. Enfin le caoutchouc n'adhère pas sur le conducteur.

Tout d'abord, on enroulait un ruban de caoutchouc en spirale autour du fil, chaque tour recouvrant le précédent, et on assurait la jonction en mouillant avec de l'huile de naphte ; MM. Silver opérèrent ensuite la jonction en plongeant le fil recouvert dans l'eau bouillante pendant une demi-heure. M. Siemens utilisa la propriété qu'ont deux surfaces de caoutchouc d'adhérer ensemble, lorsqu'elles sont fraîchement coupées et pressées l'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contre l'autre. Deux rubans de caoutchouc sont disposés longitudinalement de chaque côté du fil. Les bords, coupés par un laminoir, sont rapprochés en passant entre deux cylindres et se soudent immédiatement. Quand on applique plusieurs couches concentriques, les soudures de chaque couche sont placées à angle droit par rapport à celles de la couche précédente. Dans des câbles construits par MM. Siemens, le cuivre était d'abord enduit de composition Chatterton pour obtenir l'adhérence du caoutchouc sur le conducteur et par-dessus le caoutchouc on plaçait encore de la Chatterton et une couche de gutta-percha pour protéger le caoutchouc qui est plus tendre que la gutta. Mais on constata que le caoutchouc devenait visqueux et qu'en se dilatant il tendait à crever l'enveloppe de gutta.

L'expérience a montré de plus que la proportion d'eau absorbée par le caoutchouc est plus grande que celle absorbée par la gutta-percha. Au bout de trois cents jours d'immersion, une plaque de caoutchouc absorbe de 10 à 25 pour 100 d'eau douce et 3 pour 100 d'eau salée et une plaque de gutta 1,5 pour 100 d'eau douce et 1 pour 100 d'eau salée. Les plaques de caoutchouc retirées de l'eau ont leur surface poisseuse, ce qui prouve que le caoutchouc est un peu soluble dans l'eau.

Comme la gutta-percha, le caoutchouc s'oxyde par l'exposition à l'air et à la lumière, surtout par les alternatives de sécheresse et d'humidité, et l'altération est plus grande dans le produit manufacturé que dans le produit brut.

Le caoutchouc vulcanisé a de nombreux avantages : il conserve sa souplesse à de basses températures, résiste beaucoup mieux à la chaleur, ne s'oxyde pas à l'air, est plus élastique et absorbe moins l'eau. On a donc été conduit à remplacer le caoutchouc pur par du caoutchouc vulcanisé, et, comme l'étain est moins attaqué que le cuivre par le soufre, on a recouvert le fil de cuivre d'une couche d'étain.

Le caoutchouc vulcanisé a perdu d'autre part la propriété de se souder à lui-même quand il est fraîchement coupé. Les fils isolés de M. Hooper, qui ont servi à la confection de la plupart des câbles de la *Great Northern Company*, sont constitués de la manière suivante : sur le conducteur en fil de cuivre étamé, on applique un ruban de caoutchouc pur en spirale, puis une couche de caoutchouc travaillé avec de l'oxyde de zinc (*séparateur*), enfin une couche de caoutchouc travaillé avec de la fleur de soufre. Le fil recouvert de sa triple enveloppe est cuit pendant quatre heures à une température de 120° C., la vulcanisation s'opère et consolide le tout. La couche intermédiaire, ou *séparateur*, a pour objet d'empêcher que le soufre arrive jusqu'au conducteur et de limiter la vulcanisation aux couches extérieures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D'après MM. Miller et Abel [1], le travail de mastication développe l'oxydation dans le caoutchouc comme dans la gutta-percha, sans doute parce qu'il augmente la porosité de la substance et la quantité d'air emprisonnée dans sa masse. La vulcanisation rend la matière plus compacte ; malheureusement son action est très irrégulière et, avec des traitements en apparence identiques, on obtient des produits qui se comportent d'une façon tout à fait différente avec le temps. Tandis que quelques-uns possèdent une grande permanence, d'autres s'altèrent soit dans leur composition chimique, soit dans leur constitution mécanique, soit dans les deux, quelquefois même sous l'eau et dans des conditions mal définies.

Le professeur Abel a examiné un grand nombre de fils et câbles en caoutchouc vulcanisé parmi ceux employés dans la télégraphie militaire ou dans le service des torpilles. Voici le résultat de ses observations sur des fils, les uns vulcanisés dans toute leur masse, les autres construits dans le système Hooper.

Quelques câbles militaires, en caoutchouc vulcanisé de part en part, étaient gravement détériorés au bout de dix-huit mois de service à l'air ; en certains points, le diélectrique était devenu poreux et se laissait traverser par l'humidité. Cette altération n'était pas continue, elle se montrait par places isolées. D'autres câbles, enroulés sur des bobines enveloppées de toiles et déposées dans un lieu sec et à l'abri de la lumière, avaient également souffert et présentaient des altérations très irrégulières. Sur des câbles de torpilles, à sept conducteurs et armés, on constatait, après dix-huit mois d'immersion, que certains des conducteurs avaient un isolement bien inférieur à celui des autres conducteurs faisant cependant partie du même câble. La perte était encore due à des détériorations locales, semblables à celles des câbles militaires de la même provenance : ce qui prouve l'incertitude des résultats de la vulcanisation, quant à la permanence des qualités isolantes du diélectrique.

Des câbles militaires, construits dans le système Hooper, se sont parfaitement comportés pendant dix ans, et on ne remarquait aucun symptôme d'altération dans la couche de caoutchouc pur ; il en a été de même d'un certain nombre de câbles armés, pour torpilles, qu'on avait conservés *à l'air ;* la couche de caoutchouc pur ne donnait aucun signe d'altération, même aux bouts des câbles, où l'air a un libre accès. Mais des câbles semblables conservés dans *l'eau,* et quelques câbles militaires conservés *à sec* à côté des autres dont nous venons de parler, se sont comportés tout autrement.

1. Professeur Abel, discours à la Société des ingénieurs des télégraphes, déjà cité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sur les câbles *immergés*, on remarquait qu'aux bouts, c'est-à-dire dans les parties hors de l'eau, la couche intérieure de caoutchouc pur était devenue visqueuse et découlait des extrémités, montrant que l'altération était bien due à l'oxydation par l'air et non au contact du caoutchouc avec le cuivre. Cette altération était limitée aux quelques décimètres laissés hors de l'eau pour les essais électriques et s'arrêtait brusquement à l'endroit où le câble entrait dans l'eau.

On a remarqué la même exsudation d'un produit visqueux aux extrémités de câbles Hooper armés et conservés dans *l'air* : mais, de plus, les câbles étant enroulés sur des bobines, l'altération s'étendait sur une grande longueur. « Il est impossible que l'oxygène atmosphérique ait pu pénétrer si loin par les extrémités du câble ; car la nature visqueuse du produit semble encore devoir empêcher cette pénétration au delà d'une petite distance. Si donc l'altération du caoutchouc est le résultat d'une oxydation, il faut que l'oxygène ait accès dans l'intérieur du diélectrique *en traversant la substance* même du câble. Les recherches de Graham sur *l'absorption et la dialyse des gaz par les substances colloïdes* prouvent non seulement que cette pénétration est possible, mais qu'elle existe certainement. Graham a trouvé que le caoutchouc absorbe une proportion d'oxygène telle que ce gaz doit être deux fois plus soluble dans le caoutchouc que dans l'eau, à la température ordinaire. L'oxygène arrive donc par les pores de la couche externe de caoutchouc vulcanisé à la couche interne de caoutchouc pur et quand celle-ci a commencé à s'oxyder, l'absorption du gaz par la couche externe va en croissant par le fait de l'assimilation continuelle de l'oxygène par la couche interne, qui détermine une sorte d'aspiration et agit dans une certaine mesure comme le vide qu'employait Graham pour forcer l'air très riche en oxygène à filtrer à travers un tube épais de caoutchouc vulcanisé. Ainsi s'explique l'altération de la portion non vulcanisée du diélectrique dans un câble Hooper exposé à l'air ; et si un câble de ce genre reste exposé à l'air pendant un temps même assez court *avant* son immersion, le caoutchouc peut être déjà gravement altéré. Reste à expliquer pourquoi des câbles, dont le diélectrique a été préparé par les mêmes procédés et avec une uniformité aussi grande que possible et qui ont été conservés dans l'air côte à côte et exactement dans les mêmes conditions, se comportent si différemment : dans les uns, la portion non vulcanisée ne présentant pas la moindre trace d'altération, même aux extrémités, tandis que dans les autres, elle est transformée sur une longueur plus ou moins grande en produit visqueux.

« M. Hooper donne une explication qui, venant de la part d'un homme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aussi compétent dans la question, mérite considération. Elle s'écarte toutefois du principe qu'il pose comme la base de son procédé, savoir la protection *absolue* de la couche interne du diélectrique contre l'accès du soufre. Elle consiste à admettre que l'imprégnation de cette couche par une petite quantité de soufre, pendant la vulcanisation, est essentielle pour la préserver de tout changement, en sorte que l'altération, qui se manifeste quelquefois à l'intérieur du diélectrique, tiendrait, d'après lui, à un accident qui aurait empêché cette petite quantité de soufre de pénétrer jusque-là. J'ignore si cette explication a été vérifiée, mais c'est là jusqu'à un certain point un problème que la science chimique doit arriver à résoudre, comme celui des altérations capricieuses que l'on observe dans le caoutchouc vulcanisé de *part en part*.

« On doit constater que cette conversion du caoutchouc en un produit visqueux ne semble pas avoir pour effet d'affaiblir l'isolement des câbles dans lesquels elle s'est manifestée récemment ; mais il reste à vérifier expérimentalement si l'arrivée du soufre sur le conducteur, que M. Hooper a voulu surtout combattre, n'est pas favorisée, par la conversion du caoutchouc pur interposé, en un produit semi-fluide, qui peut aussi exercer à la longue une action dissolvante sur la couche extérieure vulcanisée et détruire ainsi l'isolement. Alors même que l'isolement ne tomberait pas au-dessous de la valeur exigée, la transformation en une matière semi-fluide de la substance solide qui entoure immédiatement le conducteur n'est-elle pas de nature à nuire à la constitution mécanique du câble ? »

L'industrie du caoutchouc est représentée à l'Exposition par les maisons citées à propos de l'industrie de la gutta-percha. La maison RATIER, en France, s'est particulièrement occupée des câbles en caoutchouc pour lumière électrique. Elle a fourni les câbles servant à l'éclairage de l'avenue de l'Opéra par le procédé Jabiochkoff, câbles qui fonctionnent depuis quatre ans sans qu'on ait constaté de dérangement. Le conducteur en cuivre étamé est recouvert d'abord d'une couche de caoutchouc pur, puis de trois autres espèces de gommes combinées en vue de la vulcanisation par le recuit. Dans la section des États-Unis, la maison HOOSAC TUNNEL TRI-NITROGLYCÉRINE WORKS expose des tiges de cuivre argentées par la galvanoplastie et recouvertes à froid de caoutchouc dissous dans du naphte. Le naphte s'évapore facilement et il reste du caoutchouc pur qui n'a pas subi l'effet de la chaleur.

Gutta-percha et caoutchouc. — Nous avons parlé des câbles Siemens, dans lesquels on place une couche extérieure de gutta-percha sur le fil déjà recouvert d'un ruban de caoutchouc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'INDIA-RUBBER, etc. (Silvertown Company), fabrique des câbles militaires présentant la disposition inverse : le fil de cuivre est d'abord recouvert de gutta-percha, puis de caoutchouc vulcanisé et enfin d'un ruban caoutchouqué. On espère ainsi éviter l'altération de la gutta par l'air.

Huile de caoutchouc. — En distillant le caoutchouc vers 315° C., il passe un liquide extrêmement volatil, qui se décompose rapidement à l'air, et qui est un excellent dissolvant du caoutchouc et d'autres résines ; on l'emploie mélangé avec de l'alcool. Le résidu resté dans la cornue, dissous dans l'huile, forme un vernis très élastique. MM. SIEMENS et HALSKE (section allemande) emploient *l'huile de caoutchouc* dans la fabrication des câbles téléphoniques, câbles militaires et câbles pour lumière, de préférence à la paraffine. Le fil de cuivre est entouré de coton, préalablement desséché dans le vide à haute température, puis imprégné d'huile de caoutchouc, et recouvert ensuite d'un tube en plomb ou d'une tresse.

Autres Isolants. — La consommation toujours croissante de la gutta-percha et du caoutchouc a naturellement conduit à la recherche d'autres isolants plus économiques ou plus résistants aux diverses causes de destruction (oxydation, variations de température, attaques des insectes). Quelques-uns de ces isolants commencent à être employés sur une certaine échelle ; d'autres n'ont pas encore été soumis à des essais suivis, comme le produit de la distillation à feu nu de l'écorce de bouleau, que M. MOURLOT (France) expose sous le nom de *gutta-percha française* et qu'il propose d'appliquer soit seul, soit combiné avec le caoutchouc ou la gutta-percha ordinaire. Citons encore des mélanges de cire, résine, paraffine, suif, goudron ou poix de Stockholm, indiqués comme propres les uns à la construction de câbles, les autres à enduire des guipages ; enfin l'emploi de matières vitreuses, en étirant le fil ou la masse vitreuse, ou en passant le fil à travers une solution vitreuse.

Paraffine et Ozokérite, Nigrite. — La paraffine est une des substances les plus stables que l'on connaisse ; c'est un des produits de la distillation de certaines espèces de houilles et de bitumes ; elle se trouve encore dans certaines variétés d'huiles minérales ou de pétrole. On la rencontre à l'état natif et elle prend alors les noms de *cire fossile*, *ozokérite*, etc. Elle a un pouvoir isolant élevé, et a reçu plusieurs applications dans la télégraphie, notamment pour isoler les conducteurs aux points de jonction, pour pro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

téger du contact de l'air les fils recouverts de gutta-percha ou de caoutchouc servant aux communications des appareils électriques (on place les fils dans le socle, et on y coule la paraffine qui, en se refroidissant, les emprisonne dans un bloc solide), pour faire le papier dit *paraffiné*, employé comme diélectrique dans les condensateurs et les paratonnerres à plaques.

On fabrique des fils isolés destinés à la téléphonie, à la télégraphie militaire ou à la lumière électrique, en entourant le conducteur de coton bien épuré et desséché, que l'on enduit de paraffine; le tout est enfermé dans un tube en plomb, ou simplement recouvert d'une tresse. MM. FELTEN et GUILLEAUME (section allemande) exposent des fils de ce genre.

En alliant à la paraffine le caoutchouc ou la gutta-percha, on obtient des préparations pouvant servir d'enduits hydrofuges et même de matières isolantes[1]. Cette incorporation des gommes dans la paraffine peut s'obtenir par la mastication. Le Dr Matthiessen a étudié la paraffine native ou ozokérite, et en particulier le résidu noir, ou *cire noire*, fourni par la distillation partielle de l'ozokérite. En chauffant cette cire noire avec la gutta-percha et le caoutchouc, il a obtenu des compositions très isolantes et d'une dureté convenable, mais qui deviennent vite cassantes. Enfin, en 1875, MM. Field et Talling ont réussi, en mastiquant ensemble la cire noire et le caoutchouc, et opérant à la plus basse des températures nécessaires pour les amener à l'état plastique, à obtenir une substance très propre aux usages télégraphiques. D'après le professeur Abel, « les compositions de caoutchouc avec une très grande proportion d'ozokérite (jusqu'à 90 pour 100) ainsi obtenues possèdent à un degré remarquable les propriétés du caoutchouc, quoique plus molles et plus plastiques. Elles ne deviennent pas cassantes par l'action prolongée du froid et semblent s'améliorer avec le temps sous le rapport de la flexibilité et de la dureté. Les essais électriques montrent que, comme isolement et capacité inductive, elles supportent la comparaison avec le caoutchouc et la gutta-percha, et on en tirera parti dans la télégraphie, surtout parce qu'il est très probable que le caoutchouc sera efficacement protégé contre l'altération par son incorporation intime avec la paraffine, qui est une substance éminemment stable ».

MM. L. CLARK, MUIRHEAD AND COMPANY (section anglaise) exposent sous le nom de *nigrite* une composition de caoutchouc et de cire noire, obtenue à basse température, d'après le procédé Field et Talling. Ils pré-

1. Professeur Abel, discours cité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sentent quelques spécimens de fils recouverts de cette substance, en particulier un double fil téléphonique fabriqué d'une seule pièce et consistant en un ruban plat présentant sur chaque bord un renflement au centre duquel est logé le conducteur. D'après les exposants, le prix des fils en nigrite serait moitié moindre des fils similaires en gutta-percha, leur isolement beaucoup plus grand et leur capacité inductive notablement inférieure. La matière serait mécaniquement supérieure à la gutta-percha et moins influencée que le caoutchouc lui-même par la chaleur. Ces résultats seraient corroborés par une expérience de cinq ans sur des câbles aériens et des câbles de torpilles.

On a récemment fabriqué des âmes de câbles sous-marins avec un diélectrique désigné sous le nom de *Henleys patent ozokerited India-Rubber*. La spécification de ces âmes est la suivante : « Le conducteur est un toron de sept fils de cuivre, pesant 107 livres (48^{kg},5) par mille marin avant l'étamage. Le diélectrique, pesant 140 livres (63^{kg},5) par mille marin, est composé de 21 livres de caoutchouc pur, 35 livres de composition grise ou séparatrice, 57 livres de composition noire et 27 livres d'ozokérite. L'âme est recouverte d'une couche de feutre enroulé et passé ensuite à l'ozokérite. Après vingt-quatre heures d'immersion dans l'eau à 24° C., l'isolement ne doit pas être inférieur à 5,000 megohms par mille marin après cinq minutes d'électrisation. »

Produits de l'oxydation des huiles, Kérite. — On sait que les huiles siccatives ou rendues telles en les faisant bouillir avec un oxyde métallique, la litharge en général, déposent en se desséchant une couche de vernis. En rendant l'huile épaisse par une ébullition prolongée, on obtient une gomme artificielle utilisée dans la construction de certains instruments de chirurgie.

Les huiles siccatives, en particulier les huiles de lin, de noix, de graine de coton, exposées à une haute température, laissent un résidu qui, par l'ébullition avec de l'eau additionnée d'acide azotique, fournit un produit très élastique, que l'on désigne quelquefois sous le nom de *caoutchouc des huiles*. On peut l'employer à enduire des guipages de coton, et l'appliquer même directement sur le fil conducteur, soit nu, soit recouvert au préalable d'une couche de caoutchouc.

La *kérite* que présentent MM. Hutchinson et Compagnie (section française) paraît être un mélange du produit de l'oxydation des huiles avec du caoutchouc vulcanisé et un certain nombre d'autres matières telle que cire ou ozokérite, silice, etc. La présence du soufre nécessite l'emploi de conduc-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

teurs étamés. Cette substance est donnée par l'inventeur, M. Day, de New-York, comme jouissant des propriétés suivantes : « Elle peut supporter sans inconvénient une température longtemps maintenue de 95° C., n'est affectée ni par une exposition indéfinie dans l'atmosphère, ni par les variations de climat si marquées aux États-Unis ; les acides n'agissent sur elle que très lentement et ne l'oxydent qu'à la surface ; elle résiste à l'action du soleil et, en Égypte, a supporté sans altération pendant tout un été, dans le désert, une température de 56° C. Aux États-Unis, après avoir été enterrée pendant douze ans, elle n'a présenté aucune espèce d'altération et M. Prescott constate en 1874 que des fils enduits de kérite, et sans protection d'aucune espèce, fonctionnent depuis 1869 dans le tunnel sous-fluvial de Chicago où ils sont soumis à une épreuve très rude ; car, dans une partie du tunnel, de l'eau saturée de chaux tombe constamment goutte à goutte sur le fil, tandis que sur d'autres points, le fil est alternativement humide et sec. Dans l'eau, la kérite se conserve parfaitement, et elle n'est pas attaquée par les tarets et autres animalcules. Enfin, le professeur Sillimann constate qu'elle résiste à l'action dissolvante et destructive des agents chimiques les plus puissants, y compris l'ozone, et qu'elle conserve toujours les propriétés physiques qu'on exige d'une matière isolante : inaltérabilité aux températures extrêmes, flexibilité unie à la fermeté. »

Des essais électriques faits en France sur quelques échantillons ont donné les résultats suivants : la capacité électro-statique de la kérite était de 1,25 à 1,70 ; celle de la gutta-percha et son isolement environ la moitié de celui de la gutta, aux températures comprises entre 20 et 33° C. A 50° C., l'isolement d'un câble en kérite n'était que le $\frac{1}{3}$ de celui d'un câble similaire en gutta. Mais, malgré cette diminution bien plus grande dans l'isolement, la kérite n'avait pas augmenté de volume comme la gutta, et n'était pas devenue pâteuse, en sorte qu'elle peut en réalité être employée dans des conditions de température élevée où l'usage de la gutta serait impossible. L'action des acides, des bases et des principaux sels est à peu près le même sur les deux substances ; les huiles de houille, l'huile de térébenthine et le gaz d'éclairage paraissent agir un peu plus sur la kérite, qui, d'autre part, semble mieux résister à l'action de l'air. Enfin, au point de vue mécanique, les fils recouverts en kérite offrent plus de résistance à l'écrasement et plus d'élasticité que ceux en gutta. La kérite semble donc pouvoir être utilement employée dans la fabrication des câbles militaires, câbles aériens, etc.

Câbles Berthoud, Borel et Compagnie. — En 1879, MM. Berthoud,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Borel et Compagnie ont fabriqué à Cortaillod (Suisse) des câbles dont le diélectrique était une matière sulfureuse ou résineuse et le conducteur un fil de plomb ; un tube de plomb formait l'enveloppe protectrice. On prenait un tube de plomb, au centre duquel on plaçait une tige du même métal : l'intervalle était rempli par du soufre ou de la résine liquide ; on passait ensuite le tout à la filière, et, dans cette opération, le rapport des épaisseurs des diverses parties n'est pas altéré. Les essais ont donné de bons résultats sous le rapport de la capacité électro-statique et de l'isolement, mais naturellement le conducteur offrait une grande résistance électrique.

Actuellement, le cuivre est substitué au fil de plomb : le toron de fils de cuivre est entouré de plusieurs couches de coton écru et préalablement plongé dans un bain de paraffine à 180° C., pour le débarrasser de l'humidité et de l'air qu'il peut contenir. La mise sous plomb se fait par un procédé nouveau. Le piston d'une presse puissante force un lingot de plomb à passer par un trou ayant le diamètre extérieur du câble, et une broche conique placée au centre ménage l'espace annulaire entre le toron et l'enveloppe de plomb, espace que l'on remplit de colophane additionnée d'un peu de camphre pour la rendre plus plastique. L'enveloppe isolante consiste donc en coton saturé de paraffine et en colophane avec addition de camphre.

Les expériences faites sur ces câbles donnent des isolements considérables, même à des températures assez élevées, et des capacités relativement faibles, mais croissant rapidement avec la température.

Ainsi, un câble à 1 conducteur formé de 7 brins de $0^{mm},5$ et 3 couches de coton aurait donné les résultats suivants, le câble étant plongé à chaque fois une demi-heure dans l'eau avant de prendre la déviation au bout de la première minute.

Température.	Résistance d'isolement par kilomètre au bout de 1 minute.	Capacité par kilomètre.
12°,8	15 700 megohms.	0,174 microfarad.
15°	11 600 —	0,180 —
18°	9 200 —	0,183 —
20°	8 700 —	0,177 —
24°	6 650 —	0,178 —
28°	6 250 —	0,178 —
32°	4 070 —	0,188 —
36°	3 000 —	0,199 —
40°	2 360 —	0,208 —
42°,5	2 170 —	0,208 —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Comme terme de comparaison, les câbles ordinaires des lignes souterraines doivent avoir un isolement minimum d'environ 500 megohms à 24° C. et une capacité électro-statique d'environ 0,20. Mais tandis que cette capacité varie peu avec la température, celle des câbles Berthoud augmente dans les mêmes circonstances.

D'autres échantillons ont donné des résultats assez différents aux températures élevées. Ainsi :

Température.	Isolement kilométrique.	Capacité kilométrique.
18°,5	14 300	0,150
27°	6 400	0,153
34°,5	650	0,204
42°	11,6	0,222
47°	5,4	0,340

Enfin le conducteur central d'un câble à 7 conducteurs a donné :

18°,4	6 700	0,118
23°,5	1 100	0,118
27°	147	0,118
34°,5	98	0,250

La SOCIÉTÉ ANONYME DES CABLES ÉLECTRIQUES (système Berthoud, Borel et Compagnie), qui possède aujourd'hui deux usines, l'une à Paris, l'autre à Cortaillod, expose la presse hydraulique servant à la fabrication de ses câbles, avec les chaudières et la pompe de compression. La Société présente en outre des échantillons de ses câbles sous-marins et principalement de câbles souterrains pour télégraphie, téléphonie, lumière, etc. Pour la téléphonie, elle propose d'employer comme fil de retour le tuyau de plomb, qui dans ce système est indispensable pour maintenir la résine autour du conducteur. Pour les câbles souterrains à poser en galerie, ce tuyau de plomb est cannelé, et enfermé dans un second tuyau plus épais que le premier, et séparé de lui par une couche de brai gras. Ce brai serait un préservatif contre l'humidité et de plus éloignerait les rongeurs qui détériorent quelquefois les enveloppes de plomb.

On n'a pas encore de données expérimentales sur la durée de ces câbles.

Câbles du système Brooks. — Le système de lignes souterraines de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. David Brooks, de Philadelphie, figure dans l'exposition de THE INDIA-RUBBER, GUTTA-PERCHA AND TELEGRAHS WORKS (Silvertown), section anglaise.

M. Brooks avait eu d'abord l'idée de placer les câbles souterrains dans l'eau, pour préserver la gutta-percha de l'oxydation; puis il songea à remplacer la gutta par une matière plus économique. Il essaya la résine, la poix, divers hydrocarbures, goudrons et asphaltes; des défauts ne tardèrent pas à se manifester dans ces fils placés sous terre. Il mit dans l'eau des fils enduits de cire de paraffine, l'humidité pénétra par les fissures de la paraffine. Il eut alors l'idée de remplir un tuyau avec une huile, maintenue sous pression, de telle sorte que si une fuite se déclarait, ce serait l'huile qui sortirait du tuyau et non pas l'eau qui y pénétrerait. Les premiers câbles de son système, employés par la Western-Union pour lignes téléphoniques, se composaient de fils de cuivre entourés de coton desséché ou de jute, pour les séparer les uns des autres, et enfermés dans des tuyaux en fer de 3 centimètres de diamètre intérieur, remplis d'huile de paraffine ou de pétrole épuré. Ces fils de cuivre étaient au nombre de 42 et même de 84 dans certains câbles teléphoniques : on aurait vérifié ainsi que l'influence mutuelle des fils d'un même câble est d'autant moindre que les fils sont plus fins et plus nombreux. De plus, le câble ayant un diamètre peu considérable peut être placé, sans nuire à l'aspect, le long des corniches des toits dans les villes.

L'isolement et la capacité électro-statique dépendent de la distance mutuelle des fils et de l'épaisseur du revêtement. Suivant M. Brooks, avec de l'huile de paraffine bien purifiée et surtout exempte d'acides et d'eau, on peut obtenir des isolements élevés, par exemple de 3 à 400 megohms par kilomètre à 38° C. Mais les tuyaux en fer les mieux alésés s'oxydent intérieurement, surtout s'il y a des acides dans l'huile; l'huile se charge alors de rouille et perd ses qualités isolantes, ce qui oblige à la changer. Il suffirait de faire une seule fois ce changement, quelque temps après le premier établissement de la ligne.

On a cherché à éviter cette oxydation du tuyau par un revêtement intérieur de silicate de soude ou d'un vernis à la gomme laque.

La capacité électro-statique serait assez faible, et l'électrification serait très lente.

Dans le système exposé, chaque conducteur est recouvert de jute pour éviter le contact, les conducteurs en nombre voulu sont câblés par bouts de 400 ou 500 mètres environ et tirés dans des conduits en fer que l'on remplit d'huile de pétrole, préalablement dépouillée des acides et de l'eau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'elle contient [1]. A côté du câble, se trouve un flacon contenant cette huile, qui porte la mention : *Oléonaphte*, ou huile minérale russe, chez Ragosine, (11, rue de la Tour-des-Dames, Paris). La conduite est composée de tubes de 4 mètres de longueur, taraudés à leurs extrémités et réunis bout à bout à l'aide de manchons portant des pas de vis légèrement coniques, dont le filet est rempli de gomme laque pour assurer l'étanchéité. Tous les 400 ou 500 mètres, on intercale des chambres de soudure, où s'effectuent les jonctions des fils : ces chambres sont remplies d'huile et hermétiquement fermées par des bouchons à vis.

L'huile de pétrole est soumise à l'ébullition dans une chaudière découverte et établie en plein air ; puis elle est introduite dans les tubes à l'aide d'un réservoir placé au point le plus élevé de la ligne : ce réservoir est toujours alimenté pour réparer les pertes causées par les fuites accidentelles. Le raccordement des conducteurs avec les appareils se fait par un fil recouvert de caoutchouc soudé à chaque conducteur : ces fils traversent une chambre remplie de paraffine solide, qui protège les soudures et empêche l'huile de s'échapper accidentellement.

Une ligne d'essai a été construite à Bruges en septembre 1879; elle avait une longueur de 375 mètres et comprenait 22 conducteurs, dont 4 destinés à des transmissions téléphoniques étaient cordés 2 à 2; les 18 autres, reliés bout à bout de manière à former un conducteur unique de 6,750 mètres, ont donné les résultats suivants, après dix minutes d'électrification :

Date des essais.		Température.	Résistance d'isolement par kilomètre.	Capacité électro-statique par kilomètre.
Octobre 1879 . .	4	16°,5	531 megohms.	0,014 microfarad.
Novembre 1879 .	7	11°,5	325 —	0,013 —
—	14	7°	857 —	0,012 —
—	23	2°	1 485 —	0,012 —
Janvier 1880. . .	3	7°,5	1 324 —	0,011 —
—	17	1°	1 323 —	0,012 —
—	23	3°	2 056 —	0,012 —
Février 1880. . .	13	6°	1 366 —	0,011 —
—	21	10°	784 —	0,012 —
Avril 1880	28	10°	904 —	0,013 —
Mai 1880.	14	24°	290 —	0,011 —
—	28	15° (pluie)	276 —	0,015 —
Juin 1880	19	23°	211 —	0,017 —
Juillet 1880 . . .	10	17° (pluie)	237 —	0,025 —

1. Pour chasser l'humidité, on plonge le câble dans un bain d'huile, au moment de l'installation et on chauffe à l'ébullition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Date des essais.	Température.	Résistance d'isolement par kilomètre.	Capacité électro-statique par kilomètre.
Juillet 1880. . . 30	20°	73 megohms.	0,018 microfarad.
Août 1880 27	24°	209 —	0,017 —
Septembre 1880. 13	19°	249 —	0,015 —

Après une minute d'électrification, le 20 septembre 1880, on obtint

	14° (pluie)	15 (?) —	0,014 —

L'huile de paraffine fut renouvelée le 24, et on eut les résultats ci-après, au bout d'une minute :

Octobre 1880. . . 1	15°	231 —	0,014 —
— 15	11°	341 —	0,0122 —

Les conducteurs essayés séparément le 15 janvier 1881, à 3° C., ont donné, après une minute, des résistances d'isolement comprises entre 208 et 266, et des capacités comprises entre 0,117 et 0,135.

En octobre 1879, une ligne d'essai de 500 mètres de long à 20 fils fut établie à Versailles. L'isolement kilométrique au bout d'une minute varia de 80 à 150 megohms et la capacité était en moyenne de 0,2 microfarad. En mars 1880, M. Brooks constata que l'isolement était de 135 megohms au bout d'une minute et de 250 au bout de cinq minutes d'électrification. En mai de la même année, après cinq minutes, l'isolement des divers fils fut trouvé compris entre 180 et 250, et la capacité varia entre 0,087 et 0,109, soit en moyenne un isolement de 223 et une capacité de 0,106 environ.

En 1881, le Post-Office anglais a fait construire, entre Waterloo et Clapham, une ligne divisée en deux sections: l'une de 4,000 mètres environ composée de 30 fils de cuivre de $1^{mm},25$, l'autre de 2,000 mètres comprenant 40 fils du même diamètre. Les tuyaux en fer ont partout 31 millimètres de diamètre intérieur, mais la couche de jute qui entoure les fils de la seconde section est plus petite que celle qui entoure les fils de la première. L'isolement de la section à 40 fils était de 4 à 5 megohms par kilomètre et sa capacité de 0,30 microfarad environ ; l'isolement de la section à 30 fils était de 5,5 megohms et la capacité de 0,20. Ces isolements sont faibles; mais cela tient à ce qu'on a employé de l'huile de pétrole de qualité très commune, sauf à la remplacer plus tard par de l'huile épurée, si on veut un isolement plus élevé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les exposants font remarquer d'ailleurs qu'un isolement très élevé n'est pas le criterium d'une ligne bonne et durable. On a vu que, pour la gutta-percha, par exemple, les matières de qualité inférieure et de peu de durée ont des isolements considérables ; si l'on prend deux fils isolés fabriqués à la même époque, et que l'un donne un isolement modéré se maintenant sous l'action prolongée d'une forte pile, et l'autre un isolement extrêmement élevé, on peut présumer que le diélectrique du second est de qualité inférieure et que ses chances de durée sont relativement petites. D'autre part, il est préférable au point de vue de la vitesse de transmission que l'isolement ne soit pas trop grand, à la condition qu'il soit suffisant pour laisser arriver une proportion convenable du courant émis et que la faiblesse de l'isolement tienne à la *nature* et non pas à un *défaut* de l'isolant [1].

Sur la première section, on a pu correspondre téléphoniquement par un seul des fils, sans être trop gêné par l'induction des autres fils.

Un téléphone placé dans le circuit de deux des fils de la ligne totale ne rendait aucun son, bien qu'on travaillât avec de forts courants par l'appareil automatique de Wheatstone sur un fil voisin. Les deux fils bouclés n'étaient pas tordus ensemble, mais pris au hasard. Ce résultat est dû sans doute en grande partie à ce que les positions relatives des divers circuits changent continuellement sur toute la longueur. On aurait vérifié ce fait, observé déjà en Amérique, que quand les divers fils sont desservis individuellement par un téléphone, l'induction mutuelle est d'autant moins gênante que les fils sont plus nombreux.

La première section du câble a fonctionné pendant plusieurs mois sans être protégée par des paratonnerres, et la foudre n'a amené aucune interruption, bien que plusieurs orages aient éclaté pendant ce temps. Suivant M. Brooks, si la foudre produisait une perte à la terre dans le câble, le défaut disparaîtrait par la simple circulation de l'huile ; car la matière carbonisée, qui produirait le défaut et qui est le résultat de la décharge électrique, se disperserait dans le mouvement de l'huile, mouvement facilité d'ailleurs par les variations continuelles de la température.

On n'a pas réussi à établir une table des variations de l'isolement avec la température : les coefficients changent avec la qualité de l'huile et celle du revêtement de jute. Les variations seraient d'autant plus grandes que l'huile est de meilleure qualité et le coefficient de variation pour l'huile et le jute combinés serait environ la moitié de celui pour l'huile seule.

1. Car si elle tenait à un défaut, la transmission serait troublée par les variations continuelles de la résistance du défaut.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fils recouverts et câbles divers. — Les fils recouverts de coton pour bobines d'induction, machines dynamo-électriques, etc., de la maison Bonis (France) possèdent un diamètre d'une uniformité remarquable, et permettant par conséquent un enroulement très régulier. Il en est de même de ses fils recouverts de soie. La même maison expose encore des câbles pour lumière, dont le conducteur, composé de 18 fils de cuivre de $1^{mm},2$, est révêtu d'une enveloppe de filin de chanvre et de deux rubans goudronnés enroulés en sens inverse; des câbles pour suspension de lampes électriques composés d'une corde centrale en chanvre entourée de torons de fils de cuivre; des lames de cuivre de 10 millimètres sur $0^{mm},5$ recouvertes d'un ruban et employées comme conducteurs de lumière dans les appartements; des câbles sous plomb pour sonneries électriques, etc., et des câbles téléphoniques sur lesquels nous reviendrons.

La vitrine de MM. Alamagny et Oriol (Saint-Chamond, France) contient des fils isolés pour télégraphie, téléphonie, sonneries, recouverts en tressage de soie, coton, laine, etc., et des câbles sous plomb de divers modèles.

M. Barbier (France) expose des fils isolés par le procédé de Barbier et Lartigue : ce sont des fils de cuivre recouverts d'un guipage formé de déchets de soie et enduit d'une composition isolante (dans laquelle entrent du collodion et du brai de Norvège), qui ne se ramollit pas par la chaleur. L'isolement de ces fils est assez faible dans l'eau, mais suffisant dans l'air.

Les fils et câbles de MM. Biloret et Mora, Breguet, Charlot, etc., n'offrent rien de particulier. Nous rappellerons pour mémoire les câbles sous enveloppe, sous plomb ou armés, avec diélectrique en gutta-percha ou caoutchouc, des maisons Ménier, Rattier, et de l'usine de Persan-Beaumont.

La fabrication des tuyaux de plomb pour enveloppes de câbles est représentée par MM. Laveissière, Létrange et Hubin. Ce dernier expose aussi des tuyaux en étain, qui résistent mieux au choc que ceux en plomb, mais qui sont d'un prix beaucoup plus élevé.

Dans le câble léger pour télégraphie militaire de M. Mangenot, le conducteur est formé d'un toron de deux fils de cuivre et d'un fil d'acier; il est entouré de fils de chanvre paraffinés, puis d'une gaine de carbonate de chaux en poudre, et enfin d'une enveloppe de coton enduit de brai liquide. Les joints s'opèrent en tordant les conducteurs et les introduisant dans un tube fait d'une gomme semblable à celle employée dans les instruments de chirurgie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Parmi les câbles militaires de la section anglaise, on remarque chez MM. SIEMENS FRÈRES un câble très flexible revêtu de deux couches en sens contraire de fils de chanvre appliqués sous forte tension, le tout enveloppé de bandes de cuivre très serrées enroulées en spirale, de manière que chaque tour recouvre une partie du tour précédent. Ce modèle, d'une grande flexibilité, avait été proposé en 1862 comme câble sous-marin et essayé entre Oran et Carthagène. Nous avons déjà parlé des câbles militaires de l'INDIA-RUBBER, qui expose également des câbles en caoutchouc pour torpilles et pour lumière.

Dans la section allemande, MM. SIEMENS et HALSKE ont des câbles pour lumière à gros conducteur de cuivre recouverts de coton sec imprégné d'huile de caoutchouc, puis entourés de plomb; des câbles militaires isolés par un enduit de collodion ou d'huile de caoutchouc, possédant une grande souplesse et sans tendance à former des coques, à cause de leur revêtement en guipage tricoté, lequel renferme le fil de cuivre de retour tressé dans l'enveloppe même; d'autres très résistants, tout en étant très flexibles, armés de fils d'acier ou de cordelettes de ces mêmes fils.

MM. FELTEN et GUILLEAUME présentent des câbles souterrains, fluviaux et sous-marins; des câbles pour torpilles, et des fils isolés pour lumière électrique et téléphonie.

Dans la section italienne, M. SERRAVALLE, de Messine, effectue automatiquement le revêtement en soie des fils destinés aux électro-aimants: le mouvement est donné par un moteur électrique. Lorsque le fil de soie se casse ou que la bobine est épuisée, le moteur s'arrête de lui-même et fait fonctionner une sonnerie-avertisseur.

Dans la section de l'Amérique du Nord se trouvent divers spécimens de conducteurs pour lumière employés par M. EDISON dans son système de canalisation de l'électricité. Deux tiges de cuivre, dont la section est un segment circulaire, sont noyées dans un isolant bon marché et enfermées dans un tube de fer revêtu de rubans goudronnés pour le préserver de l'oxydation. Les dimensions varient suivant que les conducteurs sont destinés aux grandes artères ou aux embranchements. M. Edison présente aussi un fil recouvert d'une enveloppe incombustible et inattaquable par les rongeurs.

M. PAROD (France) propose de son côté une canalisation de l'électricité consistant en un condensateur composé d'un tuyau métallique recouvert d'une enveloppe isolante de caoutchouc et d'une feuille d'étain formant l'autre armature. Chacune des armatures est en communication avec une des électrodes de la source électrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fils et câbles téléphoniques sans induction. — Le seul moyen complètement efficace d'annuler sur un circuit téléphonique les effets de l'induction d'un fil voisin est de constituer le circuit téléphonique de deux fils, l'un d'aller, l'autre de retour, situés à la même distance du courant inducteur, ce que l'on réalise sensiblement en cordant ensemble les deux fils. De là l'emploi de câbles téléphoniques renfermant un certain nombre de doubles fils tordus.

Pour appliquer cette disposition sur une ligne aérienne, M. Hughes a proposé de placer sur les poteaux les deux fils voisins destinés à un circuit téléphonique de telle sorte qu'ils soient alternativement l'un au-dessus de l'autre, puis l'un à côté de l'autre ou répétant successivement les quatre positions relatives $\left(\frac{A}{B}, AB, \frac{B}{A}, BA\right)$; de cette façon, la distance moyenne au fil inducteur reste la même. On retrouve la même idée dans les câbles téléphoniques de MM. Siemens et Halske. Un de ces câbles comprend sept conducteurs, pour quatre lignes téléphoniques sans induction, constituées l'une par le conducteur central, et les trois autres par un double conducteur; tous les cent mètres, la machine change elle-même l'ordre de ces derniers pour imiter la disposition dont nous venons de parler. On a signalé un artifice analogue dans les câbles téléphoniques de Brooks.

Dans l'induction mutuelle des fils, on distingue l'induction électrostatique due à ce que l'un des fils voisins forme par rapport à l'autre l'armature extérieure d'une bouteille de Leyde, et l'induction électro-dynamique ou électro-magnétique produite par le passage du courant dans le fil voisin. La première, qui est la plus grave, peut être éliminée en entourant chaque conducteur d'une enveloppe métallique (feuille d'étain, fil de fer, etc.) mise en communication avec la terre. On a pensé qu'on pourrait éliminer l'induction électro-dynamique, en faisant cette enveloppe métallique en *fer*, de façon à avoir un écran magnétique, mais il faudrait que cette enveloppe eût une épaisseur considérable pour que les lignes de force ne la traversent pas. Il est préférable que l'enveloppe métallique soit employée comme fil de retour et isolée comme le conducteur lui-même, et alors peu importe le métal qui la constitue : le tube de plomb qui protège chaque conducteur séparément dans les câbles Berthoud-Borel peut servir à cet usage ; l'induction est ainsi affaiblie, sans être tout à fait éliminée comme dans le cas de deux conducteurs cordés. Le câble téléphonique Gower, exposé par Mr Bonis, se compose d'un fil de cuivre de $0^{mm},8$, recouvert d'une couche de gutta-percha de 3 millimètres d'épaisseur et de deux rubans de coton goudronnés; par-dessus est enroulé en spirale un fil d'acier de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2mm,5 pouvant servir de fil de retour ou de fil de terre. La maison Hoosac Tunnel tri-nitroglycérine Works (États-Unis) présente, comme câble sans induction, un fil recouvert enfermé dans une feuille de fer galvanisé, courbée autour du fil.

Si l'on a deux conduites souterraines voisines, toutes les deux en tuyaux de fer, et contenant des câbles à plusieurs conducteurs, si l'une sert à la transmission de courants intenses comme ceux de la lumière électrique, les fils de l'autre sont traversés par des courants induits, ce qui tient à ce que l'induction électro-statique seule est éliminée par la communication du tuyau avec la terre. De là la nécessité d'éloigner les lignes télégraphiques souterraines des canalisations de lumière, à moins d'exiger que chaque conducteur de lumière soit individuellement entouré d'une enveloppe métallique isolée du conducteur et de la terre et constituant son propre fil de retour.

L'emploi d'un fil de retour a l'inconvénient de doubler la résistance de la ligne. Il est préférable, comme l'indique M. Hughes, de traiter chacun des fils du circuit comme une ligne indépendante ayant sa pile propre et sa terre propre. Le transmetteur est alors disposé de façon à envoyer un courant positif sur une des lignes et un courant négatif sur l'autre; si ces courants sont égaux, leurs effets s'équilibrent en ce qui concerne l'induction des fils voisins. L'électro-aimant récepteur est enroulé différentiellement, ou mieux composé de deux fils distincts enroulés ensemble : pour l'un l'entrée est reliée à la ligne et la sortie à la terre; pour l'autre, c'est l'inverse. Le courant induit par un fil voisin ayant la même direction dans les deux fils ne produira aucun effet sur l'électro-aimant, tandis que les courants transmis étant de sens contraires ajouteront leurs effets. Le double fil aura alors une résistance moitié de celle du fil simple et sera à l'abri de toute influence étrangère, courants de terre, induction latérale des fils voisins, etc. M. Brasseur (Belgique) a appliqué cette disposition à l'installation de fils téléphoniques.

On peut enfin compenser les effets de l'induction mutuelle par des arrangements de poste, sans avoir recours à un double fil. Signalons le procédé par compensation pour deux fils de M. Wilson, de Chicago (*Journal de la Société des ingénieurs télégraphiques*, 1880) et celui de M. Hughes applicable à un nombre quelconque de fils (même journal, 1879).

Comme câbles téléphoniques de poste, on emploie encore deux ressorts en fil de fer, superposés et concentriques, séparés par de la soie ou du coton (Mme Ve Bonis), formant un cordon unique (les deux fils se séparent seulement aux extrémités pour être attachés aux bornes de l'instrument); ou un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fil de cuivre entouré d'un cordonnet en fil à coudre ordinaire, recouvert d'un lamé d'or servant de fil de retour (Ve Bonis ; Latimer Clark, Muirhead and Co).

II

Matériel de ligne.

Les questions relatives à l'établissement des lignes ont été traitées devant le Congrès par une Commission spéciale : nous n'avons donc qu'à signaler les particularités qu'offre l'Exposition sous le rapport du matériel et de l'outillage.

Section I. — *Lignes aériennes.*

La construction des lignes aériennes dans les divers pays a fait l'objet d'un certain nombre d'articles dans le *Journal télégraphique international de Berne* (années 1870 et 1871); les traités de M. Blavier pour la France, Preece et Sivewright, Culley, pour l'Angleterre, Zetzche pour l'Allemagne, le *Guide* de l'administration italienne, etc., donnent en outre dans tous leurs détails les procédés en usage dans les principales administrations. Il suffit d'y renvoyer le lecteur pour ce qui concerne la plus grande partie du matériel et de l'outillage, dont les spécimens figurent à l'Exposition.

Les lignes aériennes sont formées de trois éléments essentiels : les fils, les isolateurs et les appuis.

Fils. — On a vu que le fil de fer galvanisé était aujourd'hui d'un usage à peu près général. Le raccordement des fils est une opération importante : il faut que le *joint* résiste à la traction et ne diminue pas la conductibilité électrique de la ligne. En *France,* on emploie surtout le manchon en fer galvanisé, dans lequel on engage les fils et que l'on remplit de soudure pour former un bloc solide. Le Post-Office anglais montre les joints employés par Cooke et Wheatstone (1842), puis par Reid (1844) et enfin le joint de Edwin Clark (1852), dit *Britannia,* d'un usage général sur les lignes de la Grande-Bretagne. M. Manni, de Dubino (Italie), expose des morceaux de fil de fer galvanisé soudés par un pro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cédé nouveau, sur lequel il ne donne aucun renseignement ; la soudure a résisté à une traction qui a déterminé la rupture du fil sur un autre point. Une curieuse photographie de fils aériens couverts de glace entre Saint-Pétersbourg et Moscou, en février 1868, est exposée par l'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES RUSSES.

Isolateurs. — La vitrine de la maison DE FUISSEAUX (Belgique) contient, comme nous l'avons vu, une collection très complète des divers types d'isolateurs en porcelaine dans les divers pays. Le POST-OFFICE a réuni de son côté une collection historique des isolateurs employés en Angleterre aux différentes époques, depuis le tube en plume d'oie de Cooke, jusqu'aux isolateurs en porcelaine et en faïence dont il se sert aujourd'hui. Les ADMINISTRATIONS DE FRANCE, BELGIQUE, ALLEMAGNE, RUSSIE, MM. SIEMENS frères (Angleterre), SIEMENS et HALSKE (Allemagne), etc., exposent aussi les modèles usités dans leurs constructions.

L'isolateur à double cloche a l'inconvénient d'offrir des espaces annulaires étroits et obscurs, où les araignées vont faire leur toile, et qui rendent le nettoyage difficile. MM. L. CLARK, MUIRHEAD AND C°, l'ont modifié de la façon suivante : la cloche intérieure est réduite à un tube creux dépassant notablement les rebords de la cloche extérieure qui est assez large, et la console s'adapte en pénétrant dans le tube. On a ainsi un type intermédiaire entre la simple et la double cloche, et dont la cavité est bien éclairée et facile à nettoyer. L'encastrement de la tige de fer dans la porcelaine s'effectue à l'aide de chanvre enduit de paraffine. En France, M. LAGARDE emploie du plâtre gâché avec de la colle forte.

Il est quelquefois nécessaire de protéger les isolateurs contre les chocs extérieurs, accidentels ou volontaires. On les revêt alors d'une cloche ou chapeau, en fonte, tôle ou zinc ; on donne quelquefois le nom d'*isolateurs blindés* aux isolateurs ainsi protégés. M. LAGARDE (France) fait la cloche en fer malléable et galvanisé, qui se cabosse sans se casser par l'effet des chocs ; dans les isolateurs de ce genre de MM. L. CLARK, MUIRHEAD AND C°, le chapeau est muni d'ouvertures pour permettre à la pluie de laver la porcelaine. L'isolateur blindé de M. PARIS (France) se compose de deux parties ; l'une, terminée par un cylindre en tôle, est fixée au poteau ; l'autre, qui porte la cloche isolante en verre et le crochet de suspension du fil, s'engage à baïonnette dans la première et peut être démontée pour le nettoyage.

La manière d'arrêter le fil conducteur change avec la forme des isolateurs : quelquefois on se contente d'engager le fil dans une rainure courbe pratiquée dans la tête des isolateurs en porcelaine ou en ébonite. Le modèle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de ligne de l'Administration des Télégraphes danois est muni d'isolateurs en porcelaine de cette forme. Les isolateurs en ébonite que l'on emploie en France pour la télégraphie militaire offrent encore cette disposition.

L'isolateur Creighton de MM. Reid brothers (Angleterre) permet aussi de fixer le fil sans se servir de fil à ligature : c'est un isolateur conique dont le haut se dévisse. Divers autres modèles d'isolateurs sont présentés par M. Paterson.

Consoles et accessoires divers. — Les isolateurs sont portés par des consoles en fer galvanisé de forme variable, fixées au poteau à l'aide de vis également galvanisées. On trouve des spécimens variés de ces accessoires des lignes chez MM. Vauzelle et fils et la Société des Forges de Franche-Comté (France), Fléchet, Jowa, Cassart (Belgique), à l'exposition de l'Administration russe, etc.

MM. James et Samuel Spencer (the Rustless and general Iron C°) exposent des accessoires télégraphiques rendus inoxydables par le procédé Barff, consistant à préserver le fer de la rouille en le recouvrant de son propre oxyde magnétique ou oxyde noir : ce que l'on obtient en exposant à l'action de la vapeur d'eau surchauffée les objets en fer placés dans une étuve à haute température.

Poteaux en bois. — Les divers modes d'injection des poteaux ont été discutés et comparés dans la Commission des lignes télégraphiques nommée par le Congrès. Signalons simplement dans l'exposition du Ministère des Postes et des Télégraphes et dans celle de l'Administration belge des rondelles de bois provenant de poteaux préparés au sulfate de cuivre et en service depuis plus de vingt ans : bien que résultant de sections faites au ras du sol, elles sont dans un état de conservation remarquable. La Belgique y a joint quelques rondelles provenant de bois créosotés.

M. Cristian Mirandolle (Pays-Bas) a envoyé des poteaux en bois préparés partiellement à la créosote : la base seule est créosotée, le milieu est peint et le reste est en bois blanc. La Direction des Télégraphes de Norvège place sous les yeux du public un exemple curieux de poteau dont la cime a été perforée à coups de bec par un oiseau (le pic noir ou vert), auquel les vibrations du fil font croire à l'existence d'insectes ou de vers dans le bois. Les Administrations de France, Belgique, Suède, Russie, le Ministère de la guerre d'Autriche, la Compagnie des télégraphistes de campagne de Belgique, etc., enfin certaines maisons (Postel-Vinay,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SIEMENS ET HALSKE, etc.,) exposent leur outillage pour la construction et l'entretien des lignes aériennes ordinaires et militaires. Les crampons en fer de M. ENGSTROEM (Suède) pour grimper sur les poteaux ont chacun la forme d'une demi-ellipse, mais de courbure opposée; l'homme est soutenu à la hauteur voulue par un fil métallique passé autour de son corps et du poteau. Pour creuser rapidement les trous, la Belgique emploie une tarière Marchall modifiée; la Suède a également dans son matériel des tarières, des barres à mine avec dame à l'autre bout, etc.

Poteaux en fer. — L'Exposition renferme un assez grand nombre de modèles de poteaux en fer. M. Morris a publié dans les *Annales télégraphiques* (janvier-février 1875) une note sur l'emploi du fer dans les constructions télégraphiques en France, où l'on trouvera quelques utiles renseignements. Les poteaux de M. DE LA TAILLE sont en fer à T et ⊞, pour lignes à trente fils et pour lignes secondaires de un à huit fils (voir aussi les Annales de juillet-août 1875). Ceux de M. PAPIN sont formés de quatre fers cornières, chacun enchâssé dans une gaine en fonte dépassant le sol; ils présentent la forme d'une pyramide carrée à jour. La SOCIÉTÉ DES FORGES DE FRANCHE-COMTÉ construit des poteaux entièrement en fer zorés et d'autres destinés à former la base d'appuis mixtes terminés par des poteaux en bois. M. LICHTENFELDER se sert d'une tôle enroulée en forme tronconique et renforcée, s'il y a lieu, par un fer à l'intérieur, dont la nervure dépasse de façon à y placer des barreaux formant échelle. Le poteau peut être mis directement en terre ou encastré dans un socle en fonte si le terrain est humide. M. BOILEAU propose un poteau télégraphique composé d'une tige centrale en fer appuyée dans tous les sens par des assises en fonte à jour, qui sont superposées et donnent à l'ensemble la forme d'un obélisque : il n'indique pas comment les isolateurs seront fixés.

Dans la section belge, MM. FLÉCHET ET JOWA exposent aussi des poteaux métalliques : le poteau de JOWA est composé de tubes en fer étiré galvanisé, avec une colonne cylindrique en fonte pour la base; il est démontable et léger.

Le pourtour de la section anglaise est planté de poteaux tubulaires coniques en fer, très légers, de MM. L. CLARK, MUIRHEAD ET C°. La partie en terre est en fonte à nervures; dans la partie qui vient ensuite, le fer est renforcé par un doublage *intérieur* en feuille d'acier, en sorte que la surface extérieure du poteau est unie. Les isolateurs sont fixés à l'extrémité de deux bras reliés par un anneau central, qui s'engage dans le poteau et est maintenu par la forme conique de celui-ci.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les poteaux tubulaires démontables en fer et fonte de MM. SIEMENS FRÈRES étaient d'abord munis à leur base de plaques en tôle destinées à assurer leur stabilité. Dans le nouveau modèle, le travail de la plantation est facilité par la disposition donnée à l'embase en fonte. C'est un tube à fond plat terminé par une pointe massive; dans l'intérieur, on place un mouton cylindrique, que l'on soulève et fait retomber sur le fond : il ne faudrait pas plus de huit minutes à deux hommes pour faire la plantation. Les isolateurs sont à chapeau métallique et munis d'excentriques pour tendre les fils.

SECTION II. — *Lignes souterraines.*

Historique. — Les premières lignes souterraines remontent à l'origine même de la télégraphie électrique. Lesage, savant d'origine française, établi à Genève, écrivait en 1782 : « On peut concevoir un tuyau souterrain de terre vernissée, dont la cavité soit séparée de toise en toise par des diaphragmes ou cloisons de terre vernissée, ou de verre, percés de vingt-quatre trous pour donner passage à autant de fils d'archal que ces diaphragnes doivent soutenir et maintenir séparés. » En 1808, Sömmering, à Saint-Pétersbourg, construisit une ligne souterraine à deux fils, de 1,600 mètres de longueur, pour ses expériences sur l'inflammation de la poudre. La ligne télégraphique que Ronalds plaça en 1816 dans son jardin de Hammersmith, sur la Tamise, pour expérimenter son télégraphe électro-statique à cadran [1], fondé sur le synchronisme, était composée de fils de cuivre isolés dans des tubes en verre, enfermés eux-mêmes dans une enveloppe de bois goudronné. Le POST-OFFICE expose un spécimen de cette ligne en même temps qu'un spécimen de la ligne souterraine établie en 1837 par Cooke et Wheatstone, entre Easton et Camden. Celle-ci consistait en fils de cuivre recouverts de coton et de poix : des rainures étaient creusées dans de longues pièces de bois à section triangulaire; quand les fils y étaient placés, elles étaient fermées par des lattes clouées. Cette ligne, retrouvée en construisant une ligne de chemin de fer, est connue en Angleterre sous le nom de *télégraphe fossile.* LE DÉPARTEMENT DES TÉLÉGRAPHES RUSSES expose de son côté des conducteurs souterrains établis par Jacobi à Saint-Pétersbourg :

1. Un des premiers essais de *Chappe* fut aussi fondé sur le synchronisme : un signal marquait le moment où les aiguilles de deux pendules synchrones passaient sur certains points du cadran. Le rapport de Lakanal (1793) constate que Chappe employa d'abord l'*électricité* dans ce but, et que la difficulté d'isoler le conducteur lui fit regarder son projet comme chimérique. Chappe avait donc trouvé le télégraphe, dit de Ronalds, avant le télégraphe aérien.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'un deux, enfermé dans des tubes en verre, a été posé en 1839 entre le Palais d'Hiver et l'édifice de l'État-Major ; un autre à enveloppe de caoutchouc a été posé en 1843 entre le Ministère des voies de communication et Zarskoe-Selo.

En 1846, le Dr WERNER SIEMENS eut l'idée de se servir de la gutta-percha ; les premiers essais faits en Angleterre et en Prusse, en roulant la gutta-percha autour des fils de cuivre, ne furent pas satisfaisants, notamment à cause de l'imperfection des joints ; mais en 1847, MM. Siemens et Halske inventèrent leur machine à recouvrir les fils d'une façon continue avec la gutta rendue plastique par la chaleur, et le problème fut résolu. La Prusse se lança immédiatement dans la construction des lignes souterraines, mais le résultat ne fut pas heureux ; les fils, recouverts simplement de gutta, étaient enterrés entre deux couches de sable sans protection extérieure, et à une faible profondeur ; la gutta fut détruite par les rongeurs, détériorée par les coups de pioche ou endommagée dans le transport ; de plus la gomme était impure, renfermait beaucoup de bulles d'air et le conducteur était mal centré.

En 1853, les principales compagnies télégraphiques d'Angleterre suivirent l'exemple, et des lignes souterraines furent établies entre Londres, Manchester et Liverpool. On prenait des blocs carrés de bois créosoté de 2 à 5 mètres de long, dans lesquels on creusait une rainure suffisante pour recevoir dix fils recouverts de gutta, déposés parallèlement et formant un faisceau enveloppé de deux couches de chanvre goudronné ; le bloc était placé au fond d'une tranchée de $0^{m},60$ de profondeur ; on clouait une latte sur l'ouverture de la rainure et on comblait la tranchée. Par beau temps, la ligne fonctionnait bien ; mais à chaque pluie, les pertes se déclaraient. Les défauts tenaient aux détériorations subies par la gutta-percha pendant le revêtement de chanvre et que le goudron avait masquées, au nombre et à l'insuffisance des joints qui n'étaient pas essayés séparément, au ramollissement de la gutta par la chaleur du soleil ou des lampes des ouvriers pendant le travail de nuit ; les clous servant à fixer les lattes avaient pénétré dans les câbles, etc. Une autre compagnie faisait passer séparément chaque fil recouvert dans un bain de coltar chaud, de chaux et de sable, et le conducteur séché au soleil se décentrait.

On renonça aux lignes souterraines à grande distance, et on se borna à la construction de ces lignes dans les grandes villes où le nombre des conducteurs rendait cette mesure indispensable, et dans les galeries d'égout ou les tunnels. Tout d'abord dans les tranchées on se contenta de placer les fils recouverts dans des conduits en grès, bois ou fonte, munis de cou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vercles pouvant s'enlever ; le fermeture n'étant pas hermétique, la gutta s'altérait par l'air ou les émanations du gaz d'éclairage ; on entoura les fils d'enveloppes goudronnées, mais c'était du goudron de gaz et le résultat fut encore moins satisfaisant. En 1852, on essaya la protection par une enveloppe de plomb dans les tranchées et les galeries; les jonctions ne furent pas assez hermétiques pour empêcher les infiltrations de gaz et la fabrication était vicieuse.

En 1855, on construisit à Paris des lignes en fils de fer de 4 millimètres noyés dans du bitume : les fils étaient distants de 27 millimètres. Au bout de cinq ans, elles étaient encore en parfait état.

En 1856, on établit une ligne en bitume de 14 kilomètres de longueur comprenant 28 fils de fer de 3 millimètres, distants de 17 millimètres et disposés en 4 rangées parallèles. Il se déclara bientôt des pertes et des mélanges ; le bitume s'altérait aux points exposés aux fuites de gaz et dans les terrains calcaires.

On essaya ensuite de noyer dans du ciment des fils recouverts de gutta-percha ; mais, dans les lignes en ciment comme dans les lignes en bitume, la recherche des dérangements et leur réparation étaient difficiles.

Traversée des villes et des tunnels. — En France, les câbles souterrains sont de deux modèles correspondant, comme conductibilité, aux fils de fer de 5 et 4 millimètres. Le conducteur est un toron de 7 brins de cuivre recouvert de 2 couches de gutta-percha avec interposition de Chatterton. L'âme ainsi formée est recouverte d'un guipage de coton goudronné ; puis les âmes, au nombre de 7 en général, sont cordées ensemble et le câble est recouvert de 3 enveloppes composées de 2 rubans de coton séparés par une garniture de filin. Toutes les enveloppes sont d'abord trempées dans une dissolution de sulfate de cuivre ; elles sont ensuite goudronnées au goudron de bois pour les câbles destinés à être mis en tranchée ; elles ne sont pas goudronnées pour les câbles destinés aux tunnels ou galeries, qui sont introduits dans des tuyaux de plomb de $1^{mm},25$ d'épaisseur. Les câbles sont fabriqués par bouts de 400 mètres.

Dans l'un des modèles, le diamètre des brins du toron est de $0^{mm},7$, ce qui correspond à un poids de cuivre par kilomètre de 24 kilos. Dans le petit modèle, le diamètre des brins du toron de $0^{mm},5$.

Les câbles sous plomb sont installés dans les galeries sur des supports à crochets scellés dans les parois des voûtes et espacés de 1 mètre. Pour les lignes en tranchée, les câbles sont enfermés dans des tuyaux en fonte de 8 millimètres d'épaisseur, ayant la forme des conduites d'eau à emboî-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tement et d'une longueur utile de 3 mètres. Le diamètre intérieur des tuyaux est de 70, 81 ou 100 millimètres, suivant qu'ils doivent contenir 4, 5 ou 6 câbles. Les tuyaux, placés dans des tranchées de 1 mètre de profondeur, sont raccordés par des joints rendus étanches, en remplissant l'intervalle, entre le bout mâle et le renflement, de corde imprégnée de goudron et de plomb fondu : celui-ci est ensuite maté à froid et à refus. Tous les 50 mètres, on place des manchons en fonte de 1 mètre de long et de diamètre variable avec celui des tuyaux (110, 120 ou 140 millimètres suivant les cas) qui ne sont fixés définitivement qu'après l'introduction des câbles. Les manchons sont raccordés aux tuyaux par une bague tronconique en plomb matée à froid. Avant de combler la tranchée, on vérifie l'étanchéité de la conduite entre deux manchons en comprimant de l'air avec une pompe. Le tirage se fait par bouts de 400 mètres à l'aide d'une ficelle préalablement passée dans chaque tuyau avant son installation au fond de la tranchée ; cette ficelle permet de passer la corde qui introduit ensuite les câbles. Les raccords aux angles s'opèrent avec des coudes en fonte ou en plomb.

En Angleterre, les fils ne sont pas câblés; pour les introduire dans les tuyaux, on les dispose parallèlement en faisceau à l'aide de liens placés de distance en distance, que l'on coupe au moment où le faisceau entre dans la conduite. On aurait remarqué en effet que le ruban qui entoure le câble se pourrit ou se détériore, et que si on veut alors retirer le câble, l'enveloppe se rebrousse et engorge le tuyau. Les manchons sont remplacés par des regards ou *chambres de raccordement* où se font les soudures. On a vu que, dans les derniers modèles de câbles souterrains, la gutta formait une seule couche, et que le ruban qui enveloppe chaque fil était imprégné d'ozokérite au lieu de goudron.

L'Allemagne emploie des câbles armés de fils de fer. Dans les villes, ils sont placés dans des canaux en briques ou dans des tuyaux ; dans les tunnels, ils sont placés dans des gouttières en bois que l'on remplit avec de la laine provenant des scories des hauts fourneaux, ou *laine minérale*, pour protéger les câbles contre toute élévation de température.

La Belgique expose deux systèmes de lignes souterraines. Dans l'un, le câble armé en fer est placé dans une tranchée dont le fond est garni de sable : il est recouvert par une voûte formée de deux briques de champ recouvertes par une troisième, et qui n'a d'autre but que d'éveiller l'attention en cas de fouilles pratiquées dans le voisinage. Le câble est goudronné sur place, puis le conduit est rempli de sable. Dans l'autre système, on place les câbles dans des conduits en fonte fendus longitudinalement, qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

permettent l'introduction des câbles sans recourir au tirage. La fente est fermée au moyen d'un fer à T retenu par des clavettes, qui passent dans des trous pratiqués dans la saillie que la nervure fait hors du tuyau. On remplit de ciment l'intervalle des clavettes.

M. Brasseur (Belgique) propose de placer les câbles dans une gouttière rectangulaire en fer, recouverte d'une plaque au niveau du sol.

On a essayé en Hollande l'emploi de tuyaux d'asphalte, reliés par des manchons de la même matière, le raccordement s'effectuant à l'aide de bitume fondu. Dans l'intérieur sont les fils recouverts d'une double couche de gutta-percha. M. Holtzmann place au fond d'une tranchée des gouttières en bois créosoté, qu'il remplit de brai liquide (résidu de la distillation du goudron de houille). Quand le brai est suffisamment refroidi, on place les fils conducteurs recouverts de gutta-percha et on ferme les gouttières avec un couvercle. Il est difficile d'admettre que le brai liquide et la créosote n'altèrent pas la gutta.

Nous avons signalé l'emploi du câble Brooks en Amérique et les essais dont il est l'objet en Europe. Un autre système américain consiste à placer dans un tuyau en fer muni d'un couvercle un faisceau de tubes en verre noyés dans la paraffine. Les conducteurs sont des fils nus introduits dans les tubes. On a proposé encore de placer les fils entre deux couches de verre et de consolider le tout en chauffant et comprimant.

Dans la section française, M. Chappée expose les types de tuyaux de fonte en usage pour les lignes souterraines, et M. Paris, des tuyaux en fonte émaillés à l'intérieur, pour faciliter le glissement des câbles. Dans la section anglaise, la Rustless and general iron Company expose de son côté des tuyaux de fer inoxydables.

Lignes à grande distance. — Les désordres que les ouragans amènent dans les lignes aériennnes, les perturbations que ces lignes éprouvent par l'effet des changements de température, du givre, des pertes à la terre dans les temps humides, et enfin de l'électricité atmosphérique, ont fait sentir de nouveau la nécessité de compléter les réseaux aériens par des réseaux souterrains permettant d'assurer en tout temps les principales communications. On avait appréhendé les retards qu'éprouve la transmission sur les longues lignes souterraines ; mais ces retards existent aussi, bien qu'à un degré moindre, sur les longues lignes aériennes, où l'on est arrivé à les combattre efficacement soit à l'aide de moyens de décharge, soit en intercalant des relais qui ramènent les conditions de transmission sur chaque section à celles de la transmission sur les lignes de longueur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moyenne. Il est vraisemblable que l'emploi des mêmes moyens doit permettre également l'usage des appareils rapides sur les lignes souterraines.

L'Administration française a construit en 1868 une ligne souterraine à 28 fils entre Paris et Juvisy (30 kilomètres), servant d'amorce aux fils aériens des lignes de Lyon et d'Orléans. En 1872, une ligne de 21 fils a relié Paris à Versailles. Le matériel et le système de construction ont été identiques à ceux des lignes urbaines; toutefois on a donné dans le câble de Juvisy un écartement plus grand aux fils, en renforçant le guipage qui les entoure individuellement, afin de diminuer l'induction mutuelle.

En 1871, une ligne à 14 fils a été construite entre Liverpool et Manchester. L'âme des conducteurs renfermait environ 14,50 kilog. de cuivre et 16,50 de gutta-percha par kilomètre. Elle était enduite de vieux goudron de Stockholm, mélangé de poussière de liège (pour lui donner plus de consistance), puis recouverte de deux couches en sens inverse de ruban goudronné. Les fils étaient placés dans des tuyaux en fonte ou en poterie, suivant la nature du sol. Le terrain étant généralement bas et le climat pluvieux, l'eau pénétrait dans les tuyaux, qui restaient humides même pendant l'été.

En 1875, l'Allemagne est entrée franchement dans la voie des lignes souterraines à grande distance. Dans l'été de cette année, une commission technique procéda aux études préliminaires et conclut à l'emploi de conducteurs isolés par de la gutta-percha, protégés contre les accidents extérieurs par une armature en fer et simplement enfouis dans une tranchée le long des grandes routes. La fabrication du câble fut confiée à la maison FELTEN ET GUILLEAUME. Sa spécification était la suivante : 7 conducteurs isolés câblés ensemble; l'âme de chacun, composée d'un toron de 7 fils de cuivre $0^{mm},6$ (soit un poids de cuivre de 18 kilog. par kilomètre), recouvert d'un diélectrique formé de 2 couches de gutta-percha et 2 couches de Chatterton, le diamètre total de l'âme étant de 5 millimètres (soit un poids de diélectrique sensiblement égal à celui du cuivre); le faisceau des 7 conducteurs, revêtu de chanvre goudronné, ayant un diamètre de 17 millimètres; l'armature du câble constituée par 16 fils de fer galvanisés de 4 millimètres de diamètre, enroulés en hélice d'un pas de 23 à 26 centimètres et jointifs. Comme conditions électriques, le cuivre devait avoir une résistance kilométrique maxima de 10,5 unités Siemens, et le diélectrique une résistance kilométrique minima de 500 millions, à la température de 15° C. Le câble était livré par bouts de 850 mètres, et recouvert d'une couche d'asphalte (goudron de houille condensé sans créosote) au moment de sa pose dans la tranchée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La ligne de Berlin-Halle (170 kilomètres) commencée le 13 mars 1876 fut terminée le 28 juin suivant. La capacité électro-statique fut trouvée de 0,22 microforad par kilomètre. La construction de cette ligne a été décrite en détail dans le journal télégraphique international de Berne (février, mars et avril 1877). En juin 1881, le réseau souterrain de l'Allemagne a atteint un développement de 5,464 kilomètres de lignes composées d'un câble à 7 conducteurs pour la plupart, à 4 conducteurs sur quelques points. La maison FELTEN ET GUILLEAUME a armé et posé un peu plus de la moitié de ces câbles; la maison SIEMENS ET HALSKE a construit et posé le reste. Les deux maisons exposent les différents modèles de câbles employés : on remarque chez MM. FELTEN ET GUILLEAUME du câble fluvial recouvert d'une seconde armature en fils de fer de $8^{mm},5$, ainsi que des manchons en fonte galvanisés de $0^{m},33$ ou $0^{m},50$, reliés de façon à former un tube flexible, dans lequel on introduit le câble, quand il est exposé aux atteintes des bateaux. Lorsque le câble ne peut pas être enterré à une profondeur suffisante, on le protège contre les chocs ou les pressions en l'enveloppant d'un tube en fer, et contre l'élévation de la température en l'entourant de *laine minérale*.

D'après les ingénieurs du Reichs-Postamt, on correspond sur ces lignes avec les appareils Morse ou Hughes à des distances de 300 kilomètres, sans arrangement spécial. L'induction des fils ne gêne pas le travail; toutefois, on ajoute au Morse un relais polarisé (à électro-aimant Hughes) pour que l'employé ne soit pas gêné par le courant de retour. On a soin de n'employer que des appareils Hughes en très bon état. On a reconnu qu'il était très utile, au point de vue des perturbations atmosphériques, d'avoir pour les fils souterrains une *terre* tout à fait distincte de celle des fils aériens.

Pour des distances plus grandes, on intercale des translations tous les 250 ou 300 kilomètres.

Dans les dernières lignes construites, on a augmenté le poids de cuivre et de gutta-percha; le conducteur est un toron de 7 brins de $0^{mm},7$ et le diélectrique comprend toujours 2 couches de gutta et autant de Chatterton ; l'âme atteint ainsi un diamètre de 6 millimètres (soit un poids par kilomètre de 24 kilogrammes pour le cuivre et 26 environ pour la gutta-percha). A 15° C., la résistance du cuivre ne doit pas dépasser 7 unités Siemens et celle du diélectrique ne doit pas être inférieure à 500 millions ; la capacité électro-statique doit être moindre que 0,20 de microfarad. Les sept conducteurs sont entourés de jute imprégné de goudron de bois jusqu'au diamètre de 23 millimètres, puis d'une armature de 20 fils de fer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

galvanisés de 3mm,75 avec un pas d'hélice de 32 à 35 centimètres. Par-dessus, une première couche asphaltique, puis une enveloppe de jute goudronné et une seconde couche asphaltique ; cet enduit ne doit pas être cassant à 0° C., ni couler à 25° C. Le câble est ensuite badigeonné d'eau de chaux.

Avec le nouveau modèle de conducteur, on correspondrait directement par l'appareil Hughes à 400 kilomètres de distance.

En 1879, l'établissement d'un grand réseau souterrain fut également décidé en France. On s'est arrêté à l'idée d'étendre aux lignes à grande distance le système des canalisations en fonte en usage dans les lignes urbaines. On a adopté comme type un câble à trois conducteurs, dont la spécification est en rapport avec la longueur des lignes à desservir. Les câbles armés ne sont employés que pour les lignes de trois conducteurs et au-dessous.

Le MINISTÈRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES expose le matériel et l'outillage de la construction de ces lignes.

Des spécimens des câbles figurent dans les vitrines des maisons MÉNIER et RATTIER et les divers modèles de tuyaux et pièces en fonte, ainsi que des joints employés dans la canalisation figurent dans la collection de M. CHAPPÉE.

L'emploi du plomb fondu n'étant pas pratique quand il s'agit d'établir rapidement une canalisation de grande longueur, on a renoncé au joint à corde et à plomb fondu des lignes urbaines. On a étudié divers autres joints : *le joint à bagues* de plomb maté à froid, — *le joint à bagues croisées*, — le joint à bague de caoutchouc et à brides, dit *joint Lavril*, — *le joint mixte* à bagues de caoutchouc et de plomb.

On voit encore chez M. CHAPPÉE *le joint à rotule* de M. Boutmy, et, dans l'outillage de M. TAVERDON pour l'exploitation des mines et carrières, un *joint à garnitures* mobile et flexible, qui paraît spécialement destiné à l'eau et à l'air ou aux gaz sous pression.

Enfin M. PAPIN expose des chambres ou regards en fonte pour lignes souterraines et tuyaux en câble armé.

Divers appareils ont été imaginés pour poser rapidement en terre les câbles armés. De ce nombre sont la charrue de M. BOURDIN (France) et celle de M. TRIBOUT, de Metz. Dans la première, un disque en forme de lentille aux bords tranchants coupe les racines et ouvre le sillon qu'élargit le soc de la charrue ; le câble enroulé sur une bobine passe dans un tube recourbé à l'arrière du soc et est déposé au fond du sillon ; un rouleau compresseur tasse ensuite les terres. Ce système aurait été essayé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en Russie où, avec un attelage de huit bœufs, M. Bourdin aurait obtenu des saignées de plus de 1 mètre de profondeur dans des terres marneuses cultivées en prairies. La charrue de M. Tribout est combinée pour des profondeurs de 0m,30 ; un premier couteau ou coupe-racines facilite le travail du second, un rabot placé à l'arrière recouvre la tranchée étroite faite par les deux couteaux et un râteau fait disparaître les traces.

On remarque dans le pavillon du MINISTÈRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES et chez M. MÉNIER quelques modèles de câble fluvial, parmi lesquels un spécimen du câble posé à l'embouchure de la Seine entre le Havre et la côte du Calvados. Ce câble à cinq conducteurs est revêtu d'une première armature de quatorze fils de fer galvanisés de 5 millimètres, puis d'une seconde, séparée de la première par une couche de jute et composée de onze torons, chaque toron étant formé de trois fils de fer de 5 millimètres. Ce câble jouit d'une grande flexibilité ; placé depuis plus de quatre ans dans des parages où le lit du fleuve change continuellement par suite des déplacements des bancs, il a résisté aux marées les plus violentes.

Pour la construction des lignes souterraines le long des voies ferrées, M. Jules HUNEBELLE (France) propose un rail composé de deux pièces, formant un conduit dans lequel on place le câble. M. PERRODY (Suisse) pose sa voie électrique souterraine sur des crochets fixés aux traverses des chemins de fer. Le conduit est formé de deux fers zorés, ou demi-circulaires, assemblés ; à l'intérieur, des plaques de porcelaine percées de trous maintiennent séparés les conducteurs qui sont des fils nus formant un faisceau que des anneaux de porcelaine isolent des parois. On a vu que l'idée de cette disposition de fils nus remonte à Lesage (1782).

SECTION III. — *Lignes sous-marines.*

C'est dans l'exposition rétrospective du KINGS' COLLEGE, de Londres, que l'on trouve le point de départ de la télégraphie sous-marine [1]. On y voit en effet deux dessins originaux de *Wheatstone*, exécutés en février 1840 dans le but de démontrer à un comité de la Chambre des com-

1. Comme antériorité, on cite les expériences de Sömmering, sur l'inflammation de la poudre, dont l'une, faite en 1815 à Paris, à travers la Seine, lui donna plus tard l'idée de relier Cronstadt à Saint-Pétersbourg par un câble sous-marin, pour correspondre à l'aide de son appareil à décomposition de l'eau. Les comptes rendus de la Société asiatique de septembre 1839 mentionnent les expériences du docteur O'Shaugnessy, qui posa en rivière un fil enduit de chanvre goudronné et de poix.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

munes la possibilité pratique d'une communication télégraphique sous-marine entre Douvres et Calais.

Ces deux dessins sont reproduits d'ailleurs, d'après la photographie, dans le *Journal of the Society of Telegraph Engineers* (1876, p. 90), accompagnés d'une lettre de M. ROBERT SABINE, gendre de Wheatstone, établissant que le célèbre professeur avait commencé ses études sur ce sujet en 1837.

Le premier montre la manière d'isoler et de fabriquer le câble, ainsi que le moyen de l'amener à bord du navire pour l'immersion (appareils pour revêtir le cuivre conducteur d'une corde isolante, pour recouvrir simultanément sept fils pareils, pour recouvrir l'ensemble des sept fils réunis en faisceau d'une enveloppe de corde, pour faire passer le câble dans plusieurs bains successifs de matière isolante et l'amener à bord). « Chaque fil, écrivait Wheatstone, doit former l'âme d'une corde bien saturée de goudron bouilli, et toutes ces cordes doivent être entourées ensemble d'une corde préparée de la même manière. » Le second dessin montre la route que doit suivre ce câble (plan et profil du détroit entre South-Foreland et le cap Gris-Nez), la manière de l'immerger (le câble est porté par une barque remorquée par un steamer, l'arrière de la barque est munie de bobines horizontales sur lesquelles le câble est lové, et d'une poulie d'immersion), de souder les bouts du câble (d'une bobine à l'autre), et enfin de rechercher les défauts (en soulevant le câble et faisant passer le navire dessous). Wheatstone fit en 1844, dans la baie de Swansea, une expérience préliminaire pour vérifier que son projet était pratique et télégraphia d'un bateau au phare. Il se disposait à recommencer sur une plus grande échelle lorsqu'il eut connaissance des propriétés de la gutta-percha (1845), mais il ne réussit pas à trouver un moyen de l'appliquer sur le conducteur. On a vu que le problème fut résolu de 1846 à 1848.

En 1847, le gouvernement français avait accordé à M. Jacob Brett une concession de dix ans pour l'établissement d'un télégraphe sous-marin entre la France et l'Angleterre ; on la laissa périmer, mais elle fut renouvelée le 10 août 1849 [1] et le 23 août 1850, la ligne fut immergée par M. Read suivant le tracé étudié par Wheatstone. Le câble était formé d'un simple fil de cuivre de $2^{mm},1$ de diamètre, recouvert d'une seule couche de gutta-percha, portant le diamètre de l'âme à $12^{mm},7$; on en voit des spécimens à

1. Vers la fin de 1847, M. West avait transmis des signaux entre une barque en mer et la terre, à l'aide d'un fil isolé en caoutchouc ; et en janvier 1849, M. Walker fit une expérience de même genre avec un fil recouvert de gutta-percha, dans le port de Douvres, en présence d'un nombreux public.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'exposition du POST-OFFICE et à celle de la SUBMARINE TELEGRAPH COMPANY. Le câble était construit par bouts de 100 mètres, que l'on reliait (en soudant le cuivre, appliquant la gutta plastique et pressant avec un moule en bois, ce qui donnait un joint de 50 millimètres de diamètre) et enroulait sur une bobine en fer, placée en travers sur le pont d'un remorqueur à vapeur et suffisante pour contenir la longueur totale de 25 milles. Tous les 100 mètres on stoppait pour attacher au câble, afin de l'empêcher de flotter, une masse de plomb pesant de 7 à 11 kilogrammes suivant la profondeur et la nature du fond.

Les atterrissements ou bouts de terre avaient été posés quelques jours à l'avance ; ils consistaient en un fil de cuivre de $1^{mm},65$, recouvert de coton imprégné d'une solution de caoutchouc et enveloppé d'un tube de plomb très épais.

Tout allait bien au moment de la jonction du câble principal avec le bout de terre français ; mais après la jonction, la communication se trouva interrompue et la concession fut annulée.

Le 23 octobre 1851, une nouvelle concession fut accordée à la Compagnie du télégraphe sous-marin de la Manche, dont faisaient partie John Watkins Brett, frère de Jacob Brett, et Sir James Carmichaël ; mais tels étaient les doutes conçus sur la réussite du projet que l'entreprise allait échouer faute de fonds et d'entrepreneurs, sans l'énergique intervention de M. CRAMPTON qui n'hésita pas, sept semaines avant l'expiration du délai fixé par l'acte de concession, à se charger de l'exécution matérielle et à avancer la moitié du capital. Dans ces sept semaines le type du câble fut arrêté ; les machines nécessaires pour sa fabrication furent inventées, dessinées, construites et montées ; le câble lui-même fut fabriqué et, le 25 septembre 1851, il était posé au fond de la Manche, malgré l'imperfection des moyens d'immersion qui consistaient en un ponton, porteur du câble, remorqué par des vapeurs.

« Ainsi, probablement, c'est à l'activité et au talent de M. Crampton, ainsi qu'à la courageuse fermeté avec laquelle il persévéra dans sa conviction de la praticabilité d'un projet qui était presque universellement condamné par les plus hautes autorités comme chimérique, que le public doit la possession actuelle d'un télégraphe sous-marin. Les événements qui ont suivi le prouvent encore. Quand on vit que le câble de Calais était posé et qu'il se maintenait de jour en jour dans de bonnes conditions de service, les télégraphes sous-marins commencèrent à être considérés comme un fait acquis et des marchés furent passés pour la construction et la pose d'autres lignes. Cependant, l'année d'après, trois tentatives infructueuses furent faites pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

relier l'Angleterre et l'Irlande. Alors on se prit à attribuer le succès de la ligne de Calais à une heureuse chance qui ne devait probablement pas se répéter et MM. Newall, entrepreneurs du câble d'Ostende, proposèrent un fort dédit pour être dégagés de l'obligation de le poser ; mais M. Crampton offrit de s'en charger et l'opération fut ensuite exécutée par les entrepreneurs avec un plein succès [1]. » Que serait-il advenu si les trois échecs que l'on vient de signaler avaient précédé l'établissement de la ligne de Calais, qui démontra la possibilité d'une pareille entreprise ?

Le câble de Douvres à Calais (24 milles marins) se compose de quatre conducteurs ; chaque conducteur est formé d'un fil de cuivre de $1^{mm},65$ recouvert de deux couches de gutta-percha donnant à l'âme un diamètre de $6^{mm},35$; des fils de chanvre goudronnés remplissent les interstices des conducteurs câblés ; par-dessus, une fourrure de bitord goudronné et une armature de dix fils galvanisés de 7 millimètres. « La corde métallique adoptée pour ce premier câble caractérise tous les câbles posés jusqu'à ce jour et le câble de M. Crampton est resté le type des câbles sous-marins [2] ». Ajoutons que M. Crampton a exprimé dès 1850 l'opinion que les câbles de grand fond devaient offrir une résistance à la traction de sept à huit tonnes, ce qui est encore généralement admis même pour les câbles transatlantiques.

Le câble posé en septembre 1851 entre Douvres et Calais continue à fonctionner [3] ; un morceau de ce câble figure au nombre des spécimens des câbles immergés entre l'Angleterre et la France qu'expose la SUBMARINE TELEGRAPH COMPANY. Certains de ces fragments ont été retirés de la mer ; les uns sont couverts d'une croûte calcaire et incrustés de coquilles ; d'autres font voir l'état d'un câble brisé par une ancre de navire, ou la détérioration des armatures par l'oxydation.

On suit l'histoire de la télégraphie sous-marine, en examinant les échantillons des anciens câbles posés de 1851 à 1858 par M. NEWALL, et la belle collection de la TELEGRAPH CONSTRUCTION AND MAINTENANCE COMPANY, qui s'étend de 1854 jusqu'à nos jours. Le total des câbles posés ou livrés par cette Compagnie à la fin de 1880 s'élève à 64,000 milles marins environ sur les cent mille milles qui représentent à peu près la totalité des câbles existant dans le monde entier.

Les noms de MM. Glass, Elliott, comme ceux de MM. Brett et Newall, sont

1. Window, *mémoire sur les télégraphes sous-marins,* lu le 13 janvier 1857, à l'Institut des ingénieurs civils de Londres.

2. M. Preece, Société des ingénieurs télégraphiques, 8 mars 1876.

3. Il a été bien souvent réparé, mais n'a jamais été intégralement remplacé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

liés aux origines de la télégraphie sous-marine. Le premier câble de mer profonde fut fabriqué par MM. Glass, Elliott et C° et immergé avec succès par M. Brett entre la Spezzia et la Corse, par des fonds atteignant 900 mètres; c'était un câble à six conducteurs armé de douze fils de fer de 8 millimètres; mais M. Brett échoua l'année suivante dans sa tentative de relier la Sardaigne à l'Algérie (Bone), tant à cause de l'emploi d'un navire à voiles qu'à cause du poids du câble, trop lourd pour des profondeurs de 2,700 mètres. M. Newall fut plus heureux en 1857 avec un câble à quatre conducteurs armé de dix-huit fils de fer de 3 millimètres. Toutefois la communication ne fut jamais bonne que par deux fils et on a renoncé depuis cette époque aux câbles à plus d'un conducteur pour la mer profonde.

Les sondages faits entre l'Irlande et Terre-Neuve avaient fait découvrir l'existence d'un plateau sous-marin d'une profondeur de 3,000 mètres environ, séparé des deux continents par deux tranchées plus profondes, mais ne dépassant pas 4,500 mètres. Sur ce plateau, que le commandant Maury appela le *plateau télégraphique*, le fond consiste en une vase très fine, l'*oaze*, sur laquelle un câble peut reposer en toute sécurité. En 1856, M. Cyrus Field, Sir Charles Bright, MM. Brett et Whitehouse formèrent la compagnie du télégraphe Atlantique. L'âme du câble consistait en un toron de sept fils de cuivre pesant 18 kilogrammes par mille marin et revêtu de trois couches de gutta-percha pesant ensemble 120 kilogrammes par mille. Elle était entourée de fils de chanvre enduits d'une composition de goudron, poix et suif, et d'une armature de 18 torons composés chacun de sept fils de fer de $0^{mm},7$. Le câble était ensuite passé dans un bain chaud de goudron, poix et huile de lin. Son poids dans l'air était d'environ 1,200 kilogrammes par mille marin. Les maisons Newall et Glass-Elliott en fabriquèrent chacune 2,000 milles. Malheureusement les procédés de vérification électrique étaient insuffisants; pour rendre plus apparents les défauts de l'âme, on eut le tort de la soumettre, en l'enroulant sur des bobines, avant l'application de l'armature, à des tensions qui déterminèrent un allongement permanent du cuivre. En supprimant la tension, la gutta revenait sur elle-même, tandis que le cuivre gardait son allongement; il en résultait que le conducteur se décentrait et venait affleurer la surface extérieure du diélectrique. De plus, le câble ne fut pas gardé sous l'eau; le soleil ramollit la gutta sur divers points; enfin le cuivre employé était très impur. Le 7 août 1857, on commença l'immersion, le câble se brisa peu après le départ de Valentia. Le câble fut réparé et complété, et au printemps de 1858, après quelques expériences préliminaires de déroulement et de relèvement dans la baie de Biscaye, l'*Aga-*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

memnon et le *Niagara* se rendirent au milieu de l'Océan, entre Terre-Neuve et Valentia, d'où ils partirent le 17 juillet en immergeant chacun de leur côté. Le 5 août, la pose était terminée; mais les signaux ne tardèrent pas à devenir inintelligibles. On essaya de réparer le câble, mais les fils de fer très fins composant les torons de l'armature étaient tellement oxydés qu'on ne pouvait soulever le câble sans le casser. Le POST OFFICE expose un échantillon de ce câble.

L'année 1859 fut marquée par l'insuccès du télégraphe de la mer Rouge et des Indes, entrepris par MM. Newall et Cie sous la conduite de M. Gisborne. Le câble, dont la longueur dépassait 3,000 milles, était composé d'un toron de sept fils de cuivre pesant 82 kilogrammes par mille marin, recouvert de deux couches de gutta alternant avec deux couches de composition Chatterton, formant un diélectrique du poids de 96 kilogrammes par mille. L'âme était entourée de chanvre goudronné et d'une armature de dix-huit fils de fer de 2 millimètres.

Les échecs successifs de ces deux grandes entreprises, aboutissant à la perte de plus de 8,000 milles de câble, commençaient à décourager l'esprit public. Aussi, la même année, le Gouvernement, qui avait donné à ces entreprises une garantie d'intérêt, ne voulut pas engager davantage sa responsabilité sans être édifié sur l'avenir de la télégraphie sous-marine. Un comité, composé de délégués du *Bord of Trade* (ministère du Commerce) et de délégués de la Compagnie du télégraphe transatlantique[1], fut chargé de faire une enquête sur la construction des télégraphes sous-marins, sur les causes des échecs des entreprises précédentes et sur les chances de réussite des opérations à venir. Le Comité se réunit, sous la présidence du capitaine Douglas Galton, et, du 1er décembre 1859 au 4 septembre 1860, il consacra vingt-deux séances à interroger les électriciens, ingénieurs et marins, dont l'expérience et les travaux pouvaient éclairer la question. Des savants désignés par lui poursuivirent des expériences précises sur la conductibilité des diverses substances, la résistance mécanique des câbles, etc. Les essais électriques et la recherche des dérangements, dont les principes avaient été déjà posés par les frères Siemens et par M. Varley[2], les phéno-

1. MM. Stephenson, Wheatstone, Fairbain, Douglas Galton, Stuart Wortley, Bidder pour le *Board of Trade;* Varley, Edwin Clark, Latimer Clark, Geo. Saward pour la Compagnie transatlantique. Stephenson mourut au début des travaux.

2. Dès 1847, M. Varley s'était servi de la mesure de l'intensité des courants pour la recherche des défauts dans les lignes de Londres. En 1850, M. Werner Siemens publia dans les *Annales de Poggendorff* une méthode pour déterminer la position d'une perte, qui était fondée sur la mesure de l'intensité des courants aux deux extrémités de la ligne. En 1857, M. Varley donna une formule pour résoudre la même question à l'aide d'expériences faites à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mènes de charge et de décharge, et le retard des signaux qui en est la conséquence, la vitesse de transmission, la théorie de l'immersion, etc., furent successivement étudiés et discutés. Le Comité déposa son rapport en avril 1861. L'ensemble des documents de l'enquête comprenant le rapport du comité, les procès-verbaux des séances et les expériences provoquées par lui, ainsi que les mémoires, notes et rapports des ingénieurs consultés, fut publié par le Gouvernement. Il forme un volume in-folio, bien connu des spécialistes sous le nom de *blue-book*, qui est le livre fondamental de la télégraphie sous-marine. « Dans notre opinion, disaient les délégués, l'insuccès des lignes sous-marines est dû à des accidents dont on aurait pu se mettre à l'abri, si la question avait été préalablement suffisamment étudiée. Et nous sommes convaincus qu'en tenant compte des principes que nous avons énoncés sur l'étude, la fabrication, la pose et l'entretien des câbles sous-marins, les entreprises de cette espèce pourront être aussi bien couronnées de succès qu'elles ont été jusqu'à ce jour désastreuses. »

L'expérience a vérifié la justesse de cette conclusion. Dès le mois de juin 1859, le gouvernement anglais [1] avait pris des mesures pour que, pendant la fabrication, le câble destiné à relier Falmouth et Gibraltar fût l'objet d'une surveillance assidue. L'âme se composait de poids égaux de cuivre (toron de 7 brins) et de diélectrique (trois couches de gutta alternant avec la Chatterton) s'élevant respectivement à 180 kilogrammes par mille marin ; elle devait être recouverte de chanvre goudronné et de fil d'acier, chaque fil d'acier étant lui-même revêtu de chanvre, car la profondeur devait atteindre 4,500 mètres ; mais la destination du câble fut changée et, en vue d'une ligne Malte-Alexandrie, on lui donna une armature de dix-huit fils de fer de $3^{mm},17$. L'âme fut fabriquée par la Gutta-percha Company : ses qualités électriques furent mesurées à une température uniforme et les résultats inscrits en unités électriques. Elle fut soumise à des essais de vide et de pression, ayant pour objet de faire éclater les bulles d'air qui pouvaient se trouver dans le diélectrique ; on constata que la résistance du diélectrique augmentait avec la pression : la gutta ayant été percée par accident, on remarqua que, sous l'action de la pression, l'eau s'était frayé un passage le long du toron de cuivre. Pour obvier à cet inconvénient,

un seul des bouts, et en fit l'application pendant l'immersion du câble posé la même année entre l'Angleterre et la Hollande. En 1860, M. W. et C. W. Siemens substituèrent la mesure des résistances à celle des intensités, et se servirent de résistances graduées en fonction d'une unité définie.

1. Willoughby Smith, *les Premiers jours de la télégraphie électrique*, mémoire publié à l'occasion de la réunion à Paris de la Société des ingénieurs des télégraphes, pendant le Congrès international (24 septembre 1881).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. W. Smith imagina d'enduire le brin central de composition Chatterton avant de placer autour les six autres brins. De cette façon, on empêchait l'introduction des bulles d'air dans les interstices du toron. Le revêtement extérieur fut fait par MM. Glass, Elliott. Le bâtiment sur lequel le conducteur fut embarqué n'ayant pas de cuves étanches, le câble se trouva soumis à des alternatives de sècheresse et d'humidité, qui accélérèrent la rouille; la corrosion de l'énorme surface de fer de l'armature ramassée sous un volume relativement petit, suivant les uns, ou la fermentation du chanvre, suivant d'autres, détermina des échauffements tels que la température de certains points dépassa de 14° centigrades celle de l'air extérieur : d'où l'utilité de pouvoir mettre le câble sous l'eau, même à bord des navires.

Le câble d'Alger-Mahon-Port-Vendres (1860-61) mérite une mention spéciale; car son type fut ensuite adopté pour le télégraphe Atlantique. L'âme était formée d'un toron de sept fils de cuivre pesant environ 50 kilogrammes par mille, revêtu de quatre couches de gutta alternant avec autant de couches de Chatterton, soit un poids de 102 kilogrammes par mille; elle était entourée de chanvre goudronné et d'une armature de dix-huit fils d'acier de 2 millimètres, garnis eux-mêmes préalablement de filin goudronné. Le poids dans l'air était de 620 grammes par mètre, et dans l'eau de 309 seulement : la traction de rupture était de six tonnes.

Le conducteur du câble du golfe Persique (1863) présente une particularité. L'emploi d'un fil massif a des inconvénients : la soudure offre une certaine rigidité, et si le fil casse la continuité n'existe plus, tandis qu'en employant un toron, au lieu d'un fil unique, les soudures de chacun des brins ne sont pas au même point, et la rupture d'un seul brin ne met pas le câble hors de service. Mais, à poids de cuivre égal et pour un même diamètre de l'âme, l'induction est plus grande avec un toron qu'avec un fil massif. On voulut combiner les avantages du toron et du fil massif, et on composa le conducteur de quatre fils de cuivre *segmentaires*, c'est-à-dire constituant les quatre quarts d'un cylindre, et étirés dans un tube de cuivre; mais on éprouva de telles difficultés qu'avant l'achèvement de la fabrication on revint au fil solide. Les essais électriques de l'âme furent faits à la température uniforme de 24° centigrades, et l'on appliqua pour la première fois la méthode d'accumulation à l'essai des soudures. Au chanvre goudronné qui pourrait masquer les défauts d'isolement, M. W. Smith substitua la garniture *humide* ou conductrice de chanvre tanné. Enfin pour préserver les fils de fer de l'oxydation et empêcher le rebroussement des fils cassés au passage dans la machinerie d'immersion, l'armature de fils galvanisés fut recouverte de deux couches de chanvre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

enroulées en sens inverse et avec chaque couche de chanvre on appliquait une composition bitumineuse chaude (enduit de MM. Bright et Clark) formée de goudron de Stockolm, poix et silice : le câble était ensuite passé entre des rouleaux à gorge qui lui donnaient une surface unie. On empêchait l'adhérence des loves dans les cuves en saupoudrant de chaux en poudre.

En 1864, M. Siemens tenta entre Oran et Carthagène la pose d'un câble *léger*, dont l'âme était entourée d'une double garniture de fils de chanvre trempés dans une solution de sulfate de cuivre : ces fils, dans lesquels résidait toute la résistance mécanique du câble, étaient enroulés en hélice à long pas sous une forte tension et en sens contraires dans les deux couches. Par-dessus était appliquée une enveloppe flexible, composée de bandes de cuivre ou de laiton dont les spires se recouvraient, formant une cuirasse imitant en quelque sorte les écailles d'un poisson. On choisit pour cet objet du cuivre phosphoré (métal de Muntz) qui est peu attaqué par l'eau de mer. Le câble, au lieu d'être lové, fut enroulé sur une grande bobine mobile autour d'un axe vertical et dont le plateau inférieur portait des galets roulant sur un rail circulaire. Cette disposition était vicieuse, le câble trop peu résistant et on dut renoncer à ces innovations.

Malgré ces vicissitudes, la télégraphie sous-marine avait fait de tels progrès que la confiance renaissait, et les promoteurs du câble Atlantique, qui ne s'étaient pas découragés, M. Cyrus Field en tête, réussirent à réunir le capital nécessaire pour tenter de nouveau l'immersion d'un câble entre l'Irlande et Terre-Neuve. L'âme du câble composée d'un toron de sept brins de cuivre pesant 136 kilogrammes, et de quatre couches de gutta-percha et autant de composition pesant 182 kilogrammes par mille marin, fut revêtue de chanvre tanné et d'une armature de 10 fils de *fer homogène* (acier Bessemer) de $2^{mm},41$, entourés séparément d'une garniture de cinq cordelettes de chanvre de Manille, ou jute, imprégné d'une composition préservatrice de goudron, caoutchouc et poix. La résistance à la rupture de ce câble de grand fond ou *deap see* était de 7 tonnes. L'atterrissement ou *shore-end* était pourvu d'une seconde armature composée de douze torons, chacun de trois fils de fer galvanisés de $6^{mm},5$.

Les précautions les plus minutieuses furent prises pendant la fabrication : le câble fut embarqué sur le *Great-Eastern*, et l'expédition partit dans l'été de 1865 sous la direction du capitaine Anderson et de l'ingénieur Canning. On connaît les péripéties de l'opération ; la malveillance ne fut peut-être pas étrangère aux accidents qui survinrent, et l'on dut s'arrêter aux deux tiers de la route. Mais on acquit la conviction que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'entreprise aurait réussi sans ces accidents singuliers et on se remit à l'œuvre.

Tant d'efforts aboutirent enfin et, dans le courant de 1866, une nouvelle expédition, non seulement opérait avec succès l'immersation complète entre Valentia et Terre-Neuve, mais encore le câble abandonné l'année précédente était repêché par 3,500 mètres de fond et prolongé jusqu'à destination. L'Europe et l'Amérique furent donc reliées par deux communications, l'une établie le 28 juillet (câble de 1866), l'autre le 8 septembre (câble de 1865).

Le câble de 1866 (1852 milles) ne diffère que par quelques détails de celui de 1865 (1896 milles); on supprima la composition dont était enduit le jute qui entourait chaque fil de fer homogène, et ceux-ci furent galvanisés. On renonça à faire les essais de l'âme sous pression, parce que la pression, loin de faire découvrir les défauts, tend au contraire à les rendre moins apparents.

Au début de la télégraphie sous-marine, Robert Stephenson avait exprimé l'opinion que toute compagnie propriétaire d'un câble devait être en mesure de le renouveler au bout de *huit* ans; la durée du câble atlantique de 1865 parut justifier cette manière de voir, car il cessa de fonctionner le 11 mars 1873.

Le câble de 1866 a été interrompu le 13 janvier 1877 et après des tentatives infructueuses faites en 1877 et 1878 pour rétablir ces deux communications, elles ont été définitivement abandonnées. La durée moyenne de ce type de câble serait donc de dix ans. Les bouts de câble amenés à la surface ont montré que les fils étaient sur certains points corrodés et usés *en aiguilles :* la gutta était intacte. Cette détérioration de l'armature, dans laquelle réside la résistance mécanique des câbles les empêche de supporter l'opération du relèvement. Comme on l'a fait remarquer, la durée de l'armature n'est pas en rapport avec le caractère d'indestructibilité de la matière isolante [1]; et, si l'on veut prolonger la vie des câbles de grand fond, il faut trouver un moyen de protéger efficacement l'armature contre la corrosion provenant de causes externes.

Dans les nouveaux câbles transatlantiques, quelques précautions ont été prises à cet effet.

Le câble transatlantique de 1869, de Brest à Saint-Pierre-Miquelon, dit câble *français* (2,584 milles), a son âme formée de poids égaux de cuivre et de gutta-percha (182 kilogrammes par mille). Comme dans les

1. On sait que si un câble immergé a une perte, le passage des courants détruit bientôt la continuité au point défectueux. M. Varley a proposé d'introduire un fil fin de platine dans le toron de cuivre pour conserver la continuité quand le cuivre vient à être rongé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

câbles de 1865 et 1866, l'âme est recouverte de jute et de dix fils de fer homogène entourés chacun de chanvre de Manille. Mais le tout est protégé encore par deux couches de fil de jute enroulées en sens inverses et imprégnées de la composition de poix et silice de Bright et Clark. Le câble est donc mieux garanti contre la corrosion et de fait il atteint sa treizième année d'existence.

Le câble intermédiaire est armé de douze fils de fer galvanisés de 6 millimètres et le câble côtier d'une double armature, l'une de douze fils de 5 millimètres, l'autre de douze torons, chacun de trois fils de 6 millimètres. Le conducteur du câble de 1869 avait une résistance électrique de 3,16 ohms et son diélectrique après une minute d'électrisation de 235 megohms par mille marin à 24° C. Après l'immersion, la résistance du conducteur était de 2,93 ohms et celle du diélectrique 5.200 megohms.

Les câbles atlantiques de 1873 (1,876 milles) et 1874 (1,837 milles) sont construits sur le même type. Depuis la fabrication du câble de 1874, on a remplacé le revêtement extérieur de chanvre imprégné de composition par deux larges rubans de toile à voile imprégnés de même et enroulés en sens inverses autour du câble. Dans le câble destiné aux réparations du câble de 1866, les fils métalliques de l'armature étaient recouverts individuellement de ruban et de composition avant d'être cordés. Le câble de 1880 est armé de douze fils d'acier.

Indépendamment des câbles de 1865 et 1866, sur les six câbles atlantiques du nord actuellement en service, la Telegraph Construction and Maintenance Company en a fabriqué quatre : savoir ceux de 1869, 1873, 1874 et 1880 (1,423 milles). Les deux autres, savoir le câble dit *direct* (de 1874-75), et le câble dit *Pouyer-Quertier* (1879) ont été fabriqués par la maison Siemens, de Londres.

Le câble transatlantique du sud se compose de la section Lisbonne-Madère (613 milles) immergée en 1873 et des sections Madère-Saint-Vincent (1,196 milles) et Saint-Vincent-Pernambuco (1,844 milles) immergées en 1874.

Avant de quitter la Telegraph Construction and Maintenance, signalons l'innovation faite en 1879 pour préserver la gutta-percha des ravages des tarets dans les parages de Singapore, qui sont infestés de ces animaux ; on place sur le diélectrique même de l'âme un ruban de laiton (ou de métal de Muntz) enroulé en spirales se recouvrant (comme dans l'armature de cuivre du câble léger Siemens). Cette protection est appliquée aux câbles immergés par des fonds inférieurs à 180 mètres, car on n'a pas observé des détériorations de ce genre par des fonds plus considérables.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Toutefois, certains fragments du câble atlantique de 1865, relevés par 3,600 mètres de fond, ont montré que le chanvre était attaqué par quelque animal marin.

MM. Siemens frères exposent des échantillons des câbles Platino-Braziliera (1874), Direct des États-Unis (1874) et Atlantique français (1879). Un nouveau câble atlantique américain est actuellement en cours de fabrication dans leurs usines. Le conducteur du câble direct des États-Unis est formé d'un gros fil central de $2^{mm},3$ de diamètre, entouré de onze fils plus petits de $0^{mm},9$; si l'on considère une section du conducteur, on voit qu'une aire donnée de cuivre est ainsi renfermée dans un cercle plus petit que si l'on eût employé un toron, et la capacité électro-statique de la ligne pour un même diamètre de l'âme se trouve ainsi diminuée : ou encore avec les mêmes diamètres de l'âme et du conducteur, on a un poids de cuivre plus grand et par suite plus de conductibilité ; le gain dans le cas actuel serait de 10 pour 100, d'après MM. Siemens. Le conducteur et le diélectrique pèsent environ 182 kilogrammes par mille marin. Le câble dit *direct* va de Ballinskellig (Irlande) à Torr-bay (Nouvelle-Écosse), distance 2,240 milles et de là à Rye-Beach (près Boston), en tout 3,040 milles.

L'emploi, pour les grands fonds, de fils d'acier, revêtus chacun d'une gaine de jute ou chanvre donne des câbles à la fois très légers et très résistants, ce qui facilite l'opération de l'immersion ; mais l'armature n'étant pas complètement métallique, on peut craindre que les tarets ne pénètrent jusqu'à l'âme par le jute qui sépare les fils d'acier et que le câble n'ait une tendance à se détordre et à former des coques sur le fond s'il faut relever par ces profondeurs considérables. Dans le câble français de 1879, MM. Siemens ont pris l'initiative, qui a été considérée comme hardie mais que le succès a justifiée, de donner à leur câble de grand fond une armature de fils d'acier jointifs. Le câble français 1879 se compose de deux sections : l'une de Brest à Saint-Pierre (2,242 milles), l'autre de Saint-Pierre au cap Cod (632 milles). L'âme de la section Brest-Saint-Pierre se compose d'un toron de onze fils de cuivre pesant 159 kilogrammes par mille marin (soit une résistance électrique de 3,78 ohms par mille à 24° C.) et de trois couches de gutta-percha alternant avec de la composition, pesant 182 kilogrammes. Elle est enveloppée de filin de jute. L'armature du câble de grand fond se compose de dix-huit fils jointifs d'acier ou de fer homogène galvanisés de $2^{mm},5$; elle est préservée de la corrosion par trois couches de composition asphaltique, séparées par deux gaines de chanvre goudronné et appliquées en sens inverses. La première gaine en chanvre de Manille est enroulée sous forte tension et en sens contraire du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

câblage des fils d'acier. La seconde est simplement protectrice. La résistance du câble à la rupture est de 8,6 tonnes, et on a pu le relever sans former de coques par des fonds dépassant 4,500 mètres.

Le câble intermédiaire est de deux modèles : l'un armé de dix-sept fils d'acier galvanisés de $2^{mm},8$ (fonds de 900 mètres), l'autre de quinze fils d'acier de $3^{mm},3$ (fonds de 200 mètres). L'armature des câbles côtiers se compose soit de douze fils de fer *best-best* galvanisés de $7^{mm},6$, soit de deux enveloppes séparées par du jute goudronné, l'une de dix-huit fils de fer de $2^{mm},5$, l'autre de douze fils de fer de 9 millimètres ou de douze torons composés chacun de trois fils de fer de $5^{mm},6$.

Pour la section de Saint-Pierre au cap Cod, l'âme se composait d'un toron de sept fils de cuivre pesant 32 kilogrammes par mille et de trois couches de diélectrique pesant 52 kilogrammes. L'armature du câble de grand fonds (fonds atteignant 2,400 mètres) est de quinze fils d'acier de 2 millimètres. La résistance à la rupture est de 4,8 tonnes.

Les câbles intermédiaires sont armés de douze fils d'acier de $3^{mm},3$ ou de dix fils de 4 millimètres ; les câbles côtiers de dix fils de fer de 6 millimètres ou de $8^{mm},25$, ou de deux enveloppes, l'une de quinze fils de fer de 2 millimètres, l'autre de douze fils de fer de 9 millimètres ou de douze torons chacun de trois fils de $5^{mm},6$.

La pose directe du câble des États-Unis comme celle du câble français (1879) a été faite par le *Faraday*, dont MM. Siemens présentent un modèle qui permet de se rendre compte des conditions d'installation des navires employés dans les opérations de la télégraphie sous-marine. Parmi ces navires, qui forment aujourd'hui une véritable flotte, car ils sont au nombre de vingt-sept, les uns, comme le *Faraday*, ont été construits *ad hoc*, les autres, comme le *Great Eastern* ou comme la *Charente* dont les plans sont exposés par le Ministère des Postes et des Télégraphes, sont des transports qui ont reçu un aménagement spécial.

Le *Faraday* a ses parois droites, ce qui lui donne une grande capacité ; il n'a pas de quille, mais il est muni de deux fausses quilles qui limitent de chaque côté l'amplitude du roulis ; il possède à l'arrière deux hélices mues par deux machines indépendantes, ce qui lui permet d'évoluer presque sur place, de se maintenir contre le vent et de gouverner sans avoir besoin de vitesse. La machine d'immersion à l'arrière peut se transformer en machine de relèvement, et de même la machine de relèvement à l'avant peut à un moment donné être utilisée comme machine de pose ; de cette façon on peut à volonté poser ou relever par l'avant ou par l'arrière. Les cuves sont au nombre de trois, dont deux à l'avant et une à l'arrière ; elles ont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

environ 13 mètres de diamètre sur 9 de profondeur. Le dynamomètre est muni d'appareils enregistreurs inscrivant automatiquement sur une bande de papier les tensions d'une manière continue et le temps de cinq en cinq minutes, de façon à relever toutes les circonstances de la pose.

Les engins accessoires de la télégraphie sous-marine que MM. SIEMENS ont déposés en trophée comprennent une grande bouée en tôle munie de son mât de pavillon, de ses fanaux pour la nuit, de ses chaînes et anneaux; une glène de cordages en fil d'acier et chanvre à 4 ou 6 torons, dont un bout est relié à la bouée et l'autre à une ancre en forme de champignon, un grappin à 5 branches, etc.

Les grandes profondeurs de l'Atlantique ne sont pas exemptes de parties rocheuses; car on voit à côté du grappin trois blocs de pierre, dont deux dépassent 30 kilog., qui ont été retirés par 2,000 et 2,320 mètres de fond.

Les sondes s'opèrent à l'aide de la machine à sonder à *fil de piano* de Sir W. Thomson; cet appareil ne figure pas à l'Exposition, mais on y voit le compas marin du savant professeur. Pour apprécier exactement le *mou* du câble, c'est-à-dire l'excès du câble réellement dépensé sur la longueur strictement nécessaire pour recouvrir le fond, MM. Siemens élongent, pendant le déroulement du câble, un fil d'acier analogue à celui qui sert à sonder, lequel en raison de sa rigidité et de son petit diamètre ne subit pas l'influence des courants et se couche sur le fond. Les quantités de fil et de câble filées dans le même temps font connaître la vitesse du navire sur le fond de la mer (et non pas à la surface, comme le loch) et celle du déroulement.

A l'Exposition universelle de 1878, M. JAMIESON avait exposé un grappin à pattes articulées, qui se dégageait lui-même des obstacles fixes, tels que les roches, qu'il rencontrait sur sa route.

L'EASTERN TELEGRAPH COMPANY n'est représentée que par le *Syphon-Recorder de Sir W. Thomson*, dont elle se sert dans son exploitation, et par la carte de son réseau. Ses câbles, parmi lesquels ceux de Marseille à Bone et Malte, etc., sont construits avec de la gutta perfectionnée de W. Smith, dont la capacité inductive spécifique est d'environ 20 pour 100 inférieure à celle de la gutta ordinaire.

THE INDIA-RUBBER, GUTTA-PERCHA AND TELEGRAPHS WORKS COMPANY (usine de Silvertown) et le MINISTÈRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES exposent des spécimens des trois câbles de Marseille-Alger (500 milles). L'âme du câble de 1871, identique à celle des câbles de Cuba et de la Floride posés par la même Compagnie, renferme 48,5 kilog. de cuivre et 75 de gutta par mille marin; le câble est armé de seize fils d'acier homogène de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

$2^{mm},45$. Les âmes des câbles 1879 et 1880 renferment seulement 63 kilog. de gutta pour le même poids (48,5) de cuivre; le câble principal est armé de quinze fils d'acier de $2^{mm},5$.

Parmi les autres échantillons de câbles construits à Silvertown se trouve un gros câble côtier pesant 27 tonnes par mille marin, qui fait partie d'une ligne immergée dans les parages du golfe du Saint-Laurent, où le câble peut se trouver emprisonné dans la glace. La même compagnie présente une collection très variée de câbles pour torpilles à 1, 4 et 7 conducteurs. Dans le pavillon du Post Office, on trouve des spécimens de tous les câbles sous-marins appartenant au gouvernement anglais.

Câbles légers. — On a beaucoup parlé dans ces dernières années de substituer aux câbles armés, dans les grands fonds, des câbles dits *légers* bien moins coûteux. Mais on a reculé devant les grands risques que présente l'immersion de ces câbles dont le diélectrique est sans protection contre les accidents extérieurs, et devant l'impossibilité où l'on serait de les ramener à la surface de l'eau pour les réparer. Dès les débuts de la télégraphie sous-marine, M. Allan avait imaginé un type de ces câbles, dans lequel la résistance mécanique réside dans l'intérieur de l'âme : le conducteur serait, comme on l'a proposé depuis pour un câble atlantique, un fil massif de cuivre pesant 113,5 kilogrammes par mille, entouré de vingt fils d'acier de $0^{mm},6$, ce qui constituerait un conducteur sensiblement de même diamètre et de même conductibilité que celui du câble atlantique de 1866. On écarte ainsi l'objection d'un accroissement de section, qui augmenterait l'induction. Comme revêtement extérieur, un simple matelas de jute pour protéger le câble pendant l'immersion. Un pareil câble pèserait le 1/4 et coûterait les 2/3 du câble armé de 10 fils d'acier entourés de chanvre, et la tension de rupture serait représentée dans les deux cas par la même longueur de câble suspendu dans l'eau (11 milles). On répond aux objections tirées de la difficulté de relever le câble en cas de défaut, que les défauts d'isolement dans un câble une fois immergé sont très rares et que d'ailleurs l'usure ou la corrosion de l'armature a empêché la réparation des câbles atlantiques de 1865 et 1866, tandis que les fils d'acier intérieurs sont indestructibles et assurent au câble la conservation de sa résistance mécanique. Mais il reste toujours à craindre les déchirements du diélectrique insuffisamment protégé par son matelas de chanvre, les attaques des tarets, etc. Pour éviter les chocs et la tension pendant la pose, il faudra donner beaucoup de mou, dépenser donc une grande longueur de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

conducteur, lequel formera alors sur le fond des coques qui se serreront peu à peu, etc.

M. J. Bourdin (France) expose un modèle de navire pour l'immersion des câbles légers. Le câble est enroulé sur une bobine horizontale; le déroulement n'est plus provoqué par le poids du câble, ni par sa tension; au contraire tout est commandé par la rotation de la bobine. Un moteur fait tourner la bobine et un organe, intermédiaire entre celle-ci et le laminoir d'arrière qui débite le câble, maintient constante la tension du fil dans l'intervalle, de manière à éviter les frottements à bord et par suite les chances de rupture. Le câble est projeté en sens inverse de la marche du navire, qui peut donc conserver toute sa vitesse.

Machines à essayer les fils de fer, câbles, etc. — MM. Chauvin et Marin-Darbel (France) exposent diverses machines pour les essais à la traction des fils de fer et des câbles, ainsi que pour les essais à la flexion et à la compression des métaux, boulons, pierres, etc. Dans toutes ces machines l'effort à mesurer est équilibré par l'action de la pression atmosphérique s'exerçant sur un plateau mobile suspendu à un plateau supérieur fixe. A mesure que le plateau mobile s'éloigne du plateau fixe, le vide se fait dans l'espace intermédiaire qui aspire de l'eau communiquant à une double colonne de mercure. La vis portant l'attache inférieure de la pièce à essayer est sollicitée à descendre soit par l'action d'une presse hydraulique, dans le cas des fortes machines, soit par un volant mû à la main : l'attache supérieure agit directement, ou au moyen d'un levier, dans un rapport déterminé, sur le plateau inférieur mobile. Une échelle graduée permet de lire l'effort correspondant à la variation du niveau de mercure pendant l'opération, et l'abaissement du plateau mobile pour l'effort maximum mesuré par l'appareil est assez faible pour qu'on n'ait pas à en tenir compte.

La graduation de l'échelle peut s'obtenir par le calcul, mais il est préférable de l'établir expérimentalement en suspendant des poids étalons au plateau mobile. Préalablement à l'opération, on fait varier l'échelle suivant le poids des pièces à essayer, de telle sorte que le zéro corresponde au niveau du mercure. Les allongements, flexions, compressions s'obtiennent directement en mesurant le déplacement de deux repères sur la pièce à essayer au moyen d'un compas, ou en l'observant avec un instrument à deux microscopes, qui donne 1/20 de millimètre.

Les machines à essayer les fils de fer sont à action directe et vont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 2 à 10 tonnes; celles pour les câbles, boulons, tôles, rails, acier, etc., sont à leviers et à pompe hydraulique et vont jusqu'à 100 tonnes.

Les exposants construisent aussi des machines à essayer les papiers, fils, tissus, etc., fondées sur le même principe et d'une force de 25 à 30 kilog., ainsi que le dynamomètre à levier ou balance dynamométrique de M. Chévefy pour les essais à la traction des matières textiles, fils fins métalliques, cuirs, papiers, etc., et qui sert en particulier dans les arsenaux de la marine pour les essais de recette des toiles à voiles.

III

Des paratonnerres.

Les paratonnerres sont destinés à protéger contre la foudre soit les édifices, soit les lignes télégraphiques, soit les appareils des postes télégraphiques.

Paratonnerres des édifices. — Les conditions d'installation des paratonnerres, le choix du métal qui doit servir de conducteur (fer ou cuivre), la forme de ce conducteur (cordages métalliques ou barres massives), le mode de communication avec la terre ou la forme du *perd-fluide* ont fait devant le Congrès l'objet d'une discussion sur laquelle nous n'avons pas à revenir.

Deux systèmes sont en présence : l'un, d'un usage à peu près général en France et adopté en particulier par la Ville de Paris, repose sur l'emploi d'un petit nombre de tiges élevées déterminant chacune un cône de protection d'une certaine ouverture, reliées entre elles par un même circuit métallique mis lui-même en communication avec la terre par un conducteur à forte section; l'autre, combiné par M. Melsens et très répandu en Belgique, repose sur l'emploi de tiges courtes et multipliées facilitant par leur nombre la recombinaison de l'électricité du nuage inducteur avec l'électricité induite sur l'édifice et dans le sol; ces tiges sont reliées à la terre par de nombreux conducteurs qui enferment l'édifice dans une sorte d'armure ou de cage métallique, rappelant soit, suivant l'expression de sir Snow Harris, qu'un homme dans une armature de fer est à l'abri de la foudre, soit l'expérience bien connue de la cage de Faraday.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On voit dans le PAVILLON DE LA VILLE DE PARIS un modèle de l'hôtel Carnavalet sur lequel sont reproduites les dispositions prescrites par la ville de Paris pour la protection de ses édifices. On admet que chaque tige protège efficacement le volume d'un cône de révolution ayant la pointe pour sommet, et la hauteur de la tige mesurée à partir du faîtage multipliée par 1,75 pour rayon de base. Les tiges de l'hôtel Carnavalet sont au nombre de 5, dont 4 de 9 mètres et une de 6; elles sont en fer forgé et ont la forme d'un tronc de cône droit dont le diamètre de base est 0,01 de la longueur de la tige sans toutefois dépasser $0^{m},10$ et dont le diamètre de la section supérieure est 0,025. La pointe est une flèche conique en cuivre rouge de $0^{m},50$ de haut, vissée, goupillée et soudée dans la tige. Le circuit des faîtes réunissant les cinq tiges, et le conducteur aboutissant au *perd-fluide*, cylindre métallique plongeant dans l'eau d'un puits intarissable, sont constitués par des barres de fer doux galvanisées de 4 centimètres carrés de section et 4 à 5 mètres de long : les joints sont ajustés à mi-fer, boulonnés avec une lame de soudure intermédiaire et noyés dans une masselotte de soudure.

Le circuit des faîtes porte quatre *compensateurs de dilatation*, pour obvier aux inconvénients résultant des contractions et dilatations subies par le métal sous l'influence des variations de température : c'est une bande de cuivre rouge recourbée et encastrée de part et d'autre dans les extrémités de la solution de continuité établie dans le circuit des faîtes entre les points qu'elle doit réunir. Toutes les pièces métalliques de masse un peu considérable entrant dans la construction de l'édifice sont reliées au circuit des faîtes.

Les paratonnerres de la ville sont visités et nettoyés au moins une fois l'an et on mesure leur résistance électrique et celle de la prise de terre.

M. JARRIANT, constructeur des paratonnerres de l'hôtel Carnavalet, expose également les paratonnerres adoptés par les départements de la Guerre et de la Marine. La Ville de Paris a proscrit le cuivre comme tentant trop la cupidité; et comme les grosses cordes en fil de fer sont peu maniables, elle emploie des barres de fer, ce qui nécessite un grand nombre de soudures et l'emploi de compensateurs. On peut avoir, au contraire, des cordes métalliques sans soudure d'une assez grande longueur, et de plus les compensateurs deviennent inutiles, car, en raison de leur souplesse, elles se prêtent à la dilatation. La Guerre emploie des câbles en cuivre; ses paratonnerres des poudrières sont démontables : on peut si les circonstances l'exigent enlever la tige et revisser la pointe sur la base. Cette pointe est en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cuivre rouge et terminée par du platine. La Marine préfère une pointe en bronze terminée aussi par du platine.

MM. Perin Grados, Biloret et Mora, Boivin, Borrel, Collin, Douce, Fontenilles, Mors présentent des spécimens divers de paratonnerres et accessoires. Les paratonnerres tubulaires, tels que ceux de M. Mors, chargent moins les édifices : ils sont formés de deux parties réunies par un filet de vis, ce qui permet de les démonter et de les faire porter sur le faîte par un homme seul. M. Deleuil termine les pointes de paratonnerres par des enveloppes coniques de platine, de 1, 2 et 4 centimètres de hauteur. L'enveloppe de platine est brasée sur la pointe de fer à l'aide de cuivre rouge (provenant de fils très fins pour être plus sûr de la pureté). Les cordages en fil de fer, laiton, cuivre, de M. Carue sont fabriqués avec beaucoup de soin. M. Callaud a imaginé pour les chaînes des paratonnerres des navires une clef qui a été appréciée à bord de certains navires de l'État. M. Lichtenfelder construit un paratonnerre portatif destiné a être placé auprès des poudrières, fabriques de dynamite, etc. Il consiste en une tige supportée par trois barres assemblées de façon à former un trépied qui pénètre dans le sol.

On a le regret de constater, parmi les accessoires de paratonnerres, la présence d'anneaux de verre et d'embases en cristal, destinés à isoler de l'édifice les cordes métalliques ou les tiges : les constructeurs prétendent que ces précautions, au moins inutiles, leur sont imposées par la plupart des propriétaires.

La section belge offre de nombreux spécimens de paratonnerres et accessoires du système Melsens. La plus belle application de ce système est celle qui a été faite par M. Sacré, sous la direction de M. Melsens, à l'hôtel de ville de Bruxelles. M. Sacré montre une disposition simple du même système appliqué à des constructions rurales isolées.

On peut suivre les détails de l'installation d'un paratonnerre Melsens sur la maquette du monument à élever à Laeken à la mémoire du roi Léopold Ier exposée par M. Closset. Dans les paratonnerres adoptés par la ville de Gand et construits par M. Waelput, les conducteurs sont raccordés en faisant pénétrer une tige dans la suivante et brasant au cuivre. Les paratonnerres de l'État belge, présentés par M. Jaspar, ont aussi leurs conducteurs reliés par des traits de Jupiter et soudés en donnant à ces conducteurs une forme courbée sur certaines parties : on évite ainsi l'emploi de compensateurs spéciaux. La pointe est un cône de platine chevillé et soudé à l'étain. Citons encore une tige de paratonnerre de M. Van Hulle, le para-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tonnerre à pointes multiples de Glœsener dans la collection de Mlle Glœsener, des pointes de paratonnerres dans celle de Mme de Vos.

Pour étudier le sens des courants dans les conducteurs de paratonnerres, M. Melsens propose l'emploi d'un *rhéélectromètre*, construit sur le principe de Marianini ; c'est une petite boussole sous le cadran de laquelle est placée une hélice de fil enroulée sur un cylindre creux d'ébonite, dont l'axe est perpendiculaire à la direction du méridien magnétique indiquée par l'aiguille. Un fil d'acier est placé dans l'hélice ; dès qu'un courant passe, il s'aimante et dévie l'aiguille ; l'aimantation permanente de l'acier conserve ainsi la trace du phénomène fugitif que l'on veut observer. Quand l'observation est faite, on change le fil.

Dans la section anglaise, nous signalerons particulièrement les belles aigrettes en cuivre rouge ou nickelées de MM. Newall and C°, ainsi que leurs spécimens de cordes et rubans en cuivre ou en fer. On trouve encore des pointes, tiges, cordes et rubans pour paratonnerres, de M. Paterson. Les rubans sont préconisés par la Commission anglaise de l'enquête sur les paratonnerres, à cause de la facilité des joints. Cette Commission limite le rayon de base du cône de protection à la hauteur simple de la tige.

Dans la section autrichienne, M. Zenger dispose un appareil composé de deux conducteurs verticaux symétriques, reliés à leur partie supérieure par une traverse métallique au milieu de laquelle se trouve une pointe ovoïde et, sous cette pointe, à égale distance des deux conducteurs, pend une lame d'or ; la lame d'or reste immobile quand on fait jaillir une étincelle sur la pointe, ce qui semble évident *à priori*. M. Egger expose une boule creuse armée de pointes.

La statistique des accidents de la foudre peut seule donner des renseignements certains sur l'efficacité des divers modes de paratonnerres. Le docteur Weber, de l'université de Kiel, a fourni une collection intéressante de pointes de paratonnerres et autres objets frappés par la foudre dans le Schleswig-Holstein.

De son côté, M. Colladon, de Genève, a étudié les effets de la foudre sur les plantes ligneuses et l'emploi des arbres comme paratonnerres. Son mémoire est corroboré par des représentations plastiques des blessures faites aux arbres par la foudre et par des morceaux d'aubier enlevés de la surface des arbres foudroyés. D'après M. Colladon, la foudre s'abat sur le sommet presque entier de l'arbre et sur les branches supérieures latérales ; de là plusieurs courants qui se réunissent sur le tronc et produisent des plaies visibles, en raison de leur réunion et de la résistance du tronc plus grande que celle des branches supérieures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paratonnerres des lignes. — Dans les pays orageux, on protège quelquefois les poteaux contre l'action de la foudre [1], et l'on décharge les fils par des pointes placées en regard du fil et reliées à la terre. On trouve des exemples de dispositions de ce genre dans la section italienne où M. FAUTRIER expose un paratonnerre pour poteaux et M. BRIGNOLA un paratonnerre de lignes. Dans la même section, M. CASTELLI expose divers modèles d'un interrupteur déchargeur pour les câbles télégraphiques. Pour faciliter la recherche et la réparation des dérangements dans les câbles sous tunnels, M. Castelli les coupe tous les cent mètres et fixe les bouts sur une plaque enveloppée d'un étui à fermeture hermétique. Sur cette plaque, et séparée d'elle par une lame de mica, repose une autre plaque reliée à la terre ; l'ensemble forme ainsi un paratonnerre qui décharge l'électricité atmosphérique passant dans le câble.

Les raccordements des lignes souterraines ou sous-marines avec les lignes aériennes sont habituellement protégés par des paratonnerres de poste placés dans des guérites ou boîtes à coupures. Aux extrémités des câbles qui traversent les tunnels ou les cours d'eau, le REISCH-POSTAMT place des paratonnerres fort simples, consistant en une sorte d'isolateur à double cloche en ébonite, dont la partie supérieure est formée par une plaque en laiton à stries circulaires ; à une petite distance au-dessus d'elle est placée une autre plaque à stries linéaires, formant avec la première un paratonnerre à plaques striées et à air. La plaque supérieure est à la terre ; à la plaque inférieure est vissée une tige centrale en cuivre, qui se prolonge suivant l'axe des cloches et à laquelle on soude le fil de ligne.

Paratonnerres des postes. — Les paratonnerres destinés à empêcher l'électricité atmosphérique de détériorer les appareils télégraphiques en désaimantant les galvanomètres, brûlant la soie des fils recouverts dans les bobines ou fondant même ces fils, sont généralement établis sur l'un des deux principes suivants : 1° Tandis que les courants des piles ne peuvent passer d'un point à un autre que si les deux points sont réunis par un circuit métallique, l'électricité à haut potentiel, comme l'électricité atmosphérique, préfère franchir une mince couche isolante d'air ou autre diélectrique séparant les deux points plutôt que de parcourir un long circuit métallique

1. En Angleterre, le fil de terre, établi le long du poteau pour transformer en dérivations à la terre les dérivations d'un fil à l'autre, est prolongé jusqu'en haut du poteau et sert de paratonnerre. Dans les Indes, au poteau le plus voisin du poste, on fixe à chaque isolateur un anneau de laiton muni d'une tige pointue du même métal, dont la pointe est disposée très près du poteau, s'il est en fer, ou du fil de terre du poteau, si c'est un poteau en bois.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

reliant ces deux mêmes points (expérience de la décharge latérale de Faraday) ; 2° Dans un circuit composé de parties inégalement résistantes, les parties les plus résistantes sont celles qui s'échauffent le plus ; et, si on intercale dans un circuit un fil court et fin, par suite très résistant, ce fil rougira ou fondra sous l'action d'une forte décharge, tandis qu'il ne s'échauffera pas d'une façon sensible quand il sera traversé par les faibles courants des générateurs télégraphiques.

A la première catégorie appartiennent les paratonnerres à pointes dans l'air ou dans le vide et les paratonnerres à plaques ou à cylindres concentriques avec interposition d'un diélectrique.

Les premiers paratonnerres français étaient formés de pointes fixes placées en regard et communiquant les unes avec le fil de la ligne et les autres avec la terre ; on leur a substitué, en 1853, des paratonnerres formés de deux lames métalliques parallèles traversées chacune par trois pointes aiguës, qu'on peut faire mouvoir de façon à amener leurs extrémités à une distance infiniment faible de la lame située en face.

Le paratonnerre Bertsch, actuellement employé par le MINISTÈRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES et que construit M. LETOURNEAU, se compose de deux plaques parallèles en cuivre, placées en regard et armées chacune de trois cents pointes. Ces pointes forment des rangées parallèles et chacune d'elles regarde la pointe correspondante de l'autre plaque dont elle est séparée par un intervalle de 1 millimètre. Les plaques sont renfermées dans une boîte en fonte dont l'un des côtés est formé d'une vitre épaisse mastiquée, qui permet de vérifier l'état de l'instrument. L'une d'elles reliée à la ligne est isolée de la boîte, l'autre communique avec cette boîte à laquelle est soudé le fil de terre. Avant de fermer la boîte, il faut avoir soin qu'elle ne renferme pas d'humidité ; car l'eau, se vaporisant, puis se condensant par l'effet des variations de température, pourrait amener des dérivations intermittentes.

Le paratonnerre à vide du POST-OFFICE se compose d'une ampoule cylindrique en verre, dans laquelle pénètrent deux fils de platine fondus dans le verre même pour établir un joint étanche, et terminés par deux pointes métalliques en regard. On fait le vide par une ouverture que l'on scelle ensuite à la lampe.

On vérifie ce paratonnerre en le soumettant à la décharge d'une petite bobine d'induction.

Le paratonnerre à plaques de MM. SIEMENS et HALSKE se compose de deux plaques de métal massives et recouvertes d'une petite couche de vernis ; on les applique l'une sur l'autre et elles ne sont séparées que par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de petites bandes de caoutchouc vulcanisé qui ménagent une mince couche d'air entre les surfaces en regard. Quand plusieurs lignes aboutissent à la station, une grosse plaque est reliée à la terre et chaque ligne en a une petite isolée des autres et reposant sur la grosse plaque. La lame d'air peut être remplacée par une feuille de gutta-percha, de mica ou de papier paraffiné. Le papier a l'inconvénient de produire des dérivations aux points où il se carbonise. Quelquefois la plaque de ligne est munie de pointes par lesquelles elle repose sur une feuille de papier paraffiné recouvrant la plaque de terre ; si le papier est percé, la pointe touche la plaque de terre (présenté par MM. L. CLARK, MUIRHEAD et C°).

Au lieu de deux plaques, on peut avoir deux cylindres concentriques. On avait pensé faciliter la décharge en employant des plaques striées de façon que les stries de l'une soient perpendiculaires à celles de l'autre ; ou des cylindres striés l'un circulairement, l'autre longitudinalement, de façon que les surfaces en regard aient leurs stries entre-croisées et se présentent leurs arêtes. Mais, comme l'a vérifié M. Preece et comme cela résulte des expériences de M. Warren de la Rue sur les décharges disruptives, la distance explosive entre pointes n'est supérieure à celle entre surfaces planes que pour des différences de potentiel supérieures à 1,500 volts et les surfaces planes déchargent mieux les différences de potentiel inférieures à 1,000 volts qui correspondent aux effets les plus ordinaires de l'électricité atmosphérique. Dans le paratonnerre du POST-OFFICE les plaques unies et nickelées sont séparées par une feuille de papier paraffiné de $0^{mm},5$; il y a décharge, d'après M. Preece, pour une différence de potentiel de 250 volts.

Le paratonnerre système Kohlfürst, dit « sentier de foudre » exposé par l'ADMINISTRATION DU CHEMIN DE FER BUSCHTIEHRAD A PRAGUE, BOHÊME, est analogue au préservateur à charbon de S. A. Varley, qui fait partie de la collection des paratonnerres employés à diverses époques par le POST-OFFICE anglais. Il se compose de deux pointes en laiton, placées dans un tube en verre rempli d'un mélange de charbon en poudre et de magnésie. La distance des deux pointes est de 1 millimètre. Avec les courants ordinaires, le mélange est assez peu conducteur pour qu'il ne se produise pas de dérivation sensible ; mais si l'étincelle atmosphérique passe entre les deux pointes, il devient à ce moment incandescent et conducteur. L'inconvénient de cet instrument est qu'un courant un peu fort détermine la polarisation permanente d'une file de molécules entre les deux pointes et par suite la formation d'une ligne conductrice de faible résistance. On y remédie en donnant de temps en temps de petits chocs à l'appareil.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les préservateurs à fil recouvert et à fil nu appartiennent à la deuxième catégorie. Dans les anciens appareils à aiguilles on se contentait de nouer ensemble les deux extrémités du fil de la bobine ; l'électricité atmosphérique passait alors d'un fil à l'autre en brûlant la soie du nœud ou fondant le nœud, et la partie enroulée autour de la bobine était préservée. Puis on remplaça le nœud par une torsade, enfin on sépara la torsade de la bobine et on en fit un appareil à part ; les deux fils tordus ensemble sont recouverts de soie de couleur différente et enfermés dans un petit tube plein de paraffine. L'un des fils est intercalé entre la ligne et l'entrée de la bobine, l'autre entre la sortie de la bobine et la terre. L'électricité atmosphérique va de l'un à l'autre à travers la soie. Dans les paratonnerres actuels du Post-Office, les deux fils recouverts, l'un de soie blanche, l'autre de soie verte, sont enroulés côte à côte sur un cylindre de laiton relié à la terre ; le tout est entouré d'un second cylindre de laiton aussi à la terre, en sorte que l'électricité atmosphérique va d'un fil à l'autre ou de l'un d'eux à l'un des cylindres à travers la soie. Ou encore, on intercale simplement dans le circuit de la ligne, en avant de la bobine ou du câble que l'on veut protéger, un fil fin de platine recouvert de soie paraffinée et enroulé sur un cylindre métallique nickelé posé sur une plaque de terre, par exemple, sur celle d'un paratonnerre à plaques, lorsque les deux systèmes sont employés simultanément, comme quand il s'agit de la protection des câbles. Le cylindre métallique est soigneusement verni à la laque pour assurer l'isolement dans les endroits humides. On ajoute quelquefois un paratonnerre à vide au paratonnerre à plaques et au fil préservateur.

Le paratonnerre à bobine français se compose d'un fil fin placé dans la rainure hélicoïdale d'une bobine en cuivre divisée par deux rondelles d'ivoire en trois parties, dont celle du milieu est à la terre ; les deux extrêmes sont l'une à la ligne, l'autre au récepteur ; elles ne communiquent ensemble que par le fil fin et ne communiquent avec celle du milieu que si la soie est brûlée.

Ce paratonnerre a l'inconvénient d'occasionner des pertes dans les endroits humides ; mais il assure mieux que le paratonnerre à fil nu la protection des bobines ; car il les protège contre un courant suffisant pour brûler la soie sans cependant fondre le fil. Dans le paratonnerre à fil nu, un fil fin est simplement intercalé entre la ligne et le récepteur ; s'il est fondu, la ligne est isolée. Il est préférable de relier la ligne à l'extrémité fixe d'un ressort droit tendu à son autre extrémité par un fil fin qui l'empêche de toucher un butoir métallique relié à la terre ; si le fil fin fond, le ressort se détend, vient au contact du butoir et met la ligne à la terre. Le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

butoir au lieu d'être à la terre peut être relié à un second ressort tendu par un autre fil fin en face d'un second butoir et cette disposition peut se répéter plusieurs fois, le dernier butoir étant seul à la terre, et tous les fils fins étant reliés par leur bout fixe au récepteur. La ligne n'est alors mise à la terre que quand tous les fils fins ont été successivement brûlés. L'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES D'AUTRICHE et l'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES DE RUSSIE présentent des instruments de ce genre.

Cette disposition peut être combinée avec une ou plusieurs des précédentes. Ainsi, dans un préservateur exposé par MM. LATIMER CLARK, MUIRHEAD et C° et destiné au raccordement d'une ligne aérienne avec une ligne sous-marine, la ligne aérienne est reliée à un cylindre de laiton strié extérieurement, enveloppé d'un autre cylindre strié intérieurement, lequel est en communication avec la terre (paratonnerre à air cylindrique) ; à l'autre bout du cylindre intérieur est fixé un ressort tendu par un premier fil fin nu dont le bout fixe est relié à un fil fin recouvert de soie, faisant plusieurs tours sur le cylindre de terre avant d'aboutir au câble (paratonnerre à fil recouvert) ; si le fil nu est brûlé, le ressort en se détendant touche un butoir relié à un second ressort tendu par un second fil nu en communication avec le fil recouvert.

Au lieu d'un fil ténu très résistant, M. BEAUFILS (France) propose une tige amincie dans son milieu et faite en métal fusible ; le métal fond à une température de 54 à 60° et lâche alors deux ressorts : l'un met la ligne à la terre, l'autre ferme le circuit d'une sonnerie avertisseur.

Le paratonnerre électro-magnétique, dont l'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES RUSSES expose un spécimen, constitue un paratonnerre qui ne rentre pas dans les deux catégories précédentes. Il est destiné à préserver les appareils contre un courant dont l'action prolongée les détériorerait, sans cependant qu'il soit assez puissant pour être conduit à la terre par un paratonnerre ordinaire. On l'interpose dans le circuit entre un de ces derniers et l'appareil à protéger. C'est un petit électro-aimant, entouré de quelques tours de gros fil et dont le noyau de fer doux est relié à la borne de jonction du fil avec l'appareil. L'armature est reliée à la terre et on règle son ressort de façon à ce qu'elle ne soit pas attirée par les courants ordinaires. Un courant atmosphérique d'une certaine intensité attirera l'armature contre le noyau qui sera ainsi mis à la terre. Dès que ce courant cesse, l'armature est rappelée, et la communication avec la terre étant coupée, tout revient à l'état normal.

Mentionnons enfin le paratonnerre à alcool de M. Pouget-Maisonneuve exposé par M. DIGNEY. Il est formé d'un tube de verre rempli d'alcool et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

traversé par deux fils dont un doit être mis en communication avec la terre et l'autre avec le conducteur de la ligne. L'alcool, comme la plupart des substances organiques, n'est pas sensiblement conducteur lorsque l'électricité n'a qu'un faible potentiel, tel que celui qui est développé par les piles électriques des bureaux télégraphiques, et cesse d'isoler lorsque ce potentiel s'accroît subitement, ainsi qu'il arrive en cas de décharge produite par les orages. Ce paratonnerre rentre donc dans la première catégorie : comme il peut offrir certains dangers par suite de l'inflammation de l'alcool, il n'a pas été adopté dans la pratique.

J. RAYNAUD.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 6

TÉLÉGRAPHIE. — SIGNAUX.

I

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

Les exposants d'appareils télégraphiques peuvent se diviser en trois grandes catégories.

1° Les administrations qui ont exposé, en général, non seulement les appareils actuellement en usage, mais encore la série des instruments qui ont servi depuis l'origine de la télégraphie électrique, et même des systèmes de communication imaginés par les savants du commencement de ce siècle, classés dans la section historique.

2° Les constructeurs, dont les expositions plus ou moins importantes comprenaient des collections d'appareils exécutés le plus souvent d'après les idées des inventeurs.

3° Les nombreux exposants qui présentaient un ou plusieurs appareils imaginés par eux.

Signalons d'abord, dans la première catégorie, le Ministère des Postes et des Télégraphes de France, qui avait mis une partie de son pavillon à la disposition de son personnel : dans son exposition figuraient les appareils employés ou essayés en France depuis 1845 : appareils à signaux de MM. Foy et Breguet, appareils à cadran, Morse, autographiques, électro-chimiques, Wheatstone, Hughes, etc.; des installations de postes pour la transmission simple et duplex; un poste complet pour la transmission sous-marine, des galvanomètres, rhéostats, commutateurs, etc., etc.

Dans la partie réservée à l'École supérieure de Télégraphie se trouvaient des tableaux renfermant les données principales de l'organisation de cette École, les programmes des cours et les dessins des élèves. une instal-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lation complète pour les expériences de mesures électriques, et divers appareils spéciaux exposés par M. Mercadier, inspecteur des études à cette école (électro-diapason pour essais de pile, appareils radiophoniques, modèle d'appareil pouvant servir à la production des signaux de lumière électrique dans les phares, etc.).

L'exposition de l'administration des télégraphes de la Grande-Bretagne (Post-Office) comprenait une partie historique intéressante dans laquelle on remarquait un télégraphe de Ronalds (1816) fonctionnant par la décharge d'une bouteille de Leyde; des appareils à aiguilles de Cook et Wheatstone, d'Henley, de Reid, de Highton, etc., l'appareil électro-chimique de Bain, une collection de relais, de paratonnerres, de manipulateurs ordinaires et à courants alternés, etc., etc. Parmi les appareils modernes, signalons l'appareil à transmission rapide de Wheatstone, ainsi que les relais et appareils de translation employés d'une façon courante par le Post-Office.

L'administration allemande (Reichs-Postamt) avait une exposition très complète, historique et moderne, dans laquelle on remarquait des copies de l'appareil électro-chimique à 28 fils de Sœmmering (1811), des appareils de Steinhell, de Gauss et Weber; des appareils divers de Siemens (relais polarisés, récepteurs électro-magnétiques, imprimeurs à deux styles, manipulateurs automatiques, etc.); des installations diverses de tables pour le service ordinaire ou en duplex; une table d'expériences pour les essais électriques sur les câbles souterrains, ainsi que des voitures et tentes comprenant tout le matériel nécessaire pour faire les mêmes essais en dehors des bureaux.

L'Autriche avait réuni dans des vitrines une collection d'appareils Morse de différents modèles et d'instruments divers de postes, paratonnerres, commutateurs, galvanomètres, etc.

Dans la section belge, l'administration des télégraphes de l'État avait exposé des anciens appareils à aiguilles Wheatstone, Foy-Breguet, à cadran de Gloesener et de Lippens, des appareils Morse montés en duplex, des Hughes, des systèmes de rappels, des installations de bureaux, etc.

L'exposition de l'administration suédoise contenait les premiers appareils électro-magnétiques de M. von Heland et Fahmehjelm (1846), le relais Edlund pour la télégraphie duplex (1854), des manipulateurs Morse à circuit continu; des tables d'expériences pour l'essai des fils, ingénieusement combinées par M. Nyström; une collection complète des instruments employés à l'École des télégraphistes suédois, parmi lesquels

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nous mentionnerons un appareil comprenant des bobines de résistance que l'on peut combiner à volonté pour habituer les élèves à la recherche des dérangements de toute nature.

Dans la partie réservée au département des télégraphes russes se trouvaient les appareils historiques du baron Shilling (1832) et de Jacobi (de 1839 à 1851), ainsi que quelques instruments secondaires, manipulateurs, paratonnerres, etc.

La direction des télégraphes suisses et la direction générale des postes et des télégraphes espagnols n'avaient exposé que des récepteurs Morse et quelques appareils accessoires. Quant aux autres administrations télégraphiques, elles n'étaient pas représentées.

Les expositions de la Ville de Paris et des grandes compagnies de chemins de fer étaient extrêmement intéressantes, mais, au point de vue spécialement télégraphique, elles ne comprenaient, en général, que des appareils bien connus qu'on retrouvait ailleurs.

Parmi les constructeurs d'appareils télégraphiques qui ont pris part à l'Exposition, citons en France : M. Breguet, auquel le jury a décerné un diplôme d'honneur pour ses importants travaux et en souvenir de la grande part qu'il a prise au développement de la télégraphie électrique; M. Carpentier, qui continue les bonnes traditions de la maison Ruhmkorff et a construit avec une grande perfection les appareils Baudot du dernier modèle; M. Dumoulin-Froment, le successeur de Froment auquel on doit la plus grande partie des appareils Hughes employés par les diverses administrations; M. Digney, qui a introduit de nombreux perfectionnements dans le matériel télégraphique; M. Hardy (Hayet et Lignereux successeurs), constructeur des appareils Meyer; MM. Deschiens et Postel-Vinay également connus par la perfection et le soin avec lesquels leurs instruments sont établis, etc.

Dans les sections étrangères mentionnons en première ligne les maisons Siemens et Halske de Berlin, Siemens frères de Londres et M. Edison (États-Unis), dont tous les groupes ont eu à étudier et à admirer les inventions et les travaux; puis MM. Latimer Clark et Muirhead qui avaient exposé une magnifique collection d'appareils de toute nature; MM. Elliot frères, connus depuis longtemps par la perfection de leurs instruments; M. Schäffler, l'habile constructeur autrichien, dont l'exposition comprenait des appareils Hughes et des appareils à transmission multiple; la maison de Vos (Belgique); M^lle^ Antonia Gloesener (Belgique), qui présentait un certain nombre d'appareils fondés sur le principe de l'inversion du sens du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

courant, dont l'application a été faite pour la première fois par son père le professeur Gloesener; l'India Rubber gutta-percha and telegraph works C° (Grande-Bretagne), manipulateurs, récepteurs, instruments divers; M. Sabine, qui exposait les derniers appareils de transmission de son beau-père M. Wheatstone; M. Gerosa (Italie), collection des principaux appareils en usage en Italie; M. Naglo-Gebruder, l'un des principaux constructeurs de l'administration allemande; la compagnie internationale des téléphones (Belgique); Richez fils (Belgique); etc.

La plupart des appareils qui figuraient à l'Exposition ont été décrits dans les traités spéciaux de télégraphie électrique; nous nous bornerons donc à les passer rapidement en revue [1], et nous commencerons par rappeler brièvement les principes généraux sur lesquels ils reposent.

Le courant électrique pouvant se transmettre à de grandes distances avec une rapidité prodigieuse, en conservant une intensité suffisante pour être observé, se prête admirablement à la transmission des signaux. Rien n'est plus simple, en effet, que de faire varier la durée des émissions et des interruptions d'un courant ainsi que sa direction et même son intensité et, par conséquent, d'obtenir autant de signaux que l'on veut. Toutefois les variations d'intensité, qui servent de base aux transmissions téléphoniques, ne sont utilisées dans la télégraphie ordinaire que dans quelques cas particuliers.

Tout système de télégraphie électrique comprend un ou plusieurs conducteurs réunissant deux stations, et, à chacune de ces stations, une source électrique, un appareil servant à envoyer le courant (*manipulateur*), un appareil destiné à permettre d'observer ou d'enregistrer son passage lorsqu'il est envoyé par l'autre station (*récepteur*), différents appareils secondaires ayant pour but d'assurer et de faciliter le service, enfin un fil relié à la terre, par laquelle se complète le circuit de chacun des conducteurs.

Les fils de ligne sont aériens, souterrains ou sous-marins. On a vu dans une autre partie du présent rapport comment on obtient pour ces fils une conductibilité et un isolement suffisant.

1. Nous nous faisons un devoir de remercier M. Clérac, secrétaire de la classe 6, du concours qu'il nous a prêté, et MM. Baradel, Godfroy, Schils, E. Soulcié et Mandroux, dont les notes ont facilité notre travail.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Source électrique. — La source électrique est ordinairement une pile voltaïque dont un des pôles est en communication avec la terre, soit d'une façon permanente, soit au moment de l'envoi des signaux, et dont on met l'autre pôle en relation avec la ligne au moyen du manipulateur.

On peut substituer aux piles des machines électro-magnétiques mises en mouvement par une force étrangère, et disposées de façon à développer une force électro-motrice à peu près constante par le mouvement relatif d'aimants et d'électro-aimants.

Quelquefois l'électricité est fournie par une petite machine électro-magnétique très simple que l'on fait mouvoir à la main pour produire des envois de courant variant suivant les signaux à transmettre. On doit, dans ce cas, tenir compte, pour la formation de ces signaux, que chaque courant transmis n'a qu'une durée très courte et qu'il est toujours suivi d'un courant de direction opposée. Lorsqu'on fait usage de ce mode de transmission, le manipulateur est supprimé, ou plutôt il se confond avec la machine électro-magnétique.

Manipulateur. — Le manipulateur sert à mettre à volonté le fil de ligne en communication avec la pile; il pourrait donc se composer simplement, lorsque le sens du courant émis ne doit pas changer, de deux pièces métalliques placées dans le circuit et qu'il suffirait de séparer ou de remettre en contact pour interrompre ou envoyer le courant. Mais il est important en général qu'un poste ait la faculté de couper la transmission de son correspondant, en envoyant un courant qui fasse marcher le récepteur de ce dernier, au moins pendant l'intervalle des émissions. On arrive à ce résultat en formant le manipulateur d'une tige métallique reliée à la ligne et qui oscille entre deux heurtoirs ; l'un, dit de *repos*, communique avec la terre et l'autre, dit de *pile* ou de *contact*, avec la pile. On place le récepteur soit entre le heurtoir de repos et la terre, soit sur le parcours du fil de la ligne. Dans le premier cas, il ne marche que sous l'influence du courant du correspondant; dans le second, il fait toujours partie du circuit et fonctionne quel que soit le poste d'où parte le courant.

Quelquefois le fil de la ligne est parcouru par un courant continu fourni par une pile placée en un point quelconque du circuit. Dans ce cas, le manipulateur a pour fonction unique d'interrompre ce courantp endant des intervalles dont les durées représentent les signaux et peut être réduit à sa forme la plus simple.

Certains récepteurs nécessitent pour fonctionner des courants de sens différents, soit que ces courants alternent à chaque émission, soit que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le changement n'ait lieu qu'à des périodes variables; le manipulateur employé dans ces cas doit permettre de répondre à ces exigences en mettant, suivant les besoins, l'un des pôles de la pile en communication avec la terre et l'autre avec la ligne, et réciproquement, ou bien, si l'on se sert de deux piles reliées à la terre par leurs pôles contraires, de mettre le fil de ligne en communication avec le pôle libre de l'une ou de l'autre de ces piles.

Les manipulateurs varient d'ailleurs de forme suivant les récepteurs qu'ils sont appelés à desservir; ils doivent être disposés de manière à rendre le travail aussi facile que possible.

La manœuvre du manipulateur s'effectue ordinairement à la main; elle est plus ou moins régulière, suivant l'habileté des employés, et sa rapidité est loin de correspondre au rendement qu'il est possible d'obtenir d'un fil. On peut remédier à ces deux inconvénients en rendant la manipulation automatique. On y arrive, par exemple, en découpant à l'avance sur une bande de papier des ouvertures qui correspondent aux émissions de courant à produire et en faisant dérouler cette bande d'un mouvement rapide et uniforme entre un cylindre et un ressort en relation l'un avec la ligne et l'autre avec la pile; le courant est émis chaque fois que le ressort passe sur une partie perforée.

Récepteurs. — Le courant possède plusieurs propriétés qui permettent d'observer son passage et qui, par conséquent, peuvent servir à donner des signaux. On fait surtout usage en télégraphie de son action sur les aimants, sur le fer doux et sur certains sels métalliques qui sont décomposés quand ils sont traversés par l'électricité.

Une aiguille aimantée, librement suspendue par son centre à l'intérieur d'un cadre autour duquel est enroulé un fil, dévie de sa position d'équilibre dès qu'un courant parcourt ce fil et constitue un appareil de réception; on forme les signaux en tenant compte du nombre et du sens des déviations.

Quand un courant traverse un fil isolé enroulé autour d'un cylindre de fer doux (*électro-aimant*), ce cylindre s'aimante; il se développe un pôle nord à l'une de ses extrémités et un pôle sud à l'autre ou inversement, suivant le sens du courant. Cette aimantation lui donne la faculté d'attirer une plaque de fer, ou armature, placée à une petite distance et de la maintenir dans cette position jusqu'à ce que, le courant cessant, une force

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fixe, due généralement à un petit ressort dit *ressort antagoniste* ou de *rappel*, l'éloigne de nouveau. Le jeu de cette armature doit d'ailleurs être limité par deux *butoirs* convenablement disposés afin qu'elle ne s'éloigne pas trop de l'électro-aimant et qu'elle ne vienne pas le toucher lorsqu'elle est attirée.

Les électro-aimants sont ordinairement formés de deux cylindres parallèles en fer doux réunis par une culasse de même métal, et dont les deux branches sont entourées par le fil conducteur, de façon que, quand le courant passe, il se développe aux extrémités libres deux pôles contraires qui agissent sur la même armature. Quelquefois, lorsque les appareils sont destinés à ne fonctionner qu'à de faibles distances, une seule des branches de l'électro-aimant porte une bobine de fer, il est appelé alors *électro-aimant boiteux*.

Le fer doux conserve toujours, après son aimantation, des traces de magnétisme qui sont d'autant plus sensibles que cette aimantation a été plus forte, aussi la tension du ressort de rappel doit-elle varier avec l'intensité du courant qui traverse l'électro-aimant pendant la transmission.

Quelquefois l'armature est en acier et est aimantée. La tension du ressort de rappel doit alors être telle que cette armature reste éloignée de l'électro-aimant à l'état de repos, et ne soit attirée que si le courant y développe un magnétisme opposé. En intercalant dans un même circuit deux de ces électro-aimants, on peut obtenir à volonté la marche de l'un ou de l'autre en faisant varier la direction du courant émis.

Souvent l'armature est aimantée et oscille entre les deux pôles d'un électro-aimant; on doit alors changer, à chaque émission, le sens du courant, qui la fait mouvoir alternativement vers l'un ou l'autre de ces pôles. D'autres dispositions peuvent encore être adoptées; ainsi, dans l'appareil Hughes, l'électro-aimant, polarisé par un aimant, maintient au contact l'armature qui est sollicitée en sens opposé par un ressort auquel elle n'obéit que si le courant vient diminuer l'action de l'aimant.

Les mouvements de va-et-vient de l'armature d'un électro-aimant peuvent être utilisés pour produire des signaux soit directement, soit avec le concours d'un mécanisme d'horlogerie. De là de nombreuses combinaisons qui ont donné lieu aux appareils les plus divers.

Enfin le courant électrique, en traversant certains sels métalliques à peu près incolores, donne lieu à la formation de composés colorés qui peuvent être employés à la transmission de signaux sur un papier imprégné d'une dissolution de ces sels.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Relais et appareils de translation. — L'intensité du courant reçu à l'extrémité d'une longue ligne est toujours assez faible et peut ne pas avoir la force nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs, s'ils sont peu sensibles; on y remédie au moyen de *relais*. Le relais ordinaire se compose simplement d'un électro-aimant qui reçoit le courant de la ligne et dont l'armature, lorsqu'elle est attirée, vient toucher un butoir et ferme, par ce contact, un circuit local comprenant l'appareil à signaux et une pile qu'on peut rendre aussi puissante que l'on veut.

Quelle que soit la sensibilité des relais ou des appareils de réception, il peut arriver que, par suite de l'isolement imparfait des lignes, ils ne puissent fonctionner lorsque les deux postes en communication sont très éloignés. Un relais fixé en un point intermédiaire pourrait y remédier; il marcherait sous l'influence du courant de l'un des deux postes extrêmes et mettrait, à chaque attraction de l'armature, la prolongation du fil et, par suite, le récepteur de l'autre poste en communication avec une pile spéciale; mais cette simple disposition ne permettrait pas au second poste de répondre au premier. On a donc été amené à juxtaposer, au poste intermédiaire, deux relais dont chacun marche sous l'influence des émissions provenant de l'un des postes extrêmes et envoie un courant à l'autre station. A cet effet, les communications sont établies de façon que le courant reçu d'un côté arrive à l'armature de l'un des relais, passe au butoir que touche cette armature à l'état de repos, se rende au fil de l'électro-aimant du second relais, puis à la terre; ce dernier électro-aimant attire son armature, reliée elle-même à la seconde partie de la ligne, contre un butoir en communication avec la pile et envoie le courant à l'autre station. Les choses se passent d'une manière analogue lorsque le courant reçu au poste intermédiaire vient de l'autre côté.

Tous les appareils de réception qui comportent une armature oscillant entre deux butoirs peuvent être utilisés pour la translation; il suffit en effet d'isoler ces trois parties les unes des autres et d'établir les communications comme nous venons de l'indiquer. Le butoir que touche l'armature quand le courant ne passe pas est appelé butoir de *repos*, et l'autre butoir de *pile* ou de *contact*; ils remplissent pendant la translation le même office que les deux heurtoirs du manipulateur.

Appareils accessoires. — Ces appareils, commutateurs, sonneries, rhéostats, condensateurs, paratonnerres, ont pour but de faciliter et d'assurer le service des transmissions télégraphiques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les commutateurs donnent la possibilité de changer promptement et facilement la communication dans les postes par un simple déplacement de ressorts ou de chevilles métalliques qui mettent en relation des pièces de cuivre auxquelles aboutissent les fils conducteurs.

Les sonneries servent à appeler l'attention des employés. Les galvanomètres ou boussoles permettent de constater le passage du courant et de mesurer son intensité.

Les appareils de résistance et les condensateurs sont employés pour établir des lignes *factices*, dont on a besoin dans certains systèmes de transmission.

Enfin les paratonnerres ont pour but de mettre les employés et les appareils à l'abri des décharges électriques dues à l'action des orages sur les fils conducteurs.

Observations théoriques. — La force avec laquelle un électro-aimant agit sur une armature est proportionnelle à l'intensité du courant et, dans une certaine limite, au nombre de tours que forme le fil autour du fer doux. D'un autre côté, l'intensité du courant est en raison inverse de la résistance totale du circuit en y comprenant celle de l'électro-aimant, qui varie avec la section et la longueur du fil enroulé. On comprend donc que pour obtenir le maximum de force magnétique, il doit exister une relation entre la résistance extérieure et celle des bobines des appareils.

Un calcul très simple montre que ce maximum correspond au cas où la résistance du fil de l'électro-aimant est égale à celle de la ligne. Les bobines doivent donc être formées de gros fil pour les appareils destinés aux faibles distances, et de fil d'autant plus fin que les lignes qu'ils doivent desservir sont plus longues.

Toutefois, dans la pratique cette loi n'est pas absolue pour les lignes très longues, le courant n'atteignant généralement pas son maximum d'intensité pendant les transmissions télégraphiques. L'expérience a démontré que la résistance des bobines ne doit pas dépasser 200 à 250 kilomètres de fil de fer de 4 millimètres de diamètre (2,000 à 2,500 ohms).

Le courant électrique ne se transmet pas instantanément d'une extrémité à l'autre d'une ligne télégraphique. Lorsqu'un fil de ligne est mis en communication avec la pile, l'électricité se répand peu à peu dans ce fil, qui prend une certaine charge, et le courant n'atteint son état définitif qu'au bout d'un espace de temps, d'autant plus grand que la ligne est plus longue. De même, lorsqu'après avoir envoyé le courant on l'inter-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rompt, la charge électrique s'écoule par les extrémités du fil, et prolonge l'action de ce courant sur les appareils récepteurs.

Ces effets, qui sont insensibles sur les conducteurs de peu d'étendue, nuisent à la transmission sur les longues lignes et surtout sur les lignes souterraines ou sous-marines, pour lesquelles la charge est beaucoup plus considérable en raison de l'influence de l'enveloppe, qui agit comme l'armature extérieure d'une bouteille de Leyde.

Si toutes les émissions de courant et tous les intervalles avaient une égale durée, il s'établirait dans le fil un régime régulier qu'on pourrait toujours observer à l'aide d'appareils assez sensibles; mais, dans les transmissions télégraphiques, il ne peut en être ainsi puisque la formation des signaux entraîne forcément des inégalités dans les durées d'émission ou d'interruption; il en résulte une confusion des sigaux qui impose une limite à la vitesse du travail.

On peut toutefois, par différents moyens, reculer cette limite et augmenter le rendement des lignes. On y parvient, par exemple, en mettant après chaque émission, au poste de départ, le fil de la ligne en communication directe avec la terre pour en faciliter la décharge, ou mieux encore en le faisant communiquer pendant un instant avec une pile donnant un courant contraire. On peut aussi accroître la vitesse en alternant le sens du courant, ou, lorsqu'il doit avoir des durées inégales, en affaiblissant son intensité pendant la dernière partie des signaux qui correspondent aux longues émissions.

On peut adopter diverses classifications pour les appareils selon le point de vue auquel on se place. Dans le travail qui va suivre, nous examinerons d'abord les appareils à signaux indépendants (à aiguille, Morse, Wheatstone, etc.); puis les appareils dont chaque signal dépend du précédent (à cadran, imprimeurs, etc.); et enfin les appareils à transmission multiple (Meyer, Baudot, duplex, etc.)

Appareils à aiguilles aimantées.

L'appareil avec lequel ont été faits en Angleterre, par MM. Cook et Wheatstone, les premiers essais de télégraphie électrique (1837) comprenait cinq aiguilles aimantées, et exigeait six fils conducteurs dont un servait de fil de retour; mais le nombre des aiguilles et des fils fut promptement réduit à deux et même à un, et le fil destiné à compléter le circuit fut

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

remplacé par une communication avec la terre aux deux extrémités de la ligne.

Dans l'appareil à une aiguille le manipulateur est placé entre le récepteur et la terre; il consiste en un cylindre horizontal comportant plusieurs pièces métalliques sur lesquelles appuient des ressorts en relation avec les deux pôles de la pile, avec la ligne et avec la terre. Suivant que l'on incline à droite ou à gauche une poignée qui fait corps avec ce cylindre, on met le pôle négatif de la pile en communication avec la terre et le pôle positif avec la ligne, ou réciproquement. Lorsque la poignée est verticale, le courant venant de la ligne se rend directement dans le sol après avoir traversé le récepteur, qui n'est autre qu'un galvanomètre dont l'aiguille aimantée est maintenue verticale par un petit contrepoids.

Les signaux sont formés par les déviations à droite ou à gauche de l'aiguille : deux déviations à droite se succédant rapidement forment, par exemple, la lettre A, deux à droite et une à gauche la lettre E, etc. Le maximun des émissions de courant nécessaires pour former une lettre est de quatre.

Quand l'appareil fonctionne avec deux fils, il comporte deux aiguilles, à chacune desquelles correspond un manipulateur distinct. Les signaux sont alors formés par la combinaison des mouvements des deux aiguilles, et la vitesse de transmission est naturellement plus grande.

L'appareil à une aiguille de Cook et Wheatstone est encore employé en Angleterre par quelques compagnies de chemins de fer, mais, à l'alphabet primitif, on a substitué l'alphabet Morse, en convenant d'attribuer à la déviation de l'aiguille dans un sens la valeur du point et à la déviation de sens opposé la valeur du trait.

Le Post-Office a exposé, en même temps qu'une collection complète des appareils primitifs de MM. Cook et Wheatstone, quelques appareils à aiguilles qui ont été employés par les différentes compagnies avant l'exploitation des lignes télégraphiques par l'État, tels que : l'appareil Highton dans lequel le cadre électro-magnétique qui agit sur l'aiguille aimantée est remplacé par un électro-aimant; l'appareil Bright, formé de deux timbres de tonalités différentes qui sont frappés par des marteaux actionnés par les aiguilles; l'appareil Henley, dans lequel le mouvement de chaque aiguille est produit par une petite machine électro-magnétique que l'on met en jeu au moyen d'une pédale, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Appareil Morse.

C'est en 1838 que le professeur Morse a fait breveter l'appareil qui porte son nom, et dont l'invention remonte, paraît-il, à 1832. Cet appareil, le premier dans lequel on ait fait usage d'électro-aimants, et qui a été employé d'abord en Amérique, est aujourd'hui universellement répandu; toutefois il a subi d'importantes modifications. Les signaux sont marqués par des traits de longueurs différentes sur une bande de papier se déroulant d'un mouvement à peu près uniforme, chacun d'eux étant produit par une émission distincte de courant. Afin d'éviter la confusion, on est convenu de n'adopter que deux dimensions pour la longueur des signes élémentaires : l'une très courte, produite par une émission brève du courant, l'autre, plus grande, correspondant à une durée d'émission à peu près triple. En combinant de diverses manières ces deux éléments nommés *point* et *trait*, on peut former une infinité de signaux dont les plus simples représentent les lettres et les chiffres [1]. La durée des émissions de courant n'est pas absolue, car il suffit qu'on puisse reconnaître si elle est longue ou brève. Quant aux intervalles, on les maintient aussi constants que possible entre les éléments d'une même lettre, et on les rend un peu plus grands pour les séparations de lettres et de mots. Ainsi les intervalles des éléments d'une même lettre sont égaux au point, ceux qui séparent les lettres d'un même mot au trait, et enfin ceux qui séparent les mots à deux traits.

Récepteur Morse. — Le récepteur comporte un mouvement d'horlo-

1. Voici l'alphabet tel qu'il est usité en Europe ; il diffère un peu du premier alphabet indiqué par Morse :

a	·—	*i*	··	*r*	·—·
b	—···	*j*	·———	*s*	···
c	—·—·	*k*	—·—	*t*	—
d	—··	*l*	·—··	*u*	··—
e	·	*m*	——	*v*	···—
é	··—··	*n*	—·	*x*	—··—
f	··—·	*o*	———	*y*	—·———
g	——·	*p*	·——·	*z*	——··
h	····	*q*	——·—	*ch*	————

Les chiffres et les signes de ponctuation sont représentés par des combinaisons analogues, mais qui comprennent au moins cinq éléments, tandis que les lettres n'en comportent que quatre au plus.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gerie que l'on déclenche au moment de recevoir une dépêche, et qui fait dérouler une bande de papier entre deux cylindres.

Ce mouvement d'horlogerie a pour moteur un poids ou, plus généralement, un ressort; la vitesse est régularisée par un volant. Un électro-aimant attire, à chaque passage du courant, une armature fixée à l'extrémité d'un levier armé de l'autre côté d'un style qui vient marquer les signaux sur la bande. Dans les premiers appareils, le style consistait en une pointe sèche qui, en s'élevant, pénétrait dans une rainure circulaire pratiquée sur l'un des cylindres et refoulait devant elle la bande de papier; cette dernière, en se déroulant, emportait une empreinte en relief des signaux. Le gaufrage du papier exigeait une certaine force que le courant de la ligne ne pouvait pas ordinairement donner, aussi l'appareil était-il complété par un relais qui recevait le courant envoyé par le correspondant et fermait un circuit local comprenant une pile et l'électro-aimant de l'appareil à signaux.

Presque tous les pays ont exposé, au moins à titre historique, des appareils Morse à pointe sèche, dont on fait encore quelquefois usage dans les bureaux peu importants.

L'impression en relief étant d'une lecture difficile, on a cherché par différents moyens à rendre les signaux plus visibles.

M. Froment a résolu, le premier, le problème en fixant à l'extrémité du levier un petit crayon qui appuie constamment sur la bande, parallèlement à laquelle il oscille à chaque passage du courant, en tournant sur lui-même.

Une autre solution consiste à employer deux bandes superposées, dont l'une est en papier noirci et laisse une trace sur l'autre à chaque pression du style.

M. Cacheleux a réalisé, en 1854, l'impression à l'encre des signaux Morse en remplaçant la pointe sèche par un tire-ligne plongeant dans l'encre; son appareil figurait, ainsi que celui de M. Froment, dans la section française de l'Exposition.

En 1856, M. Thomas John, employé des télégraphes autrichiens, a eu l'idée de remplacer la pointe sèche par une molette reliée au mouvement d'horlogerie au moyen d'une petite courroie, et plongeant en partie dans un encrier; lorsque le levier soulève cette molette, elle vient marquer une trace à l'encre sur la bande de papier.

En 1857, MM. Digney frères ont modifié le système de M. Thomas John en remplaçant l'encrier par un tampon imprégné d'encre sur lequel frotte la molette, qui n'a d'autre mouvement que celui de rotation. Un cou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

teau mis en jeu par l'électro-aimant soulève la bande de papier et l'applique contre cette molette à chaque passage du courant; ce couteau est formé par l'extrémité d'une lame élastique fixée au levier, et qu'une vis permet de relever ou d'abaisser afin de rendre parfaitement nets les traits marqués sur la bande.

Le soulèvement de la molette ou du papier n'exigeant qu'une force très minime, on a supprimé généralement les relais dont l'usage était indispensable avec les appareils à pointe sèche.

En France, tous les récepteurs Morse employés ont la molette Digney, et ne comportent que des modifications peu importantes. Le tampon encré qui, dans les premiers appareils, ne tournait que par le frottement de la molette est ordinairement mis en mouvement par le mécanisme d'horlogerie; dans les appareils les plus récents, ce tampon se déplace automatiquement dans le sens de son axe, de manière à présenter successivement à la molette des parties différentes de sa surface, ce qui rend l'encrage plus régulier (Digney).

L'armature en fer doux qui fait mouvoir le levier est, après chaque émission de courant, rappelée à sa position initiale par un ressort antagoniste dont la tension doit être en rapport avec l'intensité du courant. La manière d'obtenir cette tension a donné lieu à diverses dispositions. En général, c'est un ressort à boudin relié par un fil fin à un curseur qu'on fait mouvoir au moyen d'une vis à pas serré. D'autres fois le pas de la vis est très allongé et le moindre mouvement dans la position de cette dernière produit une grande variation dans la tension; cette disposition (Postel-Vinay) convient surtout lorsqu'un même appareil dessert plusieurs postes inégalement éloignés et que les courants reçus ont d'assez grandes différences d'intensité. On peut aussi modifier le réglage sans faire varier le ressort, en agissant sur l'électro-aimant que l'on élève ou que l'on abaisse à volonté, ou que l'on fait tourner par l'intermédiaire d'une plaque sur laquelle il est fixé (Dumoulin-Froment).

La tension à donner au ressort antagoniste doit être réglée d'après la force magnétique qui persiste après le passage du courant, force qui varie avec l'intensité et constitue ce que l'on nomme le magnétisme rémanent. M. Héquet diminue très notablement la rémanence en faisant une section dans la culasse de l'électro-aimant et en réunissant les deux parties par une pièce de cuivre; la force magnétique est réduite, il est vrai, mais cet inconvénient est compensé par les facilités que ce système offre pour le réglage, l'intensité du courant pouvant varier dans la proportion de 1 à 4, sans qu'on soit obligé de modifier la tension du ressort. Cette dis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

position, appliquée à l'appareil Morse et à plusieurs autres récepteurs, figurait à l'Exposition dans la section française.

La forme des armatures en fer doux a peu d'influence sur le jeu des appareils. En France, elles sont tantôt plates et tantôt cylindriques. Quant aux bobines des électro-aimants, elles ont ordinairement une résistance de 500 ohms, ce qui donne 1,000 ohms quand le courant les traverse successivement ou 250 lorsqu'il les traverse simultanément ; un commutateur spécial permet ordinairement de passer de l'une à l'autre de ces dispositions, suivant la résistance de la ligne à desservir.

Dans la plupart des pays, les rouleaux de papier bande sont placés sur un rouet, et sont reformés sur un second rouet après la lecture des signaux; une des joues se dévisse pour permettre de placer ou d'enlever le papier. M. Estienne a exposé un rouet qui facilite la formation du rouleau et en permet l'enlèvement d'une manière simple et rapide. Les deux joues sont liées ensemble par deux cylindres s'emboîtant à frottement l'un dans l'autre; le cylindre extérieur porte des fentes dans lesquelles on engage le commencement du rouleau, au lieu de le coller comme on est obligé de le faire avec le rouet ordinaire.

Les récepteurs Morse employés par l'administration allemande sont d'une construction très solide et tous du même modèle; ils diffèrent en quelques points des appareils français. Le barillet qui porte le ressort est placé extérieurement, sur le devant du récepteur, et peut se démonter facilement. L'armature en fer doux, assez épaisse, est un cylindre creux taillé en biseau aux deux extrémités et fendu dans le sens de sa longueur. La molette, qui tourne en plongeant dans un bassin rempli d'encre (système John), est projetée par le levier de l'armature contre la bande de papier sans que sa liaison avec le rouage soit rompue. L'impression des signaux se faisant au-dessous de la bande, celle-ci se retourne automatiquement pour permettre la lecture. Les rouleaux de papier sont placés sur un rouet disposé à plat dans le socle de l'appareil, et l'employé les reforme à la main au fur et à mesure que les dépêches sont reçues. Enfin le levier est divisé en deux parties dont le jeu peut être rendu indépendant, ce qui permet d'employer le même instrument pour la transmission ordinaire et pour la transmission à courant continu, ainsi qu'on le verra plus loin.

Signalons dans l'exposition allemande les premiers appareils à molette encrée de M. Thomas John, les appareils Morse de MM. Siemens et Halske, dont le levier est mis en mouvement par un système électro-magnétique

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

semblable à celui de leurs relais, et un récepteur de M. Canter, dans lequel le déroulement du papier est obtenu par une petite machine électro-magnétique que l'on met en mouvement au moment de recevoir.

L'administration autrichienne avait une collection complète d'appareils Morse à pointe sèche et à molette.

Dans les appareils Morse de l'administration italienne, exposés par M. Gérosa, l'armature est formée d'un cylindre de fer doux entouré d'une petite bobine que parcourt le courant de la ligne; cette disposition, adoptée dans le but d'accroître la force qui agit sur l'armature, ne paraît pas offrir d'avantage sérieux.

En Suisse, le levier des appareils Morse est maintenu par deux ressorts qui agissent en sens contraire et dont l'un est tendu un peu plus que l'autre de façon à maintenir à une très faible distance de l'électro-aimant l'armature, dont le jeu est extrêmement limité (système de M. Hipp).

En Angleterre, en Belgique, en Espagne et en Danemark les récepteurs Morse ne diffèrent pas sensiblement des appareils français. Signalons toutefois en Belgique l'appareil de M. Gloesener dont l'armature aimantée se meut sous l'influence de deux courants alternatifs de directions contraires, et les appareils de MM. Brasseur et de Jaër dans lesquels l'armature oscille entre un électro-aimant polarisé par un aimant et un électro-aimant ordinaire; cette disposition, qui donne une grande marge pour le réglage, est analogue à celle que M. Sambourg a appliquée au relais, et sur laquelle nous reviendrons.

Dans l'exposition française figurait un récepteur Morse de MM. Rault et Chassan, dans lequel la molette est remplacée par un réservoir cylindrique rempli d'encre. Ce réservoir est divisé en deux parties terminées par des bagues juxtaposées entre lesquelles suinte l'encre, qui laisse une trace sur le papier lorsque celui-ci est soulevé; ce système a été abandonné après quelques essais.

Presque tous les pays ont, en outre, exposé des appareils Morse portatifs, disposés dans de petites boîtes et facilement transportables pour servir soit aux expériences à faire sur les lignes, soit aux opérations de la télégraphie militaire.

Déclenchement automatique. — L'employé doit, pour recevoir une dépêche, déclencher le mouvement d'horlogerie de son appareil au commencement et l'arrêter à la fin de la transmission; on a cherché à se passer de son intervention pour la mise en mouvement et l'arrêt de la bande. Le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

problème a été résolu de bien des manières différentes et de nombreux appareils à déclenchement automatique figuraient dans les expositions française, allemande, anglaise et autrichienne. Nous nous bornerons à indiquer une des solutions, celle de M. Aufonso (France). Un petit ressort enroulé sur un des axes du mouvement d'horlogerie est fixé par l'une de ses extrémités à cet axe et par l'autre à un petit manchon tournant librement autour du même axe et portant un doigt; ce doigt entraîné par le mouvement d'horlogerie, par l'intermédiaire du ressort, vient buter par son extrémité contre une tige faisant corps avec le levier de l'armature lorsque ce levier est au repos. Le rouage continue son mouvement de rotation jusqu'à ce que la tension du ressort soit suffisante pour l'arrêter, cinq ou six secondes après l'émission du dernier signal, temps supérieur à l'intervalle des émissions qui constituent une transmission. Dès que l'armature est attirée, le ressort se détend et l'appareil se met en marche. Ces systèmes qui compliquent les appareils n'ont pas, en général, été adoptés.

Manipulateurs Morse. — Le manipulateur Morse ordinaire se compose d'un levier métallique qu'on fait osciller en appuyant sur une petite poignée de façon à lui faire toucher l'un ou l'autre de deux heurtoirs métalliques placés l'un en dessous de la partie antérieure et l'autre en dessous de la partie postérieure. Un ressort ramène toujours le levier dans la dernière position lorsqu'on n'exerce aucune pression sur la poignée. Le levier est en relation avec la ligne par son axe de rotation et de plus, en général, par un petit fil qui assure la communication; le heurtoir sur lequel appuie le levier à l'état de repos communique avec la terre par l'intermédiaire du récepteur, et le heurtoir, sur lequel appuie le levier quand on l'abaisse, est relié à la pile. La forme de ce manipulateur ne varie que très peu. En Suède, pour amortir le bruit que fait le levier en venant frapper sur le contact de pile, on donne au heurtoir une certaine élasticité. Citons le manipulateur à contact périphérique de M. Cumming (Amérique) dans lequel le contact électrique est obtenu par la pression l'une sur l'autre de deux roues en platine disposées à angle droit et fixées l'une au levier et l'autre au heurtoir. Ces deux roues tournent sur elles-mêmes par suite des chocs et les points de contact changent à chaque émission. Les avantages de cette disposition sont douteux, car la pression suffit ordinairement pour assurer une bonne communication.

M. Nacfer (France) a eu l'idée de produire les signaux au moyen d'une manivelle tournant sur un petit cadran horizontal, et faisant mouvoir un levier qui met la ligne alternativement en communication avec le ré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cepteur et avec la pile. Ce cadran a huit divisions dont les impaires correspondent aux émissions de courant et les autres aux interruptions. Lorsqu'on passe sans s'arrêter au-dessus d'une division impaire on produit un point, et un trait lorsqu'on s'y arrête. Ce mode de manipulation est, paraît-il, préféré par quelques employés.

M. Ailhaud s'est proposé de faciliter la transmission en groupant d'avance les différents éléments qui forment les lettres. Les signaux, qui représentent les lettres de l'alphabet, sont reproduits en relief sur la tranche de disques montés tous sur un même axe qui est entraîné par un mécanisme d'horlogerie. A chaque disque correspond un levier qui aboutit à une touche spéciale d'un clavier. En abaissant l'une quelconque de ces touches, on dégage le mouvement d'horlogerie et l'on soulève un des leviers; ce dernier, en passant sur les reliefs du disque situé en face, produit les émissions de courant qui représentent la lettre indiquée sur la touche. Avec ce manipulateur toutes les lettres correspondent à des espaces égaux sur la bande et par suite elles sont inégalement espacées. M. Ailhaud a remédié à cet inconvénient par une disposition analogue à celle du déroulement automatique; le mouvement de la bande du récepteur commence au moment du passage du premier courant de chaque lettre et s'arrête spontanément, dès que les émissions ne se succèdent pas immédiatement.

Pour accroître le rendement des fils conducteurs on a eu l'idée de substituer la transmission automatique à la transmission manuelle, en composant à l'avance les dépêches en signaux Morse. Le premier manipulateur automatique, dû à M. Marqfoy, a été essayé à Paris en 1856; il comprenait un cylindre portant en hélice une série de lames qu'on déplaçait de façon à composer la dépêche à transmettre, une lame pour un point, deux pour un trait, etc. En faisant tourner ce cylindre toutes les lames déplacées passaient successivement sous un style et produisaient des émissions de courant.

Le manipulateur automatique de M. Siemens comporte une série de lames découpées dont les reliefs représentent les lettres de l'alphabet Morse; on fait passer rapidement ces lames, assemblées dans la rainure d'une tringle de façon à composer les dépêches, sous un style qui par ses mouvements de va-et-vient produit les envois ou interruptions de courant. Les lames peuvent d'ailleurs être découpées de manière à satisfaire aux diverses exigences d'une transmission rapide, inversion du sens du cou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rant, mise à la terre ou envoi d'un courant de décharge après chaque émission.

On peut aussi préparer les signaux à l'emporte-pièce sur une bande de fort papier au moyen d'un instrument spécial. Tantôt on fait dérouler la bande d'un mouvement uniforme entre un cylindre en communication avec la pile et un frotteur en relation avec la ligne de manière à établir un contact chaque fois que ce dernier passe sur une perforation ; tantôt la bande, en passant devant l'extrémité d'un levier, le fait mouvoir à chaque perforation et produit, par son intermédiaire, les émissions du courant sur la ligne. Un appareil de ce dernier système exécuté par M. Digney était exposé par l'Administration française.

Le rendement que l'on peut obtenir à l'aide d'un Morse ordinaire ne comporte pas l'emploi de la transmission automatique, qui nécessite une composition préalable et par suite une perte de temps ; mais on fait usage de ce mode de transmission pour les appareils dont le rendement est plus considérable, tels que les appareils électro-chimiques et Wheatstone.

Signalons encore un manipulateur à clavier ingénieux de MM. Hafner von Alteneck, exposé par MM. Siemens et Halske, qui a pour but de rendre la transmission parfaitement régulière. Il se compose d'un tambour sur la circonférence duquel sont des chevilles, en grand nombre et très rapprochées, parallèles à son axe et pouvant se déplacer dans le sens de leur longueur. Toutes les lettres de l'alphabet sont inscrites sur des touches qui, lorsqu'on les abaisse, font mouvoir les chevilles, par un jeu de leviers, de façon que leur déplacement corresponde au signal à transmettre, une cheville représentant un point, trois chevilles un trait et l'espacement des signaux étant représenté par les chevilles non déplacées. Après chaque déplacement d'une série de chevilles correspondant à une lettre, le tambour, entraîné par un poids, présente une nouvelle série en regard des leviers. Au centre du tambour se trouve une aiguille mue d'un mouvement uniforme par un rouage et un ressort indépendants ; cette aiguille est terminée par un frotteur qui est soulevé lorsqu'il passe sur les tiges déplacées, et produit des émissions de courant qui correspondent aux signaux, mais sont indépendantes de la régularité plus ou moins grande avec laquelle ils ont été formés.

Le même appareil a été disposé pour la transmission par des courants de sens différents, les chevilles pouvant être déplacées des deux côtés ; il comporte alors deux aiguilles et deux frotteurs distincts.

Appareil Morse à deux styles. — En se servant d'armatures aiman-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tées on peut faire agir deux styles sur une même bande, et avoir deux séries de signes parallèles, les uns produits par le courant positif et les autres par le courant de sens contraire. Le manipulateur pourrait être semblable à celui des appareils à aiguilles aimantées de Wheatstone dont il a été question précédemment, mais on préfère ordinairement se servir d'un manipulateur à deux leviers dont l'un communique avec la ligne et l'autre avec la terre ; à l'état de repos, ces deux leviers sont soulevés par des ressorts contre une traverse métallique reliée à l'un des pôles de la pile et, quand on abaisse l'un ou l'autre, il vient s'appuyer sur une seconde traverse placée en dessous et reliée à l'autre pôle. Il est facile de voir qu'avec cette disposition le courant positif ou le courant négatif est émis suivant que l'un ou l'autre levier est abaissé, qu'à l'état de repos un des pôles de la pile est isolé ; enfin que le courant venant de la ligne se rend à la terre par l'intermédiaire de la traverse supérieure en passant par le récepteur, qui est placé sur le circuit du fil de terre.

Les premiers appareils à double style sont dus à Steinhell, qui a proposé pour ce mode de transmission un alphabet dont les signaux élémentaires sont au nombre de quatre, un point et un trait produits par le courant positif, un point et un trait par le courant négatif. On comprend que cet alphabet puisse rendre la transmission plus rapide ; toutefois l'alphabet Morse ordinaire a prévalu, et, bien que dans certains cas on se serve de courants inversés, on les rapporte aux signaux Morse ordinaires en rendant toutes les émissions égales et en attribuant la valeur du point aux signes produits par un des sens du courant et la valeur du trait aux signes produits par l'autre.

Des appareils Morse à double style figuraient dans l'exposition de MM. Siemens et Halske. M. Bonnet (Espagne) en a exposé un dont l'armature polarisée a la forme d'un arc de cercle ; ses deux extrémités se trouvent en regard d'un des pôles de l'électro-aimant qui reçoit le courant de la ligne et sont attirées l'une ou l'autre suivant le sens de ce courant ; chacune d'elles soulève une molette encrée contre la bande. Quant au manipulateur de M. Bonnet, il est analogue à celui des premiers appareils à aiguilles aimantées de Wheatstone.

Transmission à courant continu. — Lorsque plusieurs postes secondaires sont desservis par un fil unique, on se sert souvent d'un mode de transmission spécial, dit à courant continu, qui permet de supprimer la pile dans quelques-uns des bureaux. Tantôt la pile se trouve à une seule des stations, tantôt elle est répartie entre plusieurs postes. Le récepteur est, à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chaque station, intercalé dans le circuit général, en même temps que le manipulateur dont le levier est relié à l'un des côtés de la ligne et le butoir de repos à l'autre côté. On transmet dans les conditions ordinaires en manœuvrant le manipulateur, qui rompt le circuit chaque fois qu'il est abaissé.

Si les récepteurs avaient la forme ordinaire, les signaux seraient produits par les intervalles qui séparent les traits. La lecture dans ces conditions offrirait des difficultés ; on a donc été conduit à modifier le récepteur de façon que les signaux marqués sur la bande corrrespondent aux interruptions de courant. Il suffit, pour y arriver, de placer l'électro-aimant et l'armature entre le point de suspension du levier et le style imprimeur, qui se soulève sous l'action d'un ressort de rappel à chaque interruption. Il était naturel, dans les pays où ce mode de transmission est en usage, de disposer les récepteurs de manière qu'ils pussent servir à volonté pour la transmission à courant continu aussi bien que pour la transmission ordinaire.

L'Autriche a exposé des appareils dans lesquels cette condition est remplie au moyen de deux armatures fixées au levier et d'un électro-aimant monté sur un chariot qu'on fait glisser sous l'une ou l'autre. Celle de ces armatures qui n'est pas en regard de l'électro-aimant est utilisée comme pivot ; on la maintient au moyen de deux vis. Le ressort de rappel est placé entre les deux armatures, on en règle la tension suivant le mode de transmission dont on fait usage.

Dans un appareil exposé par l'Administration suisse, le point de suspension du levier est fixe ; les pôles de l'électro-aimant sont recourbés et forment deux plaques polaires disposées de façon que l'armature, petite et plate, fixée au levier, puisse se placer au-dessus pour le mode de communication ordinaire et au-dessous pour la transmission à courant continu. Quand l'armature est placée au-dessus des plaques polaires, elle se meut de haut en bas chaque fois que le courant traverse l'électro-aimant (transmission ordinaire) ; son mouvement est le même quand elle est placée au-dessous et que le courant est interrompu (transmission à courant continu). La position du couteau qui soulève le papier doit être modifiée ainsi que la tension des deux ressorts qui agissent en sens contraire sur l'armature (système Hipp) quand on passe de l'un à l'autre mode de transmission.

Enfin, en Allemagne, tous les appareils de l'administration ont une disposition spéciale qui leur permet de s'adapter aux deux modes de réception.

Le levier est divisé en trois parties : la première porte l'armature et est soutenue par l'axe d'oscillation ; la seconde est un fort ressort fixé à la pre-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mière partie, mais qu'on peut soulever ou abaisser un peu au moyen d'une vis; à l'autre extrémité de ce ressort se trouve un petit axe qui sert de pivot à la troisième partie, formée d'un petit bras terminé de l'autre côté par la molette; une goupille empêche ce bras de pouvoir s'abaisser, de sorte que, pendant la transmission ordinaire, la molette se soulève et imprime sur la bande lorsque l'électro-aimant est parcouru par le courant.

Quand on veut transmettre à courant continu, on amène l'armature au contact de l'électro-aimant; puis on fait mouvoir la vis de façon à abaisser le ressort jusqu'à ce que la molette ne laisse aucune trace sur le papier. A ce moment, le bras extrême vient s'appuyer en son milieu sur une seconde goupille fixée à la paroi de l'appareil; cette goupille forme pivot, et, lorsque l'armature s'éloigne de l'électro-aimant, ce bras pivote en soulevant la molette, qui marque sur le papier des traits correspondant aux interruptions de courant.

Le manipulateur qui sert aux transmissions à courant continu a la forme ordinaire, mais le heurtoir sur lequel presse le levier quand on appuie sur la poignée est isolé. On doit avoir soin, pendant la transmission, de ramener toujours le levier à sa position de repos pour que le circuit soit fermé après chaque signal; à cet effet, on ne donne ordinairement qu'un très faible jeu au levier. M. Derewankine (Russie) a cherché à éviter les inconvénients qui peuvent résulter d'une manipulation défectueuse dans ce mode de transmission en disposant à l'intérieur du levier, qu'on manœuvre à la main, une pièce de contact et un second petit levier qui, en venant s'appuyer sur le heurtoir fixé au socle du manipulateur, se soulève et rompt le circuit de la pile; ce circuit se rétablit spontanément dès qu'on relève la poignée, sans qu'on soit obligé de faire toucher au levier principal le second heurtoir.

Parleurs.

Les signaux élémentaires du Morse étant très simples, on arrive assez facilement à les distinguer à l'oreille par les mouvements de l'armature entre les deux butoirs qui limitent sa course et à suivre les transmissions sans avoir besoin de les lire sur la bande.

On a donc été conduit à construire des récepteurs qui comprennent simplement un électro-aimant et son armature, en disposant l'instrument de manière à augmenter autant que possible sa sonorité. Dans quelques pays, on ne se sert de ce mode de transmission que pour l'échange des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

communications de service; dans d'autres, il est utilisé pour certaines catégories de dépêches et on réserve la lecture au moyen de la bande pour les télégrammes spéciaux qui peuvent nécessiter des recherches en cas d'erreur ; enfin quelquefois la lecture au son est à peu près l'unique mode de transmission.

Toutes les administrations ont exposé des parleurs, dont la forme varie peu. Ils sont ordinairement montés sur une caisse de résonance destinée à renforcer le son. En Angleterre, nous avons remarqué un parleur entouré de trois côtés de parois disposées de manière à renvoyer les vibrations sonores dans la même direction.

Les parleurs exigeant une assez grande intensité magnétique pour produire un bruit suffisant, on les fait fonctionner, en général, au moyen de relais qui reçoivent le courant de la ligne.

Ces instruments, qui peuvent n'avoir qu'un volume très restreint, sont d'un emploi commode, lorsque l'appareil est destiné à être emporté pour des essais de ligne ou pour le service de la télégraphie militaire. Les distances étant ordinairement, dans ce cas, assez restreintes, on se dispense de l'adjonction d'un relais. M. Trouvé a exposé des appareils de ce genre renfermés dans une petite boîte métallique dont le volume n'excède pas celui d'un chronomètre ordinaire. M. Gras (France), pour mieux accentuer la durée des signaux, fait vibrer l'armature pendant toute la durée du passage du courant par un artifice analogue à celui qui est employé dans les trembleurs, c'est-à-dire en intercalant dans le circuit cette armature et son butoir.

Appareils électro-chimiques.

M. Bain a eu le premier l'idée d'utiliser les propriétés électro-chimiques du courant pour l'impression des signaux. Supposons qu'une feuille de papier imprégnée de cyanoferrure jaune de potassium et maintenue un peu humide soit en communication d'un côté avec le sol et de l'autre avec une pointe de fer, et que la pointe soit en relation avec le pôle positif d'une pile dont l'autre pôle communique à la terre, il se produira une action chimique et le sel se transformera, par sa combinaison avec le fer, en bleu de Prusse qui a une couleur foncée. Si donc deux postes sont reliés par un fil et si, à l'un d'eux, la feuille de papier se meut sous le style, toutes les émissions de courant longues ou brèves faites à l'autre se reproduiront sous forme de traits longs ou courts. Ces émissions et interruptions de courant peuvent être produites à l'aide du manipulateur Morse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'appareil récepteur ne comportant d'autre mouvement mécanique que le déroulement de la bande, on comprend que la transmission des signaux puisse être extrêmement rapide si on se sert d'un manipulateur automatique ; toutefois sur les lignes un peu longues on ne peut dépasser une certaine vitesse, les signaux se confondant lorsqu'ils se succèdent de trop près. Ajoutons que la résistance opposée par le papier est toujours considérable et que, par suite, la production des signaux par la décomposition chimique nécessite un courant intense.

Parmi les appareils électro-chimiques reproduisant les signaux Morse ordinaires qui figuraient à l'Exposition, nous citerons l'appareil Bain de 1850 (Grande-Bretagne), un appareil de M. Pouget-Maisonneuve (France) dans lequel on maintient l'humidité du papier tout en lui conservant une certaine ténacité par l'addition d'azotate d'ammoniaque à la dissolution de cyanure jaune de potassium ; l'appareil de MM. Chauvassaignes et Lambrigot qui a fonctionné avec succès sur la ligne de Paris à Tours en 1863.

Dans l'appareil de MM. Chauvassaignes et Lambrigot, la préparation du papier se produit mécaniquement au moment de l'impression au moyen d'un pinceau imprégné de la dissolution saline, qui frotte sur la bande parcourue par le style en fer. Les signaux Morse à transmettre sont tracés sur une bande de papier métallique à l'aide d'une légère couche d'une matière isolante; on obtient ce résultat en faisant dérouler cette bande au-dessous d'un petit tube aboutissant à un réservoir rempli de résine en fusion contre lequel elle est soulevée par un levier semblable au manipulateur Morse. Pour transmettre, on fait passer la bande ainsi préparée entre un cylindre métallique relié à la terre et un style en relation avec le pôle positif de la pile et avec la ligne. Quand le style passe sur le métal, le circuit est fermé localement, et lorsqu'il passe sur la résine, le courant est envoyé au poste correspondant.

Citons encore, bien qu'il n'ait pas figuré à l'Exposition, un appareil imaginé récemment par M. Goodspeed, dans lequel la confusion des signaux qui se suivent trop rapidement est atténuée par l'emploi de courants alternativement positifs et négatifs. Au point d'arrivée deux pointes de fer rapprochées, reliées l'une à la terre et l'autre à la ligne, appuient sur la bande de papier préparée, et laissent l'une ou l'autre une trace suivant le sens du courant reçu; elles sont d'ailleurs disposées pour que ces traces se trouvent sur deux lignes parallèles. Au point de départ, une bande de papier est perforée suivant deux lignes de trous qui représentent les signaux et se déroule entre un cylindre relié à la ligne et deux frotteurs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en relation l'un avec le pôle positif d'une pile et l'autre avec le pôle négatif d'une seconde pile, les pôles non reliés aux frotteurs étant à la terre. La bande en se déroulant présente les trous en regard des frotteurs et met la ligne en relation avec l'une ou l'autre des piles. Les trous se succèdent sur la bande de telle sorte qu'entre deux émissions successives, il n'y ait pas d'intervalle sensible. Les signaux sont les mêmes que ceux du Morse, et on les groupe dans l'ordre où ils se suivent sans tenir compte de la ligne sur laquelle ils se trouvent : on sépare les lettres et les mots par des traits plus longs. Avec ce système, les éléments d'une même lettre se succèdent donc sans interruption, ce qui contribue à accroître notablement la vitesse.

La bande se découpe au moyen d'un perforateur de forme spéciale. Chaque point est représenté par un trou et chaque trait par deux. Les deux signaux successifs envoyés pour la formation des traits se confondent à l'extrémité de la ligne et produisent une seule marque sur la bande de papier préparée. Cette disposition, qui atténue la charge électrique du fil conducteur, est avantageuse au point de vue de la vitesse de transmission.

Appareil à transmission rapide de Wheatstone.

La vitesse de transmission qu'on peut obtenir avec l'appareil Morse ordinaire est limitée d'une part par l'inertie assez grande du levier imprimeur, et de l'autre par le magnétisme rémanent qui nuit au jeu de l'armature et entraîne une confusion des signaux lorsque cette vitesse est trop grande. M. Wheatstone est arrivé, en modifiant l'appareil, à permettre d'enregistrer environ 800 à 1,000 signaux parfaitement distincts (points ou traits) par minute, au lieu de 2 ou 300 qu'on peut obtenir avec le Morse, et, afin d'utiliser le rendement de son appareil, il l'a complété par un transmetteur automatique qui fonctionne avec une régularité parfaite et dont l'emploi donne d'excellents résultats.

Nous allons indiquer sommairement la forme la plus récente donnée par M. Sabine, gendre de M. Wheatstone, à cet appareil, qui était exposé dans les pavillons de l'Administration française et du Post-Office.

Le récepteur comprend deux armatures aimantées fixées à un même axe vertical situé entre deux électro-aimants droits; ces électro-aimants sont traversés par le courant de la ligne et ont leurs extrémités munies de plaques polaires entre lesquelles oscillent les armatures. L'état magnétique de ces dernières est maintenu par un fort aimant en fer à cheval qui pré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sente un pôle en regard de chacune d'elles. Dans les appareils du Post-Office une vis permet d'approcher ou d'éloigner cet aimant pour augmenter ou diminuer son effet; le réglage se complète par le déplacement latéral des électro-aimants droits.

L'axe des armatures supporte une petite fourchette qui agit directement sur une molette plongeant dans l'encre et reliée à un mouvement d'horlogerie; cette molette se rapproche ou s'éloigne de la bande de papier suivant le sens du courant. Les armatures, et par suite la molette, restent donc dans la position qu'elles occupent, jusqu'à ce qu'un courant de sens contraire au dernier courant émis les en fasse changer. Les signaux, points ou traits, sont formés par des émissions de courant d'un sens déterminé et les intervalles par des émissions de courant de sens contraire. Dans les appareils francais, le moteur qui produit le déroulement de la bande et la rotation de la molette est un ressort; dans les appareils anglais, ce moteur est un poids, qui donne un déroulement plus régulier de la bande. La vitesse de déroulement varie de 8 à 12 mètres par minute.

Au départ, les signaux sont représentés sur une bande de fort papier huilé, par deux rangées de trous parallèles perforés à l'avance : l'une de ces rangées correspond aux émissions positives et l'autre aux émissions négatives. Cette bande, placée sur le manipulateur automatique, se déroule d'un mouvement uniforme au-dessus de deux aiguilles légèrement inclinées en sens contraire par rapport à la verticale et qui sont animées d'un mouvement de va-et-vient de bas en haut. Le mouvement ascendant de chaque aiguille est produit par un ressort à boudin dont le jeu est contrarié par un balancier mis en mouvement par un mécanisme d'horlogerie. Chacune des aiguilles suit le mouvement du balancier toutes les fois qu'elle rencontre un trou sur la bande et ne bouge que jusqu'au moment où elle rencontre la bande, si aucun trou n'est en regard. Dans le premier cas, elle entraîne un levier qui agit sur un petit commutateur inverseur, et met par exemple le pôle positif en communication avec la ligne et le pôle négatif avec la terre. Ce commutateur reste dans cette position jusqu'à ce que l'autre aiguille pénétrant dans un des trous de la seconde rangée le ramène à sa position primitive de la même manière, et inverse les communications en faisant succéder un courant négatif à un courant positif.

Outre les deux rangées de trous destinées aux émissions de courant, la bande en porte une troisième, composée de trous plus petits également espacés, dans lesquels pénètrent les dents d'une roue qui entraîne le papier. Ces trous sont sur la même ligne transversale que ceux qui sont destinés à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la production des signaux, de façon que ces derniers correspondent toujours au mouvement ascensionnel des aiguilles.

Pour remédier aux inégalités de charge qui résultent sur les longues lignes de la différence de durée des émissions, M. Wheatstone introduit dans le circuit une résistance convenable pendant la formation des signaux longs; à cet effet, le courant traverse le point de contact des aiguilles et du balancier. Lorsque ces deux pièces se séparent, parce que l'aiguille ascendante ne rencontre pas de perforation, une résistance aboutissant à ces deux pièces se trouve introduite dans le circuit. On règle, suivant la longueur de la ligne, cette résistance de compensation, qu'on peut même supprimer si l'on veut une interruption complète du courant.

La perforation des bandes s'effectue à l'aide d'un instrument spécial qui perce deux trous sur une même ligne normale pour la formation d'un point en même temps qu'un trou intermédiaire pour l'avancement de la bande, deux trous formant une oblique pour la formation d'un trait, avec deux trous intermédiaires, et enfin un seul trou de la rangée du milieu pour les intervalles. Ces trois effets sont obtenus au moyen de trois touches qui agissent sur des poinçons perforateurs et sur lesquelles on frappe avec de petits tampons garnis de caoutchouc afin de rendre le travail moins fatigant. Dans les postes où l'on a à sa disposition un réservoir d'air comprimé, on fait agir la pression sur les perforateurs au moyen d'un triple corps de pompe, en abaissant l'une ou l'autre des trois touches qui ouvrent des soupapes. La manipulation n'exige alors aucun effort.

A l'appareil est joint un manipulateur de forme ordinaire qui émet des courants alternatifs, positifs ou négatifs, et permet de substituer la transmission manuelle à la transmission automatique, en cas de besoin.

M. Delahaye (France) a exposé un perforateur pour l'appareil Wheatstone un peu plus simple que celui qui est habituellement employé.

M. Carlender (Suède) s'est proposé de simplifier l'appareil Wheatstone. Les trous sont perforés sur une seule ligne, mais ils sont longs ou courts selon qu'ils représentent des points ou des traits. L'organe chargé d'envoyer des courants positifs ou négatifs est commandé par un petit frotteur qui glisse sur la bande et s'abaisse plus ou moins selon qu'il rencontre un point ou un trait, le passage du trou étant trop rapide dans le premier cas pour que le frotteur puisse achever son mouvement qui n'est complet que dans le second.

Le balancier inverseur étant solidaire du frotteur, l'amplitude de ses

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mouvements est plus ou moins grande, et la différence permet de limiter la charge du conducteur; au début de l'oscillation du balancier, le courant de la pile passe directement sur la ligne, mais, dès qu'elle dépasse l'amplitude qui correspond à un point, le courant ne passe plus qu'en traversant une résistance qui réduit son intensité. Tant que le frotteur passe sur le papier, un courant de sens contraire est émis sur la ligne.

Cet appareil, inférieur à celui de Wheatstone au point de vue de la formation correcte des signaux, donne cependant un bon travail sur les lignes aériennes de Suède où il est employé depuis 1877; il est d'un prix relativement modéré.

Appareils à cadran.

On comprend sous la dénomination générale d'appareils à cadran tous ceux dont les signaux sont indiqués par une aiguille mobile tournant en face d'un cadran sur lequel ils sont marqués. Ces signaux sont ordinairement les caractères de l'alphabet et le mouvement de l'aiguille, produit par une succession d'émissions et d'interruptions de courant, s'arrête lorsqu'elle se trouve en face de la lettre transmise. Le manipulateur a pour but de produire facilement le nombre des émissions nécessaires à la transmission d'une lettre quelconque. Ordinairement il se compose d'une manivelle articulée au centre d'un cadran portant les mêmes lettres ou signes que le récepteur, et que l'on fait tourner à la main. Cette manivelle, par l'intermédiaire d'une roue à gorge sinueuse, fait osciller un levier entre deux heurtoirs; le levier est relié à la ligne qu'il met en communication avec le récepteur ou avec la pile, suivant qu'il touche l'un ou l'autre des deux heurtoirs.

Le récepteur comprend un électro-aimant dont l'armature, à chaque passage ou interruption du courant, fait mouvoir une aiguille qui tourne devant un cadran sur lequel les lettres se suivent dans le même ordre que sur le manipulateur.

Quelquefois l'armature agit directement sur l'axe qui porte l'aiguille, par l'intermédiaire d'un cliquet et d'une roue de rochet. La plupart des constructeurs ont exposé des appareils de ce genre, qui sont employés lorsque le circuit ne comprend qu'une faible résistance extérieure, mais ne pourraient être utilisés sur des lignes télégraphiques un peu longues parce que l'entraînement de la roue et de l'aiguille nécessite un certain travail et par suite un courant relativement intense.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On obtient ordinairement la rotation de l'aiguille au moyen d'un mécanisme d'horlogerie, l'armature ayant alors pour fonction unique de laisser, à chacun de ses mouvements, passer une des dents d'une roue d'échappement.

A l'état de repos, l'aiguille du cadran et la manivelle du manipulateur sont placées dans une position déterminée (blanc ou croix) ; si l'on fait tourner la manivelle et si on l'arrête sur une lettre quelconque, le courant est envoyé et interrompu un nombre de fois convenable pour amener l'aiguille du récepteur sur la même lettre, qui sert de point de départ pour la lettre suivante.

Lorsqu'il y a désaccord entre le manipulateur d'un poste et le récepteur de l'autre, on revient de part et d'autre à la position de repos. Ce résultat s'obtient pour le récepteur en faisant mouvoir à la main, un certain nombre de fois, un bouton qui agit sur l'armature. Afin d'éviter les pertes de temps qui résultent de cette manœuvre on a imaginé plusieurs dispositions pour ramener l'aiguille à la croix par une seule pression sur le bouton, cette pression ayant pour effet de libérer pendant un instant le mouvement d'horlogerie ou d'en dégager l'aiguille.

Les appareils à cadran sont encore employés par plusieurs compagnies de chemins de fer, qui ont exposé des installations complètes de postes montés avec ces appareils; mais on leur substitue peu à peu des Morse qui, s'ils nécessitent un plus long apprentissage, ont l'avantage de conserver la trace des signaux reçus.

On a donné au manipulateur diverses formes : ainsi dans la section française se trouvait un ancien manipulateur à clavier de M. Froment, qui comprend comme partie principale un axe mis en mouvement par un mécanisme d'horlogerie. Cet axe porte à l'une de ses extrémités une roue interruptrice destinée à établir la communication entre la pile et la ligne par son frottement contre un ressort et, sur sa longueur, des tiges disposées en hélice dont chacune se meut dans le plan d'une des touches du clavier ; quand une touche est abaissée, elle arrête le mouvement à l'instant où la tige correspondante arrive en regard, et l'aiguille du récepteur s'arrête devant la lettre inscrite sur cette touche.

Le manipulateur de M. Chambrier est un peu plus simple. Une aiguille montée sur le même axe qu'un interrupteur est mise en mouvement par un mécanisme d'horlogerie devant un clavier circulaire portant les lettres. On l'arrête en enfonçant une manivelle dans un cran en face de la lettre que l'on veut transmettre, sans avoir à se préoccuper de la régularité

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du mouvement. Cette disposition permet de faire mouvoir la manivelle dans les deux sens.

Signalons, en outre, une disposition adoptée par M. Chambrier pour accroître la force magnétique des électro-aimants de ses récepteurs : les cylindres de fer doux sont creusés à leur extrémité et l'armature porte deux petites masses de fer qui pénètrent dans ces perforations.

On peut employer les machines électro-magnétiques pour faire fonctionner les appareils à cadran, mais en modifiant convenablement ces derniers, les courants induits n'ayant qu'une très courte durée et changeant de direction à chaque émission. Tantôt l'armature est en fer doux et fait une oscillation complète à chacun des passages du courant; tantôt elle est polarisée et conserve la position qu'elle occupe jusqu'à l'envoi d'un courant de direction contraire. La machine électro-magnétique est mise en mouvement par la manivelle du manipulateur, et un courant induit est transmis lorsque cette manivelle passe d'une lettre à la suivante. Des appareils de ce genre étaient exposés par MM. Siemens et Halske.

Il convient de remarquer que la manœuvre du manipulateur est alors assez fatigante et que l'intensité du courant varie avec la vitesse de rotation qu'il est difficile de maintenir absolument constante, aussi ces appareils n'ont-ils pas été adoptés par les administrations télégraphiques.

M. Wheatstone a cherché à remédier à ces inconvénients en rendant indépendant de la manipulation le jeu de la machine électro-magnétique, qu'on fait mouvoir avec une des mains pendant qu'avec l'autre on abaisse successivement les touches d'un clavier circulaire sur lequel les lettres sont marquées. Au centre de ce clavier tourne une aiguille en relation avec l'arbre de la machine électro-magnétique ; elle s'en dégage et s'arrête lorsqu'elle arrive en face d'une touche abaissée, en même temps que la communication avec la ligne se rompt. L'appareil de M. Wheatstone, qui n'a que des dimensions extrêmement restreintes, fonctionne sans mouvement d'horlogerie; il est employé en Angleterre sur un certain nombre de lignes d'intérêt privé.

Dans la partie historique on remarquait les appareils de MM. Foy et Breguet, employés sur les premières lignes télégraphiques françaises, dont les aiguilles indicatrices tournent en décrivant des angles de 45°, et reproduisent les signaux de l'ancien télégraphe aérien de Chappe, et les appareils à cadran de MM. Siemens et Halske (1846) dans lesquels le mouvement de rotation des aiguilles est obtenu par une disposition analogue à celle des sonneries à trembleur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Appareils imprimeurs à cadran.

L'idée d'imprimer directement les dépêches télégraphiques en caractères ordinaires est si naturelle et la réalisation en est si simple que le problème a été résolu depuis longtemps de bien des manières différentes. Il suffit en effet, pour imprimer des lettres, d'avoir une roue tournant en face d'une bande de papier et portant en relief tous les caractères de l'alphabet imprégnés d'encre par leur frottement contre un tampon chargé de couleur, et un marteau qui presse le papier contre le caractère à transmettre au moment où ce dernier arrive en face. L'avancement de la bande doit d'ailleurs être commandé par le jeu du marteau pour que les lettres se suivent à des distances égales.

La roue des types peut être mise en mouvement par une série d'émissions de courant comme l'aiguille des appareils à cadran. Quant à l'impression, on l'obtient par divers procédés sans qu'il soit nécessaire d'avoir un second fil de ligne, en faisant mouvoir le marteau au moment opportun, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un mécanisme d'horlogerie spécial. On a, par exemple, deux électro-aimants à armatures aimantées dont l'un produit le mouvement de la roue des types et l'autre celui du marteau, ce dernier fonctionnant seulement au moment de l'inversion du sens du courant au poste expéditeur (systèmes du Moncel, Digney, Mouilleron, etc.). Ou bien les deux électro-aimants sont inégalement sensibles, celui qui commande le jeu du marteau n'agissant que lorsque le courant a une certaine durée, c'est-à-dire lorsqu'on arrête le manipulateur sur la lettre à transmettre (système Siemens). Ou encore le courant de la ligne ne traverse qu'un seul électro-aimant qui fait mouvoir la roue des types et dont l'armature oscille entre un butoir et un ressort; la pression est faible quand les émissions se succèdent rapidement, mais, si le courant persiste un instant, le ressort cède, vient toucher une pièce fixe, ferme un circuit local et produit l'impression (système Breguet). On peut enfin employer un moyen purement mécanique pour l'impression; la roue des types est, par exemple, munie de chevilles en nombre égal aux lettres qui soulèvent une pièce articulée et ne la laissent pénétrer entre elles que lorsque l'arrêt dure un instant, l'enfoncement de cette pièce dégage le mecanisme imprimeur (systèmes Brett, House, etc.). Les appareils imprimeurs sont ordinairement complétés par une aiguille qui marque sur un cadran les signaux transmis, l'impression ne servant alors qu'à contrôler les transmissions.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un assez grand nombre d'appareils imprimeurs figuraient à l'Exposition ; nous nous bornerons à indiquer les principaux.

Dans l'appareil de M. Chambrier une roue à rochet fixée sur l'axe de la roue des types soulève une goupille dépendant d'un levier articulé et ne la laisse complètement retomber qu'au moment de l'arrêt. Tant que le levier est soulevé, il ferme un circuit local ; lorsqu'il s'abaisse, il le rompt et cette rupture a pour effet d'agir sur un électro-aimant dont l'armature fait mouvoir un petit marteau qui presse la bande contre le type en regard.

M. Dujardin a exposé deux appareils imprimeurs. Dans le premier, la roue des types est commandée par une armature polarisée, oscillant entre les deux pôles d'un électro-aimant sous l'action d'émissions de courant successives et contraires ayant lieu sans interruption. Une deuxième armature très légère, en fer doux, reste constamment attirée par le même électro-aimant et s'éloigne seulement lorsque le courant est interrompu pendant un instant; il se produit alors un contact qui ferme un circuit local par l'intermédiaire de l'électro-aimant imprimeur. Dans l'autre appareil, le jeu du marteau a lieu lorsque, par suite de l'arrêt de la roue des types, une pièce s'enfonce entre les dents d'une roue fixée au même axe.

L'appareil exposé par M. de Baillehache, en même temps que par M. Hayet, et qui est employé par plusieurs compagnies et sociétés industrielles, est analogue au premier de M. Dujardin. Le manipulateur a la forme ordinaire des manipulateurs à cadran; en tournant la manivelle, on envoie alternativement et sans interruptions sensibles des courants de sens opposé; lorsqu'on enfonce cette manivelle dans un cran, on rompt la communication de la pile avec la ligne. A l'arrivée une armature polarisée oscillant entre les deux pôles d'un électro-aimant fait tourner la roue des types, une seconde armature en fer doux est attirée et reste dans cette position malgré les inversions de courant; dès qu'il y a une interruption au départ, cette armature, en s'éloignant, dégage le mécanisme imprimeur.

Dans le système de M. Bigeon, le mécanisme imprimeur est commandé par la chute d'un levier entre les dents d'une roue au moment de l'arrêt; la chute de ce levier est retardée par un volant. Le manipulateur est un clavier circulaire au centre duquel tournent une aiguille et une roue

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

interruptrice fixées au même axe, qui commencent leur mouvement lorsqu'on abaisse une touche, et s'arrêtent lorsque l'aiguille arrive en regard; le mouvement est communiqué à l'axe par un ressort de barillet qui se bande automatiquement chaque fois qu'une touche se relève.

Dans l'exposition de la Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée figuraient deux appareils imprimeurs de MM. Gatget et Bugnaud. Dans le premier, le contact qui ferme le circuit local et fait marcher le mécanisme imprimeur est obtenu par une petite sphère métallique qui oscille tant que la roue des types est en mouvement et pénètre, à l'arrêt, dans une petite encoche conique. M. Bugnaud emploie un style dont les vibrations, en s'arrêtant avec la roue des types, déterminent un contact et produisent l'impression. Ces deux appareils n'ont donné que des résultats médiocres.

M. d'Arlincourt a utilisé dans son appareil imprimeur un effet particulier qu'il a découvert et qu'il nomme « *coup de fouet* » : si deux masses de fer sont fixées au noyau d'un électro aimant, entre les bobines et la culasse, elles prennent chacune pendant le passage du courant une charge magnétique de nom contraire à celle qui est développée à l'extrémité des noyaux correspondants; lorsque le courant cesse, cette charge disparaît subitement et les deux masses prennent chacune une polarité de même nom que celle de ces mêmes extrémités, polarité qui diminue ensuite rapidement. Dans l'appareil imprimeur, deux armatures aimantées se meuvent l'une entre les deux pôles ordinaires de l'électro-aimant et l'autre, dont la polarité est inverse, entre les masses dont nous venons de parler. La première, sous une série de courants alternativement positifs et négatifs se succédant sans interruption sensible, fait tourner la roue des types; la seconde oscille comme la première tant que les courants se suivent rapidement, mais, dès que le circuit est interrompu, par suite de l'arrêt sur une lettre, le coup de fouet se produit et la seconde armature change de position; le circuit d'une pile locale qui actionne l'imprimeur se trouve alors fermé par l'intermédiaire des butoirs et des armatures, qui sont intercalés dans le circuit.

Dans la section belge, M. Van der Ploeg a exposé un appareil imprimeur offrant cette particularité que le mouvement de rotation de la roue des types peut s'effectuer dans les deux sens, au moyen de deux électro-aimants dont l'un ou l'autre agit suivant la direction du courant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

reçu. Le manipulateur consiste en un curseur à marche rectiligne; suivant qu'on le fait aller dans un sens ou dans l'autre, on envoie une série d'émissions positives ou négatives, l'inversion se produisant par un jeu de commutateur à chaque changement de marche du curseur. L'impression est obtenue par un renforcement du courant. L'inventeur n'a pas voulu, du reste, donner l'explication complète de son système au Jury, qui n'a pu que constater la bonne exécution de ses appareils au point de vue mécanique.

Appareil imprimeur de l'Exchange telegraph Company. — L'Exchange telegraph Company a exposé dans la section anglaise un système d'appareils imprimeurs de M. Higgins en usage à Londres pour la transmission simultanée des nouvelles de Bourse à un certain nombre d'abonnés. Ce système nécessite deux fils, ce qui n'entraîne qu'un faible surcroît de dépense en raison du peu de longueur des lignes.

Un seul manipulateur est placé au poste de départ; il comporte un mouvement d'horlogerie qui fait tourner une aiguille en face d'un cadran et une roue qui émet des courants de sens alternés. Des touches sont disposées sur un clavier circulaire ; lorsqu'on abaisse l'une d'elles, le mouvement s'arrête au moment où l'aiguille arrive en face, et, à ce moment, un courant est émis dans le second fil.

Les récepteurs sont placés chez les abonnés. Chacun d'eux comprend une roue des types mise directement en mouvement par un électro-aimant relié au premier fil. Un second électro-aimant, en relation avec l'autre fil, agit, lorsqu'il est traversé par un courant, sur un levier qui soulève le papier contre la roue des types et fait avancer la bande.

Afin d'établir la concordance entre l'aiguille du manipulateur et les roues des types des différents récepteurs, ces dernières sont automatiquement arrêtées dans une position fixe correspondant au blanc, quand on reste quelque temps sans abaisser une touche. A cet effet, l'axe prolongé de la roue des types porte une petite rainure en hélice dans laquelle s'engage l'une des extrémités d'un ressort dont l'autre est fixe. A chaque impression, ce ressort est dégagé, et, par suite de son élasticité, son extrémité libre revient au point de départ de l'hélice. Lorsqu'un certain temps s'écoule entre deux impressions, ce ressort vient buter contre un doigt fixé à l'axe de la roue des types et en détermine l'arrêt. Il suffit qu'au poste transmetteur on appuie sur la touche du blanc pour dégager toutes les roues des types, au moment où l'aiguille du manipulateur passe devant cette touche.

A Paris, M. Postel-Vinay a installé un certain nombre de ces appareils (trente environ) qui reçoivent les dépêches d'un poste central situé à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la Bourse. Au lieu d'employer des piles voltaïques, il se sert d'une petite machine électro-magnétique de Gramme mise en mouvement par une force correspondant à un cheval-vapeur. C'est la première application à la télégraphie des machines électro-magnétiques à courant continu, qui ait été faite en France.

Dans l'exposition de M. Edison figuraient plusieurs appareils imprimeurs analogues, également destinés à la transmission des cours de la Bourse.

Appareils imprimeurs à mouvements synchroniques.

Une seconde catégorie d'appareils imprimeurs comprend ceux dont les roues des types des postes correspondants sont animées de mouvements de rotation synchroniques de façon à présenter toujours les mêmes caractères en face d'un marteau, l'office du courant se réduisant à faire fonctionner ce marteau lorsque le caractère à transmettre est arrivé en face. M. Vail a décrit dès 1835 un appareil de ce genre; d'autres ont été imaginés par MM. Theiler et Donnier, mais la difficulté, qui consiste à maintenir le synchronisme malgré le mouvement irrégulier du mécanisme imprimeur, et à permettre de rétablir facilement l'accord entre les deux appareils en communication, n'a été complètement résolue que par le professeur Hughes, dont l'appareil, breveté en France en 1858, est actuellement en usage dans la plupart des États de l'Europe; il n'a subi depuis le moment où il a été présenté que quelques modifications peu importantes, dues en partie à M. Hughes et en partie à M. Froment, dans les ateliers duquel il a été construit plus de 1,600 appareils de ce système.

Appareil Hughes. — Chaque appareil comprend trois axes distincts mis en mouvement par le même mécanisme d'horlogerie.

Sur l'un de ces axes est fixée la roue des types, portant en relief tous les caractères de l'alphabet et un espace vide, pour la séparation des mots.

Le second, qui constitue le manipulateur, est vertical; il porte un bras horizontal tournant avec la même vitesse angulaire que la roue des types au-dessus d'un disque percé de trous disposés circulairement. Chaque trou est traversé par une lame métallique ou *goujon,* qui est en relation avec une des touches d'un clavier sur lequel sont marqués les mêmes signes que ceux de la roue des types, un *blanc* correspondant à l'espace vide; les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

goujons sont reliés au pôle de la pile et le bras horizontal, qu'on nomme le *chariot*, au fil de la ligne. Quand on abaisse une touche, le goujon correspondant se soulève et, au moment où le chariot passe au-dessus, un contact métallique s'établit, le courant est envoyé au poste correspondant.

Le troisième axe, destiné à produire l'impression, est mis en mouvement par l'intermédiaire d'un électro-aimant, au moment du passage du courant. Cet axe porte des cames dont l'une soulève un petit marteau cylindrique et applique contre la roue des types une bande de papier, qu'une seconde came fait avancer.

Malgré l'intermittence du mouvement de l'axe imprimeur, celui du chariot et de la roue des types n'est pas altéré, grâce à l'addition d'un volant qui emmagasine la force vive et d'un régulateur à lame vibrante.

Deux appareils identiques sont placés aux extrémités d'une ligne, et les axes sont animés d'un égal mouvement de rotation. Si les positions des roues des types sont les mêmes, chaque lettre transmise à l'un des postes se reproduit à l'autre. L'impression a toujours lieu au point de départ en même temps qu'au point d'arrivée, afin que les conditions mécaniques des deux appareils soient identiques ; à cet effet, le courant traverse l'électro-aimant de l'appareil avant de se rendre sur la ligne.

Les mouvements des deux roues des types ne peuvent être absolument synchroniques ; M. Hughes y a remédié en ne calant pas ces roues sur leurs axes, auxquels elles tiennent seulement par frottement. Au moment où l'axe imprimeur soulève le marteau, une came spéciale, fixée à cet axe, s'engage entre les dents d'une roue dentée dite *roue corrective*, solidaire de la roue des types, et fait avancer ou reculer cette dernière, sans rompre sa liaison avec le rouage moteur, de façon à amener exactement un caractère en face du marteau. La concordance entre les appareils placés aux deux extrémités de la ligne se trouve ainsi rétablie à chaque impression, pourvu que l'écart ne dépasse pas la moitié de l'espace qui sépare deux lettres.

Il fallait de plus pouvoir établir l'accord au commencement de chaque transmission entre les appareils en communication, sans arrêter le moteur. A cet effet, la roue des types peut être désembrayée et arrêtée, par l'abaissement d'une petite pédale spéciale, lorsqu'elle arrive dans une position fixe, toujours la même ; le premier courant qui traverse l'électro-aimant la remet aux prises avec le moteur, en soulevant la pédale par un excentrique placé sur l'arbre imprimeur. Chaque transmission doit donc commencer par l'abaissement de la touche correspondant à cette position, qui est ordinairement le *blanc*. Au moment du passage du chariot sur le goujon

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

relié à cette touche, le courant est envoyé et produit l'embrayage de la roue des types au départ aussi bien qu'à l'arrivée.

L'électro-aimant employé par M. Hughes n'a pas la forme ordinaire, il se compose d'un aimant permanent en fer à cheval dont chaque branche est surmontée d'un cylindre de fer doux entouré d'une bobine de fil recouvert. Une petite armature, également en fer doux, est fixée à l'extrémité d'un levier mobile et est maintenue au contact par le magnétisme que l'aimant communique aux cylindres; elle tend à se soulever sous l'action d'un ressort de rappel qu'on règle à l'aide d'une vis. Si le courant traverse les bobines de façon à développer dans les cylindres de fer doux une aimantation contraire à celle que leur communique l'aimant, il diminue l'attraction, et l'armature s'éloigne au moment où la force du ressort l'emporte. Dans ce mouvement, le levier fixé à l'armature laisse tomber un cliquet qui met l'axe imprimeur en relation avec le moteur; cet axe effectue une révolution pendant laquelle il produit l'impression, fait avancer le papier, ramène l'armature au contact, et, par suite de la force acquise, fait monter sur un plan incliné, porté par le levier de l'armature, le cliquet qui, se trouvant ainsi soulevé, rompt la relation qu'il avait établie.

On peut faire varier la vitesse de rotation en déplaçant une masse métallique fixée sur la lame vibrante. Pour obtenir le synchronisme entre les deux récepteurs, le poste qui reçoit règle sa vitesse sur celle de son correspondant. Dans ce but, ce dernier envoie à chaque tour du chariot une même lettre et, à l'autre station, on déplace la masse métallique pour accroître ou diminuer la vitesse jusqu'à ce que l'on reçoive toujours le même caractère sur la bande.

Entre les divisions de la roue des types qui correspondent aux lettres se trouvent des caractères représentant les chiffres et les signes de ponctuation. Quand on veut imprimer ces derniers, on abaisse une touche spéciale nommée *blanc des chiffres*. La came correctrice mise en jeu par l'abaissement de cette touche, en pénétrant dans l'intervalle correspondant des dents de la roue correctrice, agit sur un petit levier qui fait tourner un peu la roue des types (de $\frac{1}{56}$ de tour) de façon que les caractères suivants imprimés sont ceux de la seconde catégorie. On revient à la position primitive en appuyant sur la touche blanche (blanc des lettres), dont l'abaissement doit toujours précéder la transmission; un effet analogue au précédent se produit en sens inverse, et les lettres sont imprimées au lieu des chiffres.

Dans les appareils Hughes, la durée de rotation de l'axe imprimeur est égale à celle qu'emploie le chariot pour passer au-dessus de quatre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

goujons successifs ; on ne peut donc transmettre dans le même tour deux lettres dont la seconde ne serait pas séparée de la première par au moins quatre touches.

Dans les appareils ordinaires, le chariot occupe l'espace qui sépare quatre goujons, et le courant est envoyé, pour la production de chaque lettre, pendant $\frac{4}{28}$ de la durée d'une révolution entière, mais l'émission peut être plus brève et l'on a été conduit, pour les appareils destinés aux lignes souterraines ou sous-marines, à diviser le chariot de façon à produire, après l'envoi du courant principal, une mise à la terre du fil de la ligne ou une émission de courant de sens contraire, afin de décharger le conducteur.

L'impression devant avoir lieu aussi bien au départ qu'à l'arrivée, pour que les conditions mécaniques soient les mêmes de part et d'autre, le courant envoyé doit traverser les bobines de l'appareil qui transmet ; il en résulte souvent une difficulté dans le réglage, surtout sur les longues lignes, par suite des différences d'intensités des courants qui traversent les bobines, suivant que l'on transmet ou que l'on reçoit. MM. Terral et Mandroux ont remédié à cet inconvénient en faisant produire, au départ, le déclenchement de l'axe imprimeur par un moyen mécanique, au moment du passage du chariot sur un goujon soulevé ; le courant est envoyé directement sur la ligne sans traverser l'électro-aimant. Cette disposition a l'avantage de diminuer la résistance opposée au courant; de plus elle permet aux deux correspondants de travailler avec des courants dont la direction est la même, condition avantageuse au point de vue de la conservation des câbles souterrains ou sous-marins qui ont quelques défauts.

Des appareils Hughes étaient exposés non seulement par le Ministère des Postes et Télégraphes de France, mais encore par les principaux constructeurs français, par l'Administration belge, et par M. Schäffler dans la section autrichienne.

Le moteur des appareils Hughes est un poids de 50 à 60 kilogrammes qui emploie environ trois ou quatre minutes à descendre de $0^{m},60$, limite ordinaire de sa course. Le remontage entraîne pour les employés une certaine fatigue à laquelle M. Humblot s'est proposé de remédier en prenant pour force motrice une petite turbine actionnée par l'écoulement d'une colonne d'eau, dont le débit varie avec la hauteur du réservoir. La plupart des Hughes qui fonctionnaient dans le pavillon français étaient mis en mouvement par des turbines Humblot.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Appareil Olsen. — Dans l'appareil Hughes, la vitesse de rotation des axes est limitée par le travail de la correction qui s'effectue à l'arrivée à chaque passage du courant. Cette vitesse ne peut dépasser, pour l'axe de la roue des types, environ cent vingt à cent trente tours par minute. Si le nombre des dents de la roue correctrice était moitié moindre, la vitesse pourrait être notablement augmentée, sinon doublée ; c'est ce qu'a réalisé M. Olsen en employant les deux sens du courant pour la transmission, les touches paires envoyant le courant positif et les touches impaires le courant négatif.

La roue correctrice porte quinze dents seulement et l'espacement entre deux dents consécutives correspond à deux lettres dont l'une s'imprime avec le courant positif et l'autre avec le courant négatif. Cet effet est obtenu au moyen de deux cames voisines fixées sur le même arbre que la came correctrice, et qui viennent, l'une ou l'autre, presser le marteau, ou cylindre imprimeur, contre la roue des types, suivant le sens du courant, de façon à imprimer l'une les lettres de rang pair et l'autre les lettres de rang impair.

Le système électro-magnétique comporte un électro-aimant droit ordinaire agissant par un seul pôle sur deux armatures, aimantées par influence en sens contraire au moyen d'un aimant fixe. L'une ou l'autre de ces armatures, suivant la direction du courant reçu, est repoussée et produit, en agissant sur le levier, le déclenchement du mécanisme comme dans l'appareil Hughes. Outre cet effet commun aux deux armatures, elles agissent isolément sur l'extrémité du cylindre imprimeur qui porte le papier, de façon à le déplacer légèrement pour qu'il se trouve en regard de l'une ou de l'autre des deux cames d'impression dont il a été question plus haut. Afin de maintenir les armatures dans le même état magnétique, celle qui n'est pas repoussée par le courant reçu l'est automatiquement au moment où elle ne peut avoir d'action sur le mécanisme.

Appareil de M. Rouvier. — L'appareil de M. Rouvier repose sur les mêmes principes que celui de M. Olsen, mais, au lieu de n'employer qu'un seul électro-aimant avec deux armatures, il se sert de deux électro-aimants Hughes ordinaires qui opèrent, l'un ou l'autre, le déclenchement de l'appareil. Les armatures ne déplacent pas le marteau ; elles agissent sur deux roues des types montées sur le même axe de façon à amener l'une ou l'autre de ces roues en regard de la bande. Afin de conserver le même état magnétique aux électro-aimants, dont les bobines sont parcourues par des courants dont le sens varie, M. Rouvier ramène leur magnétisme à saturation à chaque tour de l'axe imprimeur. Il obtient cet effet en faisant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

parcourir les bobines par un courant local énergique et de sens convenable pendant une partie de la rotation de l'axe imprimeur.

Les appareils de MM. Olsen et Rouvier ont été mis à l'essai en 1878, l'un (Olsen) sur la ligne de Paris à Lille, et l'autre (Rouvier) sur celle de Paris à Nîmes. Le rendement du premier était d'environ quatre-vingt-cinq dépêches de vingt mots à l'heure et celui du second de quatre-vingts, soit un tiers en plus que celui de l'appareil Hughes. Malgré cet accroissement de vitesse, ces appareils n'ont pas été adoptés dans la pratique en raison de leur complication et surtout parce qu'il est difficile aux employés les plus habiles de tirer tout le parti possible des ressources qu'ils offrent.

M. Olsen a complété, il est vrai, son appareil par un manipulateur automatique, au moyen duquel les dépêches, composées à l'avance par des perforations dans une bande de papier, peuvent être transmises avec une vitesse aussi grande que l'on veut ; mais ce genre de manipulateur est difficilement applicable avec les appareils dont les signaux sont solidaires, puisqu'une lettre mal transmise dénature toutes les suivantes.

Appareils autographiques.

Les appareils autographiques reproduisent à distance l'écriture ordinaire et, en général, tout ce qui peut être tracé à la plume.

Ce résultat peut être obtenu directement avec deux fils de ligne agissant, par l'intermédiaire de deux électro-aimants, sur un crayon ou une plume imbibée d'encre de manière à lui faire parcourir une ligne quelconque sur une feuille de papier, comme dans le pantographe. Le problème a été résolu théoriquement depuis longtemps par MM. Lacoine, Garceau, etc.

Appareil de M. Jordery. — Un appareil de ce genre, exposé par M. Jordery (section française), reproduit l'écriture ordinaire sur une bande de papier se déroulant d'un mouvement uniforme avec une vitesse de 4 millimètres environ par seconde. Deux électro-aimants horizontaux, disposés à angle droit et en relation chacun avec un fil de ligne différent, font mouvoir deux armatures sur lesquelles agissent des ressorts antagonistes puissants. Ces armatures, dont le mouvement est d'autant plus étendu que les courants sont plus intenses, portent chacune, dans son prolongement, une tige terminée par une fourchette à deux dents. Un tube capil-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

laire contenant de l'encre traverse le carré formé par l'intersection des deux fourchettes et laisse une trace sur la bande de papier.

Au départ, deux tringles également disposées à angle droit sont traversées à leur point d'intersection par une petite tige servant à former les caractères que l'on veut transmettre. Chacune de ces tringles agit isolément sur un rhéostat à liquide dont elle fait varier la résistance; il en résulte dans l'intensité des deux courants des modifications qui ont pour résultat de faire mouvoir les armatures à l'arrivée, et, par suite, la position du tube capillaire sur la bande qui emporte la trace de l'écriture, un peu déformée par suite de son déroulement. Cet appareil ingénieux fonctionnait assez bien à l'Exposition, mais il est probable que sur des lignes d'une certaine longueur, il ne donnerait pas un résultat satisfaisant. Il a d'ailleurs l'inconvénient d'exiger deux fils.

Le problème peut être résolu avec un seul fil de ligne, et d'une façon plus pratique, en faisant parcourir à deux styles une série de lignes parallèles, l'un, au départ, produisant des émissions de courant, et l'autre, à l'arrivée, les enregistrant sur une feuille de papier. Le premier appareil de ce genre, dû à M. Blackwell, a figuré l'Exposition universelle de Londres de 1851.

L'Administration française a exposé quatre appareils autographiques de MM. Caselli, d'Arlincourt, Meyer et Lenoir. Dans ces appareils, la dépêche à transmettre est tracée au moyen d'une encre isolante sur un papier métallique que l'on met en communication avec la terre et avec l'un des pôles de la pile, tandis que le style qui le parcourt est relié à l'autre pôle et à la ligne. Le circuit est fermé à l'intérieur du poste de départ tant que le style appuie sur la surface métallique; lorsqu'il passe sur l'encre, le courant est envoyé au poste correspondant. A l'arrivée, la dépêche est reproduite soit par un procédé électro-chimique, soit par une plume ou un crayon mis en mouvement par un électro-aimant.

Appareil Caselli. — Dans l'appareil Caselli, le mouvement est communiqué au style par un long pendule, au milieu duquel ce style est relié par un levier articulé et une vis sans fin qui le fait avancer à chaque oscillation; il parcourt une surface légèrement courbe sur laquelle est placé, au départ, le papier métallique portant la dépêche, et, à l'arrivée, un papier préparé au cyanure de potassium. Le mouvement du pendule est entretenu au moyen d'une pile locale; à cet effet, une forte armature de fer doux est placée à sa partie inférieure et, lorsqu'il arrive près de l'une ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de l'autre des extrémités de sa course, il est attiré par un électro-aimant fixe parcouru, à ce moment, par le courant de la pile et reste dans cette position jusqu'à ce que le courant soit interrompu. Cette interruption est produite par le pendule d'un régulateur indépendant, à la marche duquel est subordonnée celle du grand pendule.

Le style est disposé de manière à ne toucher les surfaces que pendant le mouvement du pendule dans un sens, mais on peut utiliser le mouvement inverse pour avoir une seconde transmission. Pour régler le synchronisme on trace en dehors du texte, sur le papier métallique, une ligne droite normale à la marche du style. Cette ligne doit se reproduire au poste d'arrivée dans la même position; dès qu'elle dévie, on accélère ou on ralentit la marche du régulateur. L'appareil Caselli a fonctionné pendant quelque temps entre Paris et Lyon et servait à la transmission de dépêches autographiques soumises à un tarif spécial.

Appareil d'Arlincourt. — La reproduction des dépêches dans l'appareil d'Arlincourt s'obtient également par la décomposition chimique, mais par l'intermédiaire d'un relais très sensible de forme spéciale qui permet d'obtenir plus de 100 fermetures du courant local par seconde. Les feuilles de papier, métallique et électro-chimique, destinées à la transmission et à la réception s'enroulent sur deux cylindres mis en mouvement par des moteurs dont la marche est réglée par une double tige vibrante hélicoïdale. Le synchronisme entre les deux appareils n'est pas absolu, le cylindre transmetteur tourne un peu plus vite que le cylindre récepteur, de telle sorte qu'il présente au style une génératrice correspondante à la marge de la dépêche plus tôt que ne le fait le même organe à la station d'arrivée; il est arrêté dans cette position jusqu'au moment où le cylindre récepteur arrivant à son tour dans la même situation envoie un courant qui le fait partir de nouveau. L'appareil de M. d'Arlincourt a fonctionné entre Paris et Marseille.

Appareil Meyer. — M. Meyer a reproduit, le premier, les dépêches à l'encre sur une feuille de papier ordinaire. Cette feuille est disposée au-dessous d'un cylindre portant un pas d'hélice et avance un peu après chaque révolution. L'hélice est imprégnée d'encre par un tampon contre lequel elle frotte, de sorte que si le papier était maintenu soulevé, il emporterait la trace d'une série de lignes parallèles très rapprochées; mais ce soulèvement a lieu seulement lorsqu'un courant, traversant un électro-aimant spécial, fait mouvoir une armature et les traces faites sur une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même ligne dépendent de la position de l'hélice au moment du passage de ce courant. Ce courant est produit par une pile locale dont le circuit est fermé par un relais très sensible qui reçoit le courant du poste correspondant.

Au départ, le papier métallique portant la dépêche est enroulé sur un autre cylindre qui tourne également d'un mouvement uniforme; un style placé en regard du papier métallique le parcourt en décrivant une hélice à spires très rapprochées et envoie le courant sur la ligne lorsqu'il passe sur une partie recouverte d'encre. Le synchronisme entre les deux appareils correspondants est obtenu au moyen d'un pendule conique, et se règle, au poste qui reçoit, par la condition qu'une ligne droite tracée sur la feuille métallique au départ se reproduise dans la même situation à l'arrivée.

Appareil Lenoir. — Dans l'appareil de M. Lenoir le moteur, à chaque poste, est une petite machine électro-magnétique qui fait tourner un cylindre sur lequel est enroulé au départ le papier métallique et à l'arrivée une feuille de papier ordinaire destinée à recevoir la dépêche. Le synchronisme est obtenu à l'aide d'un régulateur à force centrifuge. Un chariot qui avance régulièrement, parallèlement au cylindre, lui présente d'une part un style qui frotte sur le papier métallique et de l'autre une plume imbibée d'encre, actionnée par un électro-aimant polarisé et qui laisse une trace à chaque passage du courant. Par suite d'une disposition spéciale, facile à concevoir, la ligne est parcourue par un courant très intense quand le style transmetteur passe sur une partie encrée, et par un faible courant de sens contraire quand il touche le papier.

M. Lenoir est arrivé à reproduire à distance des épreuves photographiques, résultat qu'il obtient de la manière suivante : On étend sur la feuille de papier métallique une légère couche d'une dissolution d'albumine bichromatée formée d'un litre d'eau dans lequel on verse 50 grammes d'un mélange de 100 parties de blanc d'œufs, 6 de bichromate de potasse, 5 de carmin et 100 d'eau; cette couche étant séchée à une douce chaleur, le papier est exposé à la lumière pendant quelques minutes sous un cliché négatif, puis plongé dans un bain contenant environ 4 grammes d'ammoniaque par litre d'eau qui met le métal à nu dans les parties non attaquées par la lumière. Quand le dépouillement est suffisant, on lave à grande eau, puis on laisse sécher de nouveau. Les parties non dépouillées étant isolantes, on se trouve dans les mêmes conditions que lorsque les traits ou dessins sont tracés à l'encre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Appareil Édison. — Dans la section américaine, M. Edison a exposé un appareil autographique dans lequel les dépêches à transmettre sont écrites sur un papier ordinaire d'une certaine épaisseur à l'aide d'un crayon dur. Ce papier est enroulé sur un cylindre vertical, animé d'un mouvement de rotation régulier contre lequel frotte une pointe qui, en passant sur les dépressions faites par le crayon, exécute un mouvement presque imperceptible, mais pourtant suffisant pour produire la fermeture d'un circuit et envoyer le courant sur la ligne. Ce courant, en arrivant au poste correspondant, agit sur un papier électro-chimique, enroulé sur un cylindre semblable et y laisse des traces qui correspondent aux traits marqués sur le papier au départ, les mouvements des deux cylindres étant synchroniques.

Typo-télégraphes. — Dans les appareils précédents, il y a toujours une perte de temps due à ce que les caractères de l'écriture ordinaire n'ayant pas des dimensions uniformes, on est obligé de faire parcourir au style un espace plus grand que celui du corps de l'écriture. M. Bonelli a eu l'idée de former les dépêches au moyen de types romains qui peuvent être transmis par cinq passages du style et, afin de simplifier l'appareil en évitant la nécessité du synchronisme, il employait cinq fils distincts reliés au départ et à l'arrivée à cinq styles juxtaposés en forme de peigne.

M. Edison a exposé un appareil du même genre, dans lequel les types au moyen desquels on compose la dépêche au départ sont remplacés par une bande de papier que l'on perfore à l'avance suivant cinq lignes parallèles. La perforation s'effectue au moyen d'un appareil spécial à clavier, sur les touches duquel il suffit d'appuyer pour produire sur la bande des trous disposés de manière à représenter les diverses lettres de l'alphabet. On obtient avec ces appareils une vitesse de transmission prodigieuse, qui peut atteindre, dit-on, jusqu'à 2,000 mots par minute, mais sur des lignes de faible longueur.

Enfin, M. Passaquay (France) présentait un système de transmission électro-autographique rapide de M. André dans lequel les fils de ligne, au nombre de 150, forment la chaîne d'un tissu dont la trame est en chanvre; d'après l'inventeur, ce tissu pourrait être enroulé de façon à être enfermé dans un tube d'environ 4 centimètres de diamètre. Chacun des conducteurs aboutit, à chaque extrémité de la ligne, à un style spécial; l'ensemble des styles forme un peigne qu'on promène, au départ, sur une feuille métallique portant la dépêche, et à l'arrivée sur une feuille de papier préparée. On comprend le rendement considérable que pourrait donner un pareil

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

système, mais il est difficile d'admettre qu'on puisse juxtaposer économiquement dans de bonnes conditions un aussi grand nombre de conducteurs et, dans tous les cas, il serait sans doute préférable de les utiliser autrement.

Appareils à transmission multiple.

Afin de tirer parti de tout le travail que peut fournir un fil sans avoir recours à la manipulation automatique, et par suite à la composition préalable, M. Rouvier, le premier, a eu l'idée de mettre la ligne successivement en communication avec plusieurs appareils de manière à donner le temps de préparer à la main, à l'avance, le signal à envoyer; ce système permet, en outre, sans rien changer au mode de transmission, de n'utiliser qu'une partie du rendement que peut donner un conducteur quand le travail est peu considérable. Le problème a été résolu pratiquement par MM. Meyer et Baudot. Le passage du fil de ligne d'un appareil à l'autre aux deux stations s'effectue au moyen de deux disques pareils nommés distributeurs, devant chacun desquels tourne une aiguille munie de frotteurs, en relation avec le fil de la ligne; ces disques sont divisés en autant de secteurs qu'on veut avoir de transmissions (quatre ou six).

Appareil multiple de M. Meyer. — Dans l'appareil de M. Meyer, qui est employé sur un certain nombre de grandes lignes, chacun des secteurs du distributeur est divisé en douze parties métalliques isolées les unes des autres : la première correspond à un point, l'ensemble des deux premières à un trait, la troisième a pour fonction de séparer les éléments d'une même lettre et de décharger le fil, soit par une communication avec la terre, soit par l'envoi d'un courant contraire à celui de la transmission. Cette disposition répétée dans toute l'étendue de chaque secteur donne le moyen de former quatre signaux élémentaires, points ou traits. A cet effet, les huit divisions qui correspondent à des signes sont en relation avec la pile par l'intermédiaire de huit leviers qui envoient le courant lorsqu'ils sont abaissés; à l'état normal, ils sont soulevés par des ressorts et établissent une communication entre les lames du distributeur et la terre.

Les leviers sont mis en mouvement par des touches alternativement noires et blanches. L'abaissement d'une touche noire met la division du secteur, qui lui correspond au distributeur, en communication avec la pile et produit un point; l'abaissement d'une touche blanche met en même

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

temps en relation avec la pile la division qui lui correspond et la précédente, et produit un trait. Il suffit donc pour transmettre une lettre d'appuyer sur un certain nombre de touches de façon à former les signes élémentaires qui la constituent et de maintenir ces touches abaissées jusqu'au moment où l'aiguille du distributeur a parcouru le secteur correspondant; ce moment est indiqué par un petit marteau qui frappe sur un timbre.

Les récepteurs se composent de cylindres qui sont animés du même mouvement de rotation que l'aiguille du distributeur et dont chacun porte en saillie, dans le sens longitudinal, une hélice imprégnée d'encre occupant un quart ou un sixième de la circonférence, suivant le nombre des appareils desservis; tous ces cylindres sont montés sur un même axe.

Une large bande de papier est pressée contre l'hélice lorsqu'un courant est envoyé ou reçu; mais l'effet n'est pas direct, il a lieu par l'intermédiaire d'un relais polarisé, qui ferme, quand il fonctionne, un circuit local à travers un second électro-aimant, ayant pour fonction de soulever le papier. La bande, sur laquelle tous les signaux d'une même letire sont marqués sur une ligne normale au mouvement, avance un peu après chaque révolution du cylindre.

Au lieu d'un relais unique destiné à recevoir en même temps les courants transmis et les courants reçus, courants qui n'ont pas, en général, la même intensité, M. Meyer a été amené à en employer deux; l'un se trouve situé entre les manipulateurs et la pile pour l'enregistrement des signaux envoyés, et l'autre entre les mêmes manipulateurs et la terre pour celui des signaux reçus.

En outre, afin d'éviter le soulèvement inutile de la bande des récepteurs qui ne sont pas en relation avec le secteur parcouru par l'aiguille du distributeur et ne peuvent recevoir aucun signal, puisque le papier ne se trouve pas en regard de l'hélice imprégnée d'encre, M. Meyer a ajouté à l'aiguille un second frotteur qui, en passant sur des pièces de contact, a pour effet d'établir la communication entre les relais et le récepteur qui doit seul fonctionner.

Le mouvement est régularisé par un pendule conique, dont on règle la longueur par la condition que tous les signes émis par la première touche de l'un des claviers se reproduisent sur la bande à une égale distance du bord. Cette condition ne peut être remplie d'une façon absolue, et pour éviter que les écarts puissent s'accumuler, une disposition particulière règle le synchronisme à chaque tour. A cet effet, un courant est émis par l'un des postes au moment du passage du frotteur sur un contact spécial du distributeur; ce courant, dit de correction, en arrivant à l'autre poste agit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur un électro-aimant qui produit, par l'intermédiaire d'une roue à rochet, l'avancement ou le retard de l'axe de l'aiguille du distributeur.

Outre un appareil à quatre transmissions qui figurait dans le pavillon de l'Administration française, l'Exposition en contenait plusieurs autres du même système présentés par M. Hardy (France) et M. Schäffler (Autriche).

On peut adapter la transmission multiple à l'échange des dépêches entre plusieurs stations desservies par un seul fil. C'est ainsi qu'elle a été installée par M. Willot sur un des conducteurs de Paris à Caen et Cherbourg. Un distributeur placé à Caen donne seul la correction à Paris et à Cherbourg. Le distributeur est à quatre secteurs, dont deux servent à la transmission Paris-Caen, le troisième à celle de Caen-Cherbourg, et enfin le quatrième à celle de Paris-Cherbourg. Ce résultat a été obtenu en modifiant convenablement le distributeur et les communications au bureau de Caen.

Appareil Meyer à récepteurs indépendants. — Dans l'appareil précédent, les différents récepteurs desservis par le même distributeur sont reliés par un axe commun, mais on comprend que ces appareils puissent être indépendants au point de vue mécanique ; il suffit que chacun d'eux soit muni d'un mécanisme d'horlogerie qui soit déclenché par un courant local envoyé un instant avant que le frotteur arrive sur le secteur correspondant à cet appareil. MM. Meyer et Granfeld ont, chacun de leur côté, réalisé cette modification. M. Granfeld, qui a donné à son appareil le nom de *Hughes perfector*, se sert, pour effectuer la distribution, d'un Hughes ordinaire, en fixant sur la roue des types une aiguille tournant devant un cadran en ébonite, divisé en quatre secteurs munis de contacts, comme le distributeur de l'appareil Meyer ; un frotteur spécial ferme en temps opportun un circuit comprenant chacun des récepteurs qui déclenchent successivement. La correction s'effectue par un contact émis sur la ligne à chaque révolution, contact qui agit sur les Hughes distributeurs dans les conditions ordinaires.

Les récepteurs comportent chacun une hélice qui commence son mouvement de rotation au moment du déclenchement, c'est-à-dire un instant avant que le frotteur principal du distributeur arrive sur le secteur correspondant. Cette hélice s'arrête après chaque révolution dont la durée est un peu plus longue que celle du passage du frotteur sur le secteur. Le papier est projeté contre cette hélice à chaque passage du courant de ligne par l'intermédiaire d'un relais et avance après chaque révo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lution de l'hélice. Cet appareil, breveté en 1874, était exposé dans la section autrichienne.

M. Meyer, de son côté, a été également conduit à décomposer le travail de la distribution ; un premier distributeur qu'il nomme diviseur n'a d'autres fonctions que de faire déclencher successivement et en temps opportun les différents appareils. Il n'est en communication avec la ligne que pendant le temps nécessaire à la correction qui s'opère comme dans son premier appareil. Chacun des récepteurs porte, sur le même axe que l'hélice qui sert à l'impression, un distributeur dont les éléments de transmission sont les mêmes que ceux d'un des secteurs du premier distributeur.

Système Willot. — La lecture des signaux de l'appareil Meyer, sur des lignes parallèles, est assez fatigante. M. Willot a eu l'idée d'employer une bande Morse, sur laquelle tous les signaux se succèdent dans les conditions ordinaires. Pour arriver à ce résultat il fallait mettre la bande en mouvement au commencement de chaque lettre ou chiffre et l'arrêter à la fin, quel que fût le nombre de signes élémentaires employés.

Au moment où le frotteur du distributeur arrive sur un secteur, il ferme un circuit local dont le courant dégage, par l'intermédiaire d'un électro-aimant spécial, le mouvement d'horlogerie entraînant la bande. L'électro-aimant qui reçoit le courant de la ligne fait mouvoir deux armatures dont une produit les signaux, tandis que la seconde, convenablement réglée, reste attirée tant que les émissions se succèdent rapidement et maintient la fermeture du circuit local jusqu'à ce que l'interruption du courant de ligne dure un certain temps, c'est-à-dire jusqu'à la fin de la transmission de chaque lettre.

Afin d'atténuer la force d'inertie des rouages, l'appareil comporte deux mouvements d'horlogerie dont l'un fonctionne constamment, et auquel le second, qui entraîne la bande, est lié seulement quand le courant passe.

Les signaux sont produits par une molette imprégnée d'encre, qui est projetée contre la bande, lorsque le courant traverse l'électro-aimant.

Appareil de M. Baudot. — Dans la transmission par l'appareil Meyer, il y a une perte de temps provenant de ce que l'on n'utilise pas toutes les combinaisons qu'il est possible d'obtenir à l'aide des touches; M. Baudot, en n'en perdant aucune, a pu réduire le nombre des touches à cinq qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fournissent trente-deux combinaisons dont une correspond à la position de repos et les autres aux différentes lettres de l'alphabet, qui s'impriment directement.

Ainsi, la troisième touche abaissée fait imprimer la lettre Y, la deuxième et la quatrième ensemble la lettre G, etc. Le distributeur est, comme dans le système Meyer, divisé en autant de secteurs que d'appareils à desservir, quatre ou six, chacun de ces secteurs ne comportant que cinq pièces de contact égales sur lesquelles passe successivement un frotteur en relation avec la ligne; au départ, les cinq contacts de chaque secteur sont reliés à cinq touches qui constituent le manipulateur, et à l'arrivée à cinq relais polarisés. En abaissant les touches suivant une combinaison quelconque, on envoie successivement le courant dans les relais qui leur correspondent, et l'on reproduit ainsi à l'arrivée la combinaison du départ. Les armatures des relais restent dans la position que le courant vient de leur donner, et cette combinaison, qui constitue un emmagasinement du signal, subsiste jusqu'au tour suivant du distributeur. On pourrait donc, en observant la position de ces armatures ou en enregistrant leurs mouvements sur une bande, interpréter le signal émis; mais ce mode de lecture ne serait pas pratique. M. Baudot a réalisé un appareil extrêmement ingénieux, qui met à profit l'emmagasinement des combinaisons de signaux pour en effectuer la traduction en caractères imprimés par l'intermédiaire d'un organe spécial qu'il a appelé *combinateur*.

Un chariot horizontal soutenu par cinq frotteurs est entraîné circulairement par un bras articulé monté sur un arbre vertical. Un ressort tend à abaisser ce chariot dont les cinq frotteurs, rangés parallèlement, glissent sur un plateau d'acier et constituent pour lui autant de points d'appui. Supposons ce plateau circulaire divisé en trente-un secteurs occupant les 4/5 de sa surface, et les chemins concentriques des cinq frotteurs creusés en divers points de leur parcours dans un ordre tel que le chariot passant successivement sur les trente-un secteurs du plateau soit soutenu constamment, mais qu'il le soit en chaque secteur par une combinaison distincte des frotteurs. De même qu'avec cinq touches de manipulateur on peut effectuer trente-une combinaisons différentes, sans compter celle de repos, on peut soutenir le chariot par trente-une combinaisons différentes des frotteurs. Ainsi en passant sur le septième secteur, le chariot est soutenu par le troisième frotteur seul, les quatre autres se trouvant à cet endroit sur des vides creusés dans le plateau; en passant sur le douzième secteur, le chariot est soutenu par les frotteurs n^{os} 2 et 4 seulement, les frotteurs 1, 3 et 5, passant à cet endroit sur des vides, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il est évident que si l'on a la possibilité de substituer des vides aux parties pleines des chemins ou voies de chacun des frotteurs, il suffit d'opérer cette substitution pour le deuxième et le quatrième frotteur, par exemple, pour que le chariot, perdant tous ses points d'appui, s'enfonce en passant sur le douzième secteur. Or cette substitution peut être faite très simplement pour chaque frotteur, au moyen d'une aiguille analogue aux aiguilles de chemins de fer, installée sur la voie parcourue par le frotteur lui-même. Cette aiguille force le frotteur à se déplacer un peu latéralement de façon à lui faire parcourir une seconde circonférence voisine de la première sur laquelle des évidements ont été pratiqués dans tous les secteurs où se trouvent des parties pleines sur la voie normale : c'est en un mot la contre-partie de celle-ci. Il suffit donc de faire mouvoir la deuxième et la quatrième aiguille pour que le deuxième et le quatrième frotteur, déviés de leur position normale par les aiguilles, s'engagent sur les voies contraires et déterminent la chute du chariot lors de son passage sur le douzième secteur.

Les cinq aiguilles sont manœuvrées par les armatures des cinq électro-aimants qui reproduisent les combinaisons effectuées avec les cinq touches au départ. Il résulte de cette disposition que chaque combinaison distincte faite avec les cinq touches du manipulateur a pour effet, à l'arrivée, de faire basculer le chariot combinateur à son passage sur le secteur du plateau correspondant à cette combinaison.

La chute du chariot dans tel ou tel secteur doit produire l'impression des lettres ; ce résultat est atteint facilement au moyen d'une roue des types liée par des roues dentées à l'axe du chariot combinateur et présentant successivement ses caractères encrés à une bande de papier au fur et à mesure que le chariot passe sur les secteurs où il devrait tomber pour les désigner. C'est ainsi que la lettre G, par exemple, se présente au-dessus du papier au moment où le chariot passe sur le douzième secteur du distributeur. Le basculement du chariot a pour effet de soulever le papier contre le caractère en regard à ce moment et par conséquent d'opérer l'impression.

Quoique la manœuvre des aiguilles des voies ne nécessite qu'un travail très faible, il y a intérêt à ne pas la confier directement aux armatures des électro-aimants récepteurs et à utiliser ceux-ci comme relais, envoyant le courant d'une pile locale dans cinq électro-aimants chargés de faire marcher ces aiguilles. Les armatures des relais sont polarisées et restent sur contact, ainsi qu'il a été dit, pendant la révolution à peu près entière du frotteur sur le distributeur; c'est seulement un instant avant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

son arrivée sur le secteur correspondant qu'un courant local, de direction contraire à celui de la ligne et émis par un contact spécial, ramène les armatures à leur position normale.

Pour transmettre, il suffit d'abaisser les touches de façon à obtenir les émissions de courant convenables pour disposer les voies de manière à réaliser le basculement du chariot en temps opportun. Prenons comme exemple la transmission de la lettre G: les touches 2 et 4 étant abaissées, des courants sont successivement émis sur la ligne par l'intermédiaire du distributeur et vont actionner les relais 2 et 4. Ceux-ci envoient un courant local aux électro-aimants aiguilleurs 2 et 4, qui déplacent leurs aiguilles. Les frotteurs 2 et 4 changent de voie à leur passage sur les aiguilles, puis le chariot tombant à son passage sur le douzième secteur détermine le soulèvement du papier et l'impression de la lettre G.

Pour chaque clavier manipulateur la transmission proprement dite s'opère pendant le passage du frotteur du distributeur sur le secteur qui correspond à ce clavier; le signal transmis est emmagasiné, traduit et imprimé par le récepteur correspondant pendant que la ligne est successivement mise en relation avec les autres secteurs, dont chacun dessert un appareil spécial. Cette succession des opérations permet ainsi à la ligne d'être utilisée pour d'autres transmissions pendant que s'opère l'impression.

Le chariot doit faire, en un temps donné, le même nombre de tours que le frotteur du distributeur, qui en est indépendant. Ce résultat s'obtient en rendant la vitesse de rotation du chariot un peu plus grande que celle du distributeur, un contact émis par ce dernier à chaque révolution agit par l'intermédiaire d'un électro-aimant sur le volant du chariot et en ralentit la vitesse.

Quant au synchronisme entre les distributeurs des deux postes correspondants, il est maintenu au moyen d'un courant émis par l'un d'eux à chaque tour et qui, par l'intermédiaire d'un électro-aimant, agit sur le mécanisme de l'autre.

Enfin, ajoutons que, pour atténuer les effets de charge, un courant est envoyé sur la ligne pendant le passage du distributeur sur tous les contacts, mais le sens de ce courant est différent suivant que les touches sont abaissées ou dans la position de repos ; les relais étant polarisés ne fonctionnent que sous l'influence des courants émis par les touches abaissées. La transmission peut être troublée par l'inégalité de charge qui résulte de deux émissions successives de courants de même sens ; M. Baudot y a remédié par une disposition spéciale du manipulateur qui intercale dans ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cas une résistance dans le circuit pendant la durée du second contact, ou produit une dérivation à la terre.

Le premier appareil de M. Baudot a été breveté en juin 1874 et a été mis à l'essai en 1875 sur un fil partant de Paris, passant par le Havre et Lisieux, revenant à Paris, et prenant terre à Versailles (550 kilomètres). En 1877, deux appareils à cinq transmissions, construits dans les ateliers de MM. Dumoulin-Froment, ont été mis en service sur la ligne de Paris à Bordeaux. Ces appareils ont figuré à l'Exposition universelle de 1878. En 1879, deux nouveaux appareils quadruples, auxquels se rapporte la description sommaire que nous venons de donner, ont été mis en service sur la ligne de Paris à Bordeaux, puis, plus tard, sur la ligne de Paris à Lyon, où ils donnent une vitesse de transmission de 40 à 50 dépêches de 20 mots par clavier et par heure.

Pendant l'Exposition M. Baudot a présenté une nouvelle disposition de forme plus simple, dans laquelle le nombre des voies suivies par les frotteurs est réduit à deux; ces voies sont disposées sur les tranches de deux disques parallèles portant des entailles convenables et montés sur l'axe de la roue des types. Les cinq frotteurs du chariot, qui n'a plus de mouvement de rotation, sont placés à la suite l'un de l'autre et appuient sur la tranche de l'un ou de l'autre des deux disques, suivant la combinaison faite par les relais. L'appareil est alors d'un volume restreint, comparable à celui d'un récepteur Morse ordinaire.

Dans les premiers appareils de M. Baudot, de 1875 et 1877, l'impression, au lieu d'être produite mécaniquement par le mouvement de bascule d'un chariot, était obtenue au moyen d'une pile locale, dont le circuit comprenait les armatures des cinq relais de ligne. A chacune de ces armatures correspondait un disque animé du même mouvement de rotation que la roue des types, et dont la tranche était entaillée ; un frotteur faisant partie du circuit local appuyait sur ce disque, et, suivant qu'il passait sur un vide ou sur un plein, il établissait la communication avec l'un ou l'autre des butoirs du relais. Le circuit local était donc fermé à ce relais, selon la position de l'armature, quand le disque présentait au frotteur un vide ou un plein. Les cinq disques étaient d'ailleurs entaillés comme les voies du nouvel appareil, et il en résultait que le circuit local n'était fermé à chaque tour qu'à un moment donné, variant suivant la combinaison faite au point de départ avec les touches du manipulateur. M. Schäffler a exposé, dans la section autrichienne, un récepteur multiple analogue;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais, au lieu de faire mouvoir l'armature entre deux butoirs, il fixe ces butoirs sur une ancre qui fait corps avec la bobine de l'électro-aimant. lequel, sous l'influence d'un fort aimant fixe, change de position suivant qu'il est ou n'est pas traversé par le courant de la ligne; quant à l'impression, elle est obtenue au moyen d'un appareil Hughes convenablement modifié.

Appareils de transmission pour les lignes sous-marines.

La transmission télégraphique est entravée sur les lignes souterraines ou sous-marines par la charge considérable que prend le conducteur pendant sa communication avec la pile, par suite de l'effet de condensation due à l'armature extérieure ; cette charge ne disparaît complètement qu'au bout d'un assez long intervalle de temps, en s'écoulant par les deux extrémités du fil en communication avec la terre, et il en résulte, lorsque les signaux se suivent trop rapidement, une confusion d'autant plus grande que les lignes sont plus longues, à laquelle on a dû chercher à remédier. On y arrive facilement sur les lignes souterraines en les fractionnant en sections de longueurs restreintes, et en plaçant en des points intermédiaires des appareils de transmission ou de translation ; mais, pour les lignes sous-marines, ce fractionnement n'est pas possible, et on a été conduit à modifier les appareils, afin d'accroître la vitesse possible de succession des signaux.

Lorsque les lignes n'ont qu'une faible longueur, ce résultat s'obtient aisément avec l'appareil Morse ordinaire, en envoyant, après chacune des émissions de courant destinées à produire un signal, un courant de sens contraire pendant un instant très court, qui produit, au moins en partie, la décharge du fil et sépare les signaux reçus. Des manipulateurs Morse exposés dans la section italienne par MM. Sommati di Mombello et Cardarelli remplissent ce but. On obtient un résultat plus complet encore en mettant les deux heurtoirs du manipulateur Morse ordinaire en relation avec deux piles différentes reliées à la terre par leurs pôles opposés ; un commutateur permet de passer de la position de transmission à celle de réception, ou bien un ressort agit latéralement sur le levier, de façon à le déplacer pour le mettre en relation avec le récepteur pendant les intervalles des transmissions, en enlevant sa communication avec les piles (Siemens).

Sur les longues lignes sous-marines, il y a un grand intérêt, au point de vue de la conservation des câbles, à faire usage de forces électro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

motrices aussi faibles que possible et à éviter l'emploi de courants prolongés ; on a donc été amené à donner à toutes les émissions une égale durée, en utilisant les deux directions du courant, en attribuant pour conserver l'alphabet Morse la valeur du point au courant positif et celle du trait au courant négatif, et à avoir des appareils d'une très grande sensibilité pouvant permettre de reconnaître la direction des courants émis par la simple variation du courant reçu, ces appareils n'ayant à remplir, autant que possible, d'autre action mécanique que celle qui est rigoureusement nécessaire à la lecture des signaux.

De plus, la transmission des signaux sur les longs câbles est souvent troublée par des courants naturels, dont l'origine n'est pas encore bien connue ; on empêche l'effet nuisible de ces courants sur les appareils, en intercalant, sur le parcours des fils de la ligne, des condensateurs dont les deux armatures sont reliées à chacun des côtés du conducteur, qui ne peut alors être parcouru par un courant permanent, et dont l'introduction, due à M. Varley, a puissamment contribué à faciliter l'exploitation des lignes sous-marines.

Tantôt un seul condensateur est disposé à l'une des extrémités du câble, tantôt on en place aux deux extrémités. Lorsqu'on transmet, on met en relation avec la pile, à l'aide du manipulateur, une des armatures du condensateur qui prend une certaine charge ; l'autre armature s'électrise en sens contraire aux dépens du fil conducteur, dans lequel il se produit un mouvement électrique qui donne lieu à un courant à travers le récepteur du poste correspondant. Quand on place à ce dernier poste un second condensateur, une de ses armatures reçoit le fluide électrique du conducteur, tandis que l'autre se charge en produisant un courant dans l'appareil récepteur. Les courants continus développés dans les câbles par le magnétisme terrestre ne peuvent alors troubler la transmission que s'ils varient brusquement d'intensité, ce qui est très rare. La transmission ne peut d'ailleurs s'effectuer avec cette disposition que par une série d'émissions de durées égales, positives et négatives.

Les procédés de transmission simultanée en sens contraire, sur lesquels nous reviendrons plus loin, peuvent d'ailleurs s'appliquer aux lignes sous-marines et permettent d'accroître notablement leur rendement.

Appareil à miroir de W. Thomson. — Cet appareil consiste en un cadre circulaire entouré par un très grand nombre de tours de fil fin, dans lequel on introduit un petit tube de cuivre ; à l'intérieur de ce tube est fixé par le haut et par le bas, au moyen d'un fil de coton, un petit miroir,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur l'envers duquel est collé un aimant de très petite dimension qu'un fort aimant maintient à l'état de repos dans un plan normal à l'axe de la bobine. Ce miroir réfléchit sur un écran placé à environ 50 centimètres l'image d'un point lumineux fixe, et fait connaître, par le déplacement à droite ou à gauche de cette image, le sens du courant qui traverse le fil du cadre en relation avec le conducteur de la ligne.

Si plusieurs courants de même sens se suivent, la déviation augmente peu à peu, mais par saccades ; les employés arrivent facilement avec un peu d'habitude à lire les dépêches ainsi transmises.

Quant au manipulateur, il est ordinairement formé, comme celui qui a été décrit à l'occasion du récepteur Morse à double style, de deux leviers sur l'un ou l'autre desquels on appuie pour envoyer le courant dans un sens ou dans l'autre.

L'appareil à miroir employé sur les câbles transatlantiques donne une vitesse courante de douze à quinze mots par minute. Il est aussi en usage sur les câbles d'une longueur moindre, tels que celui qui relie la France à l'Algérie, mais on le combine alors avec le procédé duplex (système du pont de Wheatstone) qui double le rendement.

Plusieurs constructeurs, notamment MM. Muirhead et Latimer Clark, ont exposé des galvanomètres à miroir construits dans d'excellentes conditions. Un poste complet, monté en duplex, était installé dans le pavillon français du Ministère des Postes et des Télégraphes.

Siphon-recorder. — L'appareil précédent a l'inconvénient d'occasionner une assez grande fatigue aux employés chargés de la lecture ; de plus, il ne laisse aucune trace des signaux reçus. Sir William Thomson a remédié à ces inconvénients au moyen du *siphon-recorder* adopté par plusieurs grandes compagnies, dont la sensibilité est presque aussi grande que celle du récepteur à miroir. Un de ces appareils était exposé, dans la section anglaise, par l'Eastern-Telegraph-Company. Il consiste en deux forts électro-aimants droits, dont les bobines sont parcourues par un courant local constant, de manière à développer deux pôles contraires aux extrémités en regard ; un cadre entouré d'un fil fin faisant partie du circuit de ligne est suspendu entre ces deux pôles ; à son centre se trouve en outre une pièce de fer doux fixe, qui ne nuit pas à ses mouvements et qui a pour fonction d'augmenter l'intensité du champ magnétique. Au cadre mobile est relié délicatement, par un fil de coton, un petit siphon capillaire en verre, dont l'extrémité supérieure plonge dans un bassin contenant une dissolution d'aniline bleue et dont l'autre extrémité se meut à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une très faible distance d'une bande de papier qui se déroule d'un mouvement uniforme ; ce siphon suit les oscillations du cadre sans éprouver de résistance sensible. Le poids de l'encre étant insuffisant pour produire son écoulement à travers le tube capillaire, M. Thomson l'obtient au moyen d'une petite machine électrique (*mouse mill*) mise en mouvement par un système électro-magnétique spécial et qui développe de l'électricité statique. Le bassin contenant l'encre est relié au collecteur de cette machine, et le papier, rendu conducteur par une dissolution de nitrate d'ammoniaque, est en relation avec la terre. L'entraînement du papier est produit par le système électro-magnétique.

Lorsque les lignes sous-marines desservies par cet appareil ne sont pas très longues, on supprime la machine électro-magnétique. La branche inférieure du siphon appuie sur le papier et y laisse par frottement la trace à l'encre de ses mouvements ; la bande est alors entraînée par un mouvement d'horlogerie ordinaire.

M. Ailhaud a proposé, pour obtenir l'enregistrement des signaux sans frottement, de remplacer les traces à l'encre sur le papier par une série de décharges électriques produites au moyen d'une petite bobine de Ruhmkorff ; cette idée n'a pas été réalisée.

Récepteurs électro-photographiques. — On peut aussi employer les procédés photographiques pour enregistrer les signaux lumineux du récepteur à miroir de M. Thomson en faisant dérouler à une certaine distance une bande de papier sensibilisée; les traces laissées sur cette bande sont invisibles, mais on peut les développer en la plongeant dans un bain convenable. M. Chameroy (section française) a exposé un récepteur fondé sur ce principe. Un petit aimant mobile à l'intérieur d'une bobine et actionné par un électro-aimant se déplace légèrement à chaque passage du courant ; il est prolongé par une tige légère en aluminium dont l'extrémité élargie vient, lorsque le courant passe, découvrir une ouverture donnant passage à un faisceau lumineux dont les rayons concentrés par une lentille sont projetés sur le papier sensibilisé ; chaque passage du courant, produisant le déplacement de l'obturateur, donne lieu à un signal. Les essais faits devant le jury, mais en circuit local, avec cet appareil ont parfaitement réussi.

Récepteurs radiophoniques. — Signalons encore un appareil exposé par M. Maiche (section française), dans lequel la lumière réfléchie par le mi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

roir du galvanomètre Thomson vient tomber, lorsque le courant passe, sur les ailettes d'un radiomètre auquel elle imprime un léger mouvement de rotation, mouvement qui est utilisé pour fermer le circuit d'une pile locale comprenant un récepteur. Cet appareil n'a pas encore été essayé.

Emploi de l'appareil Hughes. — L'appareil Hughes ordinaire ne peut fonctionner régulièrement sur les lignes sous-marines un peu longues, en raison de l'état variable de la charge électrique du fil pendant la transmission. M. Ailhaud s'est proposé de le modifier de façon à obtenir la décharge à peu près complète du conducteur après chaque émission de courant. Les essais commencés en 1877 ont été continués par M. Mandroux, dont les appareils ont fonctionné avec succès entre Marseille et Alger et ont été exposés dans le pavillon français du Ministère des Postes et des Télégraphes.

Le courant n'est pas envoyé directement sur le câble, qui est relié à l'une des armatures d'un condensateur, dont l'autre armature communique à un levier mis, au moment de la transmission, en relation pendant un instant avec une pile, puis ensuite avec la terre.

Une aiguille, munie d'un frotteur, est fixée à l'axe imprimeur et tourne devant un cadran divisé en secteurs ; elle est en communication avec le fil de la ligne qu'elle met successivement en relation avec les divers secteurs. Le premier de ces secteurs $\left(\frac{5}{12}\text{ de la circonférence}\right)$ est en matière isolante ; pendant que l'aiguille le parcourt, le levier auquel elle est reliée mécaniquement charge le condensateur, et le fluide électrique est envoyé sur la ligne. Le levier quitte alors le contact de pile et la face du condensateur auquel il correspond est mise en relation avec la terre en même temps que l'autre face, reliée au câble et à l'aiguille, est mise par cette dernière, quand elle parcourt les autres secteurs, en communication avec la terre par l'intermédiaire d'une résistance, puis ensuite directement et enfin par un galvanomètre sensible qui sert à s'assurer que la décharge est complète.

Au poste correspondant, le courant arrive dans un relais très sensible (système Mandroux) qui fait déclencher l'appareil Hughes, dont l'axe imprimeur porte aussi une aiguille reliée au câble et qui parcourt également un distributeur. L'aiguille est isolée au moment du déclenchement, puis elle passe sur divers secteurs en communication successivement avec la terre, avec une pile qui envoie un courant de décharge, et enfin avec la terre. On règle les résistances accessoires et les piles jusqu'à ce qu'on se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soit assuré que la décharge du câble est complète après chaque émission, ce qui peut être assez facilement obtenu.

Transmission simultanée de plusieurs dépêches par un même fil.

M. Gintl a le premier fait connaître, en 1853, la possibilité de transmettre simultanément deux dépêches en sens contraire par le même fil (*duplex*) ; la réalisation de ce mode de transmission est si simple que le problème a été résolu de plusieurs manières différentes aussitôt qu'il a été posé.

Quant à la transmission simultanée de deux dépêches dans le même sens (*diplex* ou *biplex*) elle a été essayée pour la première fois, en 1855, par M. Stark, et a été également obtenue par diverses méthodes. Les deux systèmes combinés donnent la possibilité d'échanger simultanément entre deux bureaux quatre dépêches (*quadruplex*). Enfin plus récemment M. Elisha Gray a réussi à transmettre en même temps plusieurs dépêches par un seul conducteur au moyen de diapasons vibrants (*système harmonique*).

Ces divers procédés de transmission étaient représentés à l'Exposition.

La transmission simultanée de deux dépêches en sens contraire par un même fil conducteur, transmission duplex, après avoir été essayée dans la plupart des pays de 1853 à 1855, a été généralement abandonnée jusqu'au moment où, quinze ans plus tard, le grand développement des relations télégraphiques et la nécessité de tirer tout le parti possible des fils conducteurs, surtout sur les lignes sous-marines, a conduit les administrations à faire de nouveaux essais qui ont été couronnés d'un succès complet, grâce à l'addition de condensateurs, dont l'introduction dans la pratique est due à M. Stearns.

On peut réaliser la transmission duplex par diverses méthodes applicables à tous les appareils, dont les deux principales sont appelées méthode différentielle et méthode du pont de Wheatstone.

Méthode différentielle. — Le récepteur de chacun des postes, devant marcher sous l'influence du courant reçu dans quelque position que se trouve le manipulateur, est placé entre la ligne et ce manipulateur qui a pour fonction d'établir alternativement la communication avec la pile et avec la terre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De plus, le récepteur ne doit pas fonctionner lorsque le courant émane du poste auquel il se trouve ; on remplit aisément cette condition en formant la bobine de l'électro-aimant de deux fils distincts enroulés en sens contraire, et qui sont tous les deux en relation, d'un côté, avec le manipulateur, tandis que, de l'autre, un des fils est relié à la terre par l'intermédiaire d'une résistance convenable dite *résistance artificielle* et le second à la ligne. Ordinairement les deux fils ainsi enroulés sont identiques ; chacun d'eux constitue une des bobines de l'électro-aimant, et le même récepteur peut servir à la transmission ordinaire ou à la transmission duplex.

Supposons que l'un des postes envoie seul le courant : le fluide électrique traversera en sens contraire les deux bobines du récepteur au départ ; une partie ira sur la ligne et l'autre à la terre par la résistance artificielle ; le récepteur restera au repos si les deux courants sont égaux, ce qu'on réalise, en rendant la résistance artificielle équivalente à celle des conducteurs qui forment l'autre circuit (ligne et récepteur de l'autre poste). Cette condition se remplit facilement par l'expérience en faisant varier la résistance artificielle de façon que l'appareil n'accuse aucun signal pendant qu'on transmet.

Si le courant vient du poste correspondant, il traverse une seule des bobines et se rend directement à la terre par le manipulateur sans passer par la seconde bobine, en raison de sa grande résistance par rapport à celle du sol.

Enfin supposons que les deux correspondants envoient ensemble le courant. On peut considérer chacune des piles comme agissant isolément, et l'effet résultant sur les électro-aimants comme égal à la somme des actions dues à chacune de ces piles. Or, chaque récepteur est insensible au courant qui part du poste où il se trouve et fonctionne sous l'influence de celui qui est émis par le correspondant ; celui-ci produit donc le même effet que dans le cas où il est seul envoyé. En somme, si les courants se détruisent sur la ligne, l'aimantation de l'électro-aimant est due au courant local qui traverse la seconde bobine.

Le courant reçu par chacun des postes se rend donc à la terre soit directement, soit en passant par la pile, et il peut en résulter une différence d'effet tenant à la résistance qu'offrent les liquides de cette dernière ; on peut y remédier en intercalant une résistance égale sur le parcours du fil qui va directement du manipulateur à la terre.

Lorsqu'à l'un des postes on passe de la position d'émission à celle de réception, le circuit se trouve rompu pendant un instant au manipulateur, mais il se complète par la seconde bobine de l'électro-aimant ; la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

force magnétique développée par le courant du correspondant ne change pas, car si le nombre des tours parcourus par ce courant est double, son intensité est réduite de moitié par suite de l'augmentation de résistance.

Il n'en serait pas de même si les nombres de tours formés par les deux circuits sur l'électro-aimant n'étaient pas égaux, et, dans ce cas, il serait nécessaire d'éviter, pendant la transmission, l'isolement au manipulateur ; ce résultat s'obtient facilement en le formant de deux leviers indépendants dont l'un, en communication avec les bobines du récepteur, appuie sur un contact en relation avec la terre, tandis que l'autre communique à la pile. En appuyant sur l'extrémité du second pour manipuler, on soulève l'extrémité opposée qui agit sur le premier levier et rompt toute relation avec le sol au moment même où s'établit la communication avec la pile. Ce genre de manipulateur est employé toutes les fois qu'il y a intérêt à éviter l'isolement du fil de la ligne.

Méthode du pont de Wheatstone. — L'appareil récepteur est placé sur la diagonale d'un parallélogramme dont deux côtés adjacents sont reliés par leur point de contact au manipulateur, tandis que les deux autres côtés sont formés, l'un par la ligne et l'appareil du poste correspondant, l'autre par une ligne artificielle en communication avec le sol, qui constitue le quatrième sommet du parallélogramme.

Quand on transmet, aucun courant ne traverse le récepteur si les produits des résistances des côtés opposés du parallélogramme sont égaux, condition facile à remplir par l'expérience en intercalant des résistances artificielles sur trois des côtés. Si au contraire le courant est envoyé par le correspondant, une partie passe par la diagonale du parallélogramme et fait fonctionner le récepteur, dont le jeu est indépendant de la position du manipulateur du poste où il est placé. Dans la pratique on rend à peu près égales la résistance de la ligne artificielle qui est en communication avec la terre et celle de la ligne réelle, et, pour les deux autres côtés du parallélogramme, on prend des résistances égales à environ un quart ou un cinquième de celle de la ligne.

La méthode du pont de Wheatstone est préférable à la méthode différentielle pour les lignes sous-marines desservies par des récepteurs très sensibles, tels que l'appareil à miroir ou le siphon-recorder de Thomson.

Emploi de condensateurs. — Tous les effets de charge et de décharge qui se manifestent sur la ligne réelle doivent être identiquement reproduits sur la ligne artificielle, pour que l'appareil récepteur reste rigoureusement au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

repos pendant les transmissions qui partent du poste où il se trouve. Ces effets sont à peu près insensibles sur les lignes aériennes dont la longueur ne dépasse pas 400 à 450 kilomètres, et il suffit, pour ces lignes, d'équilibrer les résistances ; mais il n'en est pas de même pour les lignes aériennes plus longues, et surtout pour les fils sous-marins qui prennent une charge considérable due à l'influence de l'armature extérieure.

Il faut dans ce cas ajouter à la ligne factice des condensateurs pouvant prendre des charges soudaines d'électricité statique, et qu'on combine avec des résistances de façon à reproduire autant que possible les conditions électriques de la ligne réelle.

L'addition de condensateurs sur la ligne factice a été essayée pour la première fois en 1855 par M. de Sauty dans des expériences faites entre Londres et Birmingham ; elle a été introduite de nouveau en 1868 par M. Stearns et est appliquée à tous les câbles desservis par la transmission duplex.

Afin de rendre identiques les conditions de la ligne réelle et de la ligne factice, M. Muirhead a eu l'idée de former cette dernière de bandes métalliques d'épaisseur infiniment faible, qui offrent une grande résistance électrique, en même temps qu'elles forment l'une des armatures d'un condensateur dont l'autre est reliée au sol ; il introduit en outre, entre les deux sommets du pont, auxquels aboutissent la ligne réelle et la ligne factice, et ces deux lignes, des résistances assez considérables (de 2,000 ohms environ) pour que l'appareil ne se trouve pas immédiatement en relation avec le câble et le condensateur. Cette introduction de résistances contribue à améliorer la transmission en diminuant l'effet des charges et des décharges, lorsque l'équilibre n'est pas établi d'une façon absolument rigoureuse.

La transmission sur les câbles sous-marins ayant lieu au moyen de courants de durées courtes et égales, dont on fait seulement varier la direction et les intervalles, on n'envoie pas ordinairement directement le courant sur le fil conducteur ; on fait usage de condensateurs, indépendants du condensateur principal destiné à établir l'équilibre, qu'on intercale de diverses manières dans le circuit, comme il a été dit précédemment, et dont les armatures s'électrisent en sens contraire pendant la transmission.

Sur le câble d'Aden à Bombay, par exemple, qui a une longueur de 1,827 milles marins, une résistance égale à 12,827 ohms et une capacité totale de 656 microfarads, on emploie sur diverses sections du pont des condensateurs dont la capacité varie de 1 à 3 microfarads, alors que celle du condensateur principal de la ligne factice est à peu près égale à celle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du câble entier et n'exige pas moins de 4 à 5,000 mètres carrés de surfaces métalliques.

Système Ailhaud. — M. Ailhaud s'est proposé de supprimer le condensateur de la ligne artificielle sur les lignes sous-marines, tout en conservant l'immobilité du récepteur pendant l'envoi du courant. A cet effet, il neutralise le courant qui traverse le récepteur pendant la charge de la ligne sous-marine par un courant local circulant en sens contraire dans un circuit spécial.

Le récepteur (système à miroir de Thomson) a donc la forme d'un galvanomètre différentiel dont les deux fils sont reliés d'un côté au sommet du pont d'où part la ligne artificielle, tandis que l'un des deux fils est rattaché d'autre part au sommet opposé, et l'autre à la terre par l'intermédiaire d'une résistance convenable. Mais la charge du conducteur ne durant qu'un instant très court, il importait que le courant local n'eût qu'une durée à peu près égale. Aussi son circuit n'est-il pas complet; un condensateur est intercalé avec des bobines de résistance sur son parcours, de sorte que le courant ne dure que pendant un court intervalle de temps, qu'on règle en faisant varier l'étendue du condensateur et la résistance de façon à maintenir le récepteur au repos pendant l'envoi des signaux. Un condensateur de 26 microfarads suffit à cet effet pour les câbles de Marseille à Alger, où ce système est appliqué depuis plusieurs années et donne de très bons résultats. Pour faciliter le réglage, M. Ailhaud a ajouté en outre sur l'une des branches du pont en relation avec le manipulateur une dérivation par l'intermédiaire d'un second condensateur et de bobines dont on peut faire varier la capacité et la résistance ; le condensateur a une capacité d'environ 16 microfarads.

Système Fuchs. — L'administration allemande a exposé un système duplex de M. Fuchs qui est employé avec succès sur les lignes aériennes, où il est appliqué à l'appareil Morse.

Le courant envoyé par chaque poste traverse au départ une seule des bobines du récepteur, et le ressort de rappel est tendu de façon à ce que l'armature reste en repos dans ces conditions. Au poste d'arrivée, il traverse successivement les deux bobines; l'action magnétique est double et l'armature est attirée. Les piles des deux postes sont en relation avec la terre par les pôles de noms contraires, de sorte que si les deux manipulateurs sont sur contact, l'intensité est double et les deux récepteurs marchent, bien qu'une seule des bobines soit en relation avec la ligne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cet effet s'obtient aisément en reliant une des deux bobines de chaque récepteur à la ligne d'une part et au levier du manipulateur de l'autre, et la seconde bobine à la terre et à la borne contre laquelle appuie le levier à l'état de repos. On évite le trouble dû au passage de la position de transmission à celle de réception en se servant du manipulateur dont nous avons parlé plus haut.

Système de M. Orduña. — M. Orduña y Muñoz a imaginé une disposition différente, qui figurait dans la section espagnole et a fonctionné sur une ligne de 350 kilomètres, entre Madrid et Valladolid. L'organe magnétique est formé de deux électro-aimants droits indépendants, dont l'un est polarisé par un aimant fixe, l'armature étant réglée de façon à ne pas céder à son attraction.

Les deux piles de ligne sont en relation avec le fil conducteur par leurs pôles semblables, et le circuit comprend les bobines d'électro-aimants polarisés; mais à l'état de repos aucun courant ne circule. Si, à l'un des postes, on abaisse le levier du manipulateur, on fait communiquer la ligne à la terre. Le courant du poste correspondant passe seul et, son action s'ajoutant à celle de l'aimant fixe, fait mouvoir l'armature de l'électro-aimant; le même courant a pour résultat, au poste qui transmet, d'annuler l'effet de l'aimant; mais, au même moment, un circuit local est fermé par le manipulateur, et il en résulte un courant qui traverse la seconde bobine dont l'électro-aimant remplace alors l'aimant. Si aux deux postes on abaisse simultanément les manipulateurs, aucun courant ne passe sur la ligne et chacune des armatures est attirée en même temps par l'aimant fixe et par l'électro-aimant traversé par le courant local.

Une autre disposition a été indiquée par M. Orduña y Muñoz pour les lignes très longues; elle offre une grande analogie avec celle de M. Fuchs.

Système Brasseur. — MM. Brasseur et de Jaër ont exposé, dans la section belge, ainsi qu'il a été dit précédemment, un appareil Morse dans lequel le ressort antagoniste est remplacé par un électro-aimant dont les noyaux sont polarisés par un aimant fixe, et dont les bobines font partie du circuit; par suite de cette disposition, l'armature n'est mise en mouvement que lorsque le courant a un sens convenable, et les variations d'intensité n'ont que peu d'influence sur la transmission; dans l'appareil monté en duplex le courant parcourt les bobines comme dans le système différentiel ordinaire, mais on a une très grande latitude pour le réglage des résistances

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et, de plus, le courant de décharge qui vient de la ligne n'a pas d'action nuisible, puisqu'il contribue à repousser les armatures des électro-aimants.

Système Tommasi. — M. Tommasi a imaginé un système de transmission duplex qu'il a expérimenté sur les lignes du chemin de fer d'Orléans où il a, paraît-il, fonctionné régulièrement. Le manipulateur est disposé de façon que, lorsqu'on abaisse le levier, il ferme simultanément le circuit de deux piles qui sont reliées à la terre par le même pôle. Les deux courants traversent en sens contraire le récepteur du poste de départ et s'ajoutent sur la ligne ; on rend nul l'effet local des deux courants contraires en formant la pile qui aboutit entre la ligne et le récepteur d'un nombre d'éléments double de l'autre pile, et en intercalant dans son circuit un rhéostat offrant une résistance double de celle des bobines de l'appareil. Lorsque les deux manipulateurs sont sur contact, les deux récepteurs sont actionnés. Il convient d'observer que l'intensité du courant reçu par chaque appareil doit varier avec la situation du manipulateur au même poste, et qu'il doit en résulter un trouble pour la transmission sur les longues lignes.

Transmission duplex par l'appareil Hughes. — La transmission duplex, facile à réaliser avec les appareils à signaux indépendants comme le Morse, l'appareil à miroir, et le siphon-recorder, réussit plus difficilement lorsque les intervalles des courants doivent être à peu près rigoureusement exacts, ainsi que cela a lieu pour le Hughes. On a pu cependant faire fonctionner cet appareil assez régulièrement en duplex sur des lignes aériennes entre Paris et Bruxelles, Paris et le Havre, en lui appliquant le système de déclenchement automatique de MM. Terral et Mandroux ; mais en général sur les longues lignes ou sur les lignes souterraines on n'a pu obtenir jusqu'ici de résultats satisfaisants.

M. Terral (Paul) a essayé de résoudre le problème sans rhéostat ni condensateur en modifiant l'appareil. Le récepteur et le manipulateur sont commandés par le même mouvement d'horlogerie, et l'impression au départ a lieu mécaniquement. Les bobines de l'électro-aimant comprennent deux circuits superposés, l'un à fil fin et l'autre à gros fil, ce dernier comprenant un nombre de tours beaucoup moindre que le premier. Les communications sont établies de façon que, lorsqu'on transmet, le courant parcourt, au départ, le circuit à gros fil et n'exerce pas une action suffisante pour faire fonctionner l'appareil ; à l'arrivée, le courant passe par la bobine

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à fil fin et fait mouvoir l'armature. Lorsque les deux postes transmettent ensemble, les deux courants qui sont de même sens s'ajoutent et, en traversant dans les deux postes les bobines à gros fils, y développent alors une force suffisante pour faire fonctionner les deux appareils. M. Terral annule le courant d'induction produit par le mouvement de l'armature, qui pourrait troubler la transmission, au moyen d'une seconde armature solidaire de la première; cette armature est placée au-dessous des plaques polaires de l'électro-aimant et s'en rapproche lorsque l'autre s'en éloigne ou réciproquement. Ce système n'a pas encore été essayé sur les lignes.

Appareil de démonstration de MM. Humblot et Terral. — Dans le pavillon du Ministère des Postes et des Télégraphes de France était exposé un appareil de démonstration du principe de la transmission duplex, système du pont de Wheatstone, de MM. Humblot et Terral, dans lequel les fils conducteurs sont remplacés par des tubes et le courant électrique par un courant d'air produit au moyen d'une petite machine soufflante.

Pour produire les signaux, on envoie, à l'aide d'un appareil ayant la forme d'un manipulateur ordinaire, le courant d'air dans deux tubes inclinés réunis à leur extrémité supérieure par un tube horizontal, sur le parcours duquel se trouve une lame légère en aluminium. Cette lame, maintenue verticale par un léger ressort et que le plus faible souffle fait mouvoir, est placée dans une petite chambre à parois de verre permettant d'en suivre les mouvements. Les deux tubes inclinés sont, en outre, en relation à leur sommet avec deux autres tubes, dont l'un s'ouvre d'autre part dans l'atmosphère et constitue la ligne artificielle, tandis que le second va jusqu'à l'autre poste, disposé de la même manière.

Des robinets sont intercalés sur le parcours des divers tubes pour faire varier le débit; ils remplacent les résistances. On les règle de façon que la lame d'aluminium reste en repos lorsqu'on manœuvre le manipulateur du poste où elle se trouve; elle se meut seulement lorsque le second poste transmet. Pour rendre les signaux plus visibles, MM. Terral et Humblot relient à l'un des pôles d'une pile chacune des lames d'aluminium qui, en oscillant, vient toucher un butoir, ferme un circuit local et actionne un récepteur Morse.

Transmission simultanée de deux dépêches dans le même sens. — La transmission simultanée de deux dépêches dans le même sens (diplex) repose sur les variations d'intensité qu'on peut obtenir en manœuvrant deux manipulateurs, l'un envoyant des courants de sens et de force déter-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

minés, l'autre des courants d'une autre intensité, et les deux ensemble des courants différents des deux premiers. Les deux récepteurs, ou relais, intercalés l'un et l'autre dans le circuit à la station correspondante, doivent être disposés de façon que l'un d'eux marche sous l'action du premier courant, l'autre sous l'action du second, et qu'ils fonctionnent tous les deux lorsque le troisième courant les traverse. Le problème a été résolu de diverses manières par MM. Bosscha, Siemens, Kramer, et enfin par MM. Edison, Wennman et Sieur, dont les appareils figuraient dans les expositions américaine, suédoise et française.

Dans le système Edison, chaque poste comporte deux relais dont un, polarisé, n'est actionné que par des courants positifs ayant une intensité égale ou supérieure à une intensité déterminée $+ a$; le second est un relais ordinaire réglé de façon à ne marcher que lorsqu'il est traversé par des courants au moins égaux à $3a$, positifs ou négatifs.

Au départ sont disposés deux manipulateurs et deux piles, dont une comprend deux fois plus d'éléments que l'autre. Le courant de la petite pile circule seul quand les deux manipulateurs sont au repos et envoie sur la ligne un courant négatif $- a$, qui n'agit sur aucun des relais. Si le premier des manipulateurs est abaissé seul, les deux piles s'ajoutent ; un courant $- 3a$ est envoyé et n'actionne que le relais ordinaire. Le second manipulateur, manœuvré seul, envoie le courant de la faible pile de façon à donner un courant $+ a$ qui ne fait marcher que le relais polarisé ; enfin, les deux manipulateurs abaissés ensemble envoient un courant $+ 3a$ produit par les deux piles réunies, qui agit sur les deux relais.

On peut remplir ces conditions par plusieurs dispositions : par exemple avec un manipulateur Morse ordinaire et un double manipulateur comprenant deux leviers distincts qu'on manœuvre simultanément en appuyant sur une seule poignée. Il suffit, à cet effet, de mettre la pièce de contact ordinaire de pile du premier manipulateur en relation avec le pôle positif de la grande pile, l'autre contact, *dit de repos*, avec le pôle négatif de la même pile et avec le pôle positif de la petite pile, de relier le levier à l'un des leviers du second manipulateur, dont le second levier communique au pôle négatif de la petite pile, enfin de faire communiquer le contact *dit de pile* du premier de ces deux derniers leviers et la borne *de repos* du second avec la ligne et les deux autres contacts avec la terre. On peut aisément reconnaître, en traçant ces communications sur le papier, que toutes les conditions du problème sont remplies. Il convient cependant d'observer qu'avec cette disposition élémentaire il y aurait trouble dans la transmission par suite de l'isolement des leviers pendant le passage de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

position de repos à celle d'émission ; on peut y remédier, comme on l'a vu à l'occasion de la transmission duplex, en divisant le levier du manipulateur en deux parties, dont une appuie sur un heurtoir et se soulève en rompant la communication au moment même où le second levier qu'on manœuvre à la main vient la rencontrer.

Les deux manipulateurs de M. Edison n'ont qu'un seul levier ; mais le second est disposé de façon à remplir les mêmes effets que le double manipulateur dont nous venons de parler.

Il se produit un trouble dans la transmission lorsque le courant qui traverse le relais ordinaire passe subitement de $-3a$ à $+3a$. On y remédie au moyen d'un condensateur dont la décharge, au moment de l'inversion, actionne ce relais et maintient son armature attirée jusqu'au moment du renversement du sens du courant.

La disposition exposée par M. Wennman (Suède) est la même que la précédente, la forme seule du manipulateur est un peu différente.

Système Sieur. — M. Sieur obtient la transmission duplex au moyen de courants dont les intensités sont représentées par 1, lorsque le premier manipulateur est abaissé, par 3, lorsque le second est abaissé, et enfin par 2, lorsqu'ils le sont simultanément. Il obtient ces combinaisons avec une pile unique en relation avec la terre par un de ses pôles, mais en introduisant une résistance convenable dans le premier cas et une dérivation à la terre dans le troisième. A l'arrivée, le courant traverse un électro-aimant droit agissant d'un côté par attraction sur une armature dont le ressort de rappel est réglé de façon qu'elle se meuve seulement lorsque l'intensité du courant est 2 ou 3. L'autre armature, polarisée par un aimant fixe, reste attirée par le fer doux de l'électro-aimant quand aucun courant ne circule ; elle est repoussée lorsque le courant de ligne développe un pôle de même nom correspondant aux intensités 1 et 2 ; mais si l'intensité est 3, cette armature reste attirée par suite de l'action prépondérante de l'électro-aimant qui modifie la distribution magnétique de l'aimant.

M. Sieur a aussi exposé un autre système de transmission duplex qui repose sur un principe différent. Une roue dentée, animée d'un mouvement de rotation rapide, met alternativement la ligne en communication avec deux frotteurs, dont l'un est relié à une pile positive et l'autre à une pile négative ; deux manipulateurs sont intercalés dans les circuits de ces piles et interrompent le courant quand ils sont abaissés. Les deux courants, en arrivant à l'extrémité de la ligne, parcourent le fil d'un électro-aimant qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

agit sur deux armatures polarisées en sens contraire et dont chacune vibre sous l'action de l'un des courants. Si, avec un des manipulateurs, on interrompt l'un d'eux au poste de départ, l'armature correspondante à l'autre poste s'arrête, s'éloigne de l'électro-aimant sous l'action d'un ressort de rappel, vient toucher un butoir et ferme un circuit local dont le courant fait fonctionner un récepteur. Avec deux manipulateurs placés dans le circuit de chacune des deux piles, on peut ainsi avoir deux transmissions indépendantes. Ce système fonctionne bien sur des lignes de peu d'étendue, mais il ne serait pas applicable sur des lignes un peu longues.

Transmission quadruple. — En combinant les deux systèmes de double transmission en sens contraire et de double transmission dans le même sens, on réalise la transmission quadruple, qui est en usage sur quelques lignes en Amérique et en Angleterre et a été exposée par M. Edison dans la section américaine.

Les deux méthodes employées sont celle du pont Wheatstone pour le duplex et celle d'Edison pour le diplex.

Les deux manipulateurs sont placés à chaque poste entre le sommet du pont et la terre, et les deux relais, dont l'un est polarisé et l'autre est réglé de manière à n'obéir qu'à des courants assez intenses, sont intercalés sur la diagonale. La transmission, qui s'effectue à l'aide de parleurs mis en jeu par les relais, est assez lente sur les lignes un peu longues, aussi le rendement est-il moindre que celui qui peut être obtenu avec les appareils à transmission rapide de MM. Wheatstone, Baudot et Meyer.

Appareils harmoniques de M. Elisha Gray. — M. Elisha Gray a exposé, dans la section américaine, un système de télégraphie multiple fondé sur la transmission des vibrations par l'électricité, dont le principe, indiqué en 1860 par M. l'abbé Laborde, a été appliqué par M. de Coincy à la construction d'un appareil de rappel.

Dans le système de M. Gray, le poste récepteur comprend quatre électro-aimants traversés successivement par le courant venant de la ligne et dont chacun agit sur l'extrémité d'une lame vibrante en fer, les tonalités des quatre lames étant différentes. Lorsqu'un de ces électro-aimants est parcouru par une série de courants d'intensités variables, la lame est attirée à chaque accroissement, et, en vertu de son élasticité, s'éloigne à chaque diminution ou cessation de courant ; mais ses mouvements ne peuvent acquérir une certaine amplitude que si la succession des attractions correspond aux vibrations naturelles de la lame.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au point de départ sont placées quatre autres lames qui vibrent d'une façon continue, et dont chacune a la même tonalité que celle d'une des lames du poste d'arrivée ; leur mouvement est entretenu au moyen d'électro-aimants et de piles locales, le circuit de ces dernières étant modifié par un contact à chaque oscillation. Une pile de ligne correspond à chaque lame et se trouve dans le circuit général ; mais pendant le mouvement vibratoire, une dérivation établie par un contact de la lame et d'un butoir spécial en neutralise une partie, et il en résulte sur la ligne des courants ondulatoires dont les variations correspondent aux vibrations de chacune des lames. Si, à l'aide d'un manipulateur Morse ordinaire, on interrompt le courant émis par une de ces lames, les vibrations de celle qui lui correspond au poste d'arrivée s'arrêtent.

Afin de ne pas faire varier dans de trop fortes proportions l'état électrique de la ligne, le manipulateur est disposé de façon qu'un courant constant, égal aux $\frac{2}{5}$ environ du courant principal, soit envoyé sur la ligne pendant que le manipulateur est abaissé ; et, pour obtenir un jeu parfaitement régulier du manipulateur, M. Gray se sert d'un artifice employé fréquemment, qui consiste à le faire manœuvrer par un électro-aimant et une pile locale dont on ferme le circuit au moyen d'un levier Morse ordinaire. La lecture des signaux reçus peut se faire au son, en suivant la vibration des lames ; mais, pour faciliter le travail, l'inventeur joint à son appareil des parleurs qui reproduisent distinctement les signaux transmis. A cet effet, sur l'extrémité de la lame vibrante de chaque récepteur s'appuie un petit levier recourbé, qui a reçu le nom de *cavalier* et dont les vibrations sont un peu plus lentes ; ces deux pièces servent à fermer un circuit local comprenant le parleur et une pile ; tant que la lame vibre, le contact est de trop courte durée pour actionner le parleur qui ne marche que pendant l'arrêt des vibrations.

Avec ce système, on peut réaliser quatre transmissions simultanées dans la même direction. Le circuit de la ligne étant toujours fermé, M. Gray a disposé, en outre, deux appareils ordinaires montés en duplex qui servent à échanger les communications de service ou autres, indépendamment du système harmonique. Ce système, mis à l'essai sur la ligne de New-York à Boston (320 kilomètres), donne, paraît-il, un rendement égal à peu près à celui de quatre appareils Morse ordinaires.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Relais et appareils de translation.

Relais. — Les relais ont pour objet de suppléer à la faiblesse du courant sur les longues lignes, lorsque les récepteurs nécessitent une certaine force magnétique pour fonctionner. Leur seul rôle consiste à fermer le circuit d'une pile spéciale placée au poste d'arrivée, pile locale, dont on peut à volonté régler la puissance, et dont le courant traverse les bobines de l'appareil à signaux. Les relais ordinaires comprennent simplement un électro-aimant intercalé dans le circuit du courant de la ligne et une armature dont le jeu est limité par deux butoirs. L'armature est en communication avec l'un des pôles de la pile locale, et à chaque passage du courant vient toucher un des butoirs relié à l'autre pôle par l'intermédiaire du récepteur.

Les appareils habituellement employés ont été rendus si sensibles qu'on a pu supprimer, en général, les relais dont on faisait usage au début de la télégraphie. On les emploie cependant encore dans quelques pays, et dans des cas spéciaux, notamment pour la *translation* sur les longues lignes, en les accouplant dans des postes intermédiaires.

Dans le relais élémentaire dont il vient d'être question, la tension du ressort de rappel doit varier suivant l'intensité du courant reçu, et, par conséquent, suivant l'état de la ligne ; de plus, la rapidité des mouvements de l'armature est limitée par sa masse, par l'amplitude de la course qu'elle doit effectuer, par le magnétisme rémanent du fer doux de l'électro-aimant, par la tension très faible qu'on est obligé de donner au ressort de rappel lorsque le courant n'a qu'une faible intensité, et enfin par la charge électrique de la ligne qui prolonge toujours la durée du courant en même temps qu'elle donne lieu, au poste qui transmet, à un courant de retour qui trouble souvent la marche des appareils.

Ajoutons encore que le relais simple, tel qu'il vient d'être décrit, fonctionne toujours de la même manière, quel que soit le sens du courant reçu et ne peut servir avec les appareils qui comportent des changements dans sa direction.

On a donc été conduit à chercher des dispositions permettant de réaliser plus complètement toutes les conditions d'une transmission rapide et pouvant satisfaire à toutes les exigences du service télégraphique. On est arrivé à un assez grand nombre de solutions, dont nous allons indiquer les principales.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le relais de M. Hipp (Suisse), l'armature formée d'une petite lame de fer doux est sollicitée par deux ressorts tendus qui agissent en sens contraire, qu'on règle de façon à la maintenir, à l'état de repos, à une distance extrêmement faible de l'électro-aimant. Le plus léger courant suffit pour faire mouvoir cette armature et fermer le circuit local ; mais aussitôt qu'il cesse, elle revient rapidement au repos sous l'action des ressorts qui agissent à la façon d'une corde tendue qu'on fait vibrer longitudinalement.

M. Sambourg (France) s'est proposé d'éviter, par une disposition spéciale, le réglage du ressort de rappel à chaque variation du courant reçu.

Supposons que l'on place une armature de fer doux entre deux électro-aimants ordinaires à égale distance des pôles de chacun d'eux, et que ces deux électro-aimants soient semblables, le courant de ligne qui les traverse successivement développera deux forces égales qui agiront sur l'armature en sens contraire et s'annuleront. Mais si l'un des deux électro-aimants est polarisé, soit au moyen d'une hélice parcourue par un courant local, soit au moyen d'un aimant fixe, en sens contraire de la polarisation produite par le courant du correspondant, l'armature sera sollicitée du côté de l'électro-aimant polarisé tant que le courant de ligne ne passera pas, et, au contraire, elle sera attirée du côté opposé lorsque le courant traversera les bobines. De plus, quelle que soit l'intensité du courant, pourvu, cependant, qu'il développe dans chaque électro-aimant une force au moins égale à celle qui est produite par la polarisation permanente, la force d'attraction qui tend à faire mouvoir l'armature sera constante.

En effet, si nous représentons par A la force d'attraction exercée par l'électro-aimant polarisé, quand aucun courant de ligne ne le traverse, et par B la force développée dans chacun des électro-aimants par le courant venant de la ligne, chaque fois que ce dernier traversera les deux électro-aimants, l'armature sera sollicitée d'un côté par une force égale à B—A, et, de l'autre côté, par une force B. La résultante $B - (B - A) = A$ sera constante.

Cette disposition, imaginée par M. Sambourg en 1858, sans donner dans son application des résultats aussi absolus que l'indique la théorie, procure cependant une grande marge de réglage des ressorts de rappel ; elle a été adoptée par MM. de Jaër et Brasseur dans leur système de transmission duplex.

Lorsque la transmission exige des courants de sens différents et se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

succédant irrégulièrement, ce qui a lieu, par exemple, pour l'appareil Morse à deux styles, on peut employer deux relais à armatures aimantées, dits relais polarisés, placés ensemble dans le circuit de façon que l'une ou l'autre des armatures soit attirée suivant le sens du courant, tandis que l'autre, repoussée, est maintenue au repos par le butoir qui limite sa course.

Si les signaux doivent changer de sens à chaque émission, on se contente d'un seul relais dont l'armature aimantée, mobile entre les deux pôles d'un électro-aimant, se meut alternativement d'un côté et de l'autre, et ferme tour à tour deux circuits locaux, comprenant l'un et l'autre l'appareil à signaux, en venant toucher alternativement les deux butoirs.

Le relais polarisé de M. Siemens se compose d'un fort aimant recourbé à angle droit dont une des branches est verticale et soutient le pivot d'une armature qu'elle polarise; cette armature, formée d'une tige légère de fer doux, oscille entre les deux pôles de l'électro-aimant qui reçoit le courant de la ligne, et dont la culasse est fixée sur la branche horizontale de l'aimant, qui développe des pôles de même nom dans les deux branches. Des butoirs limitent la course de l'armature qui, en s'appuyant sur l'un d'eux, ferme un circuit local. Lorsque le courant passe, il augmente la polarité de l'une des branches et diminue celle de l'autre, l'armature est attirée par la première.

Si les deux butoirs sont placés du même côté par rapport à la ligne qui passe par l'axe de suspension et le milieu de la distance des deux pôles, l'armature, quand le courant est interrompu, est toujours attirée par la même branche de l'électro-aimant et n'oscille que lorsque le courant ayant un sens convenable affaiblit suffisamment la polarité de cette branche en augmentant celle de l'autre. L'instrument se trouve alors dans les conditions des relais ordinaires et se règle, suivant l'intensité du courant, en déplaçant les deux butoirs, qui sont placés sur un petit chariot.

Si, au contraire, les butoirs sont placés chacun d'un côté différent de la ligne médiane, l'armature reste attirée d'un côté ou de l'autre suivant le sens du dernier courant reçu; l'instrument ne peut alors être utilisé que si l'on change le sens du courant à chaque émission.

MM. Siemens ont donné diverses formes à ce relais, qui est employé par plusieurs administrations télégraphiques.

Dans le relais Allan et Brown, la disposition est analogue à celle du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

relais Siemens, mais l'armature est maintenue, à l'état de repos, à égale distance des deux pôles par un double ressort antagoniste assez fort; son jeu, qui n'est pas limité par des butoirs, dépend de l'intensité du courant, et, lorsqu'une série d'émissions successives de même sens traverse le relais, elle oscille en se rapprochant peu à peu de l'un des pôles. Le contact destiné à fermer le circuit local est donné par une pièce annexe fixée à frottement sur le pivot de l'armature, dont elle suit toutes les oscillations si faibles qu'elles soient, et qui se meut entre deux butoirs très rapprochés en se déplaçant lorsqu'il s'exerce une pression. L'angle formé par cette pièce et l'armature est donc variable et d'autant plus grand que l'attraction magnétique est plus forte.

On comprend que cette disposition rende le relais insensible aux variations d'intensité et qu'il puisse fonctionner sur les longues lignes ou sur les câbles avec des courants qui se succèdent assez rapidement pour ne donner que des variations d'intensité. Il peut également servir lorsqu'on emploie les deux sens du courant pour la transmission, chacun des butoirs étant alors en communication avec une pile spéciale et le levier mobile avec le récepteur. Il est employé avec succès sur la ligne directe de Marseille à Londres.

Le relais Stroh n'est autre que l'organe électro-magnétique de l'appareil rapide de Wheatstone; il fonctionne avec des courants de sens alternés et envoie dans le récepteur des courants dont la direction change suivant que l'armature vient toucher l'un ou l'autre des butoirs. Ce relais comprend deux électro-aimants droits parallèles dont les bobines sont parcourues par le courant de ligne et deux petites armatures, polarisées en sens contraire par un aimant permanent et fixées au même axe; ces armatures oscillent ensemble l'une entre les deux pôles supérieurs et l'autre entre les deux pôles inférieurs des deux électro-aimants, chacune étant sollicitée par un des pôles et repoussée par l'autre et les deux actions s'ajoutant. La course des armatures est limitée par une petite tige fixée sur l'axe; cette tige oscille entre deux butoirs très rapprochés et ferme les circuits locaux.

Le relais Preece, adopté par le Post-Office, est semblable au relais Stroh, mais les armatures polarisées sont séparées de l'aimant permanent; ce dernier agit seulement par influence et peut être rapproché ou éloigné suivant l'intensité du courant reçu. Cet appareil fonctionne avec une grande précision et une rapidité merveilleuse, ce qui tient surtout au soin tout particulier avec lequel il est construit, à la légèreté des armatures et à la sé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

paration des deux branches de l'électro-aimant, qui diminue le magnétisme rémanent.

Dans le relais de M. d'Arlincourt, l'armature, polarisée par un aimant fixe, oscille, non entre les extrémités des branches de l'électro-aimant, mais entre deux petites masses de fer adaptées aux noyaux entre les bobines et la culasse. Lorsque le courant passe, il développe un pôle magnétique à chacune des extrémités de l'électro-aimant en même temps qu'un pôle de nom contraire, mais un peu plus faible, sur la masse placée de l'autre côté de la bobine. Au moment où le courant de ligne est interrompu, la polarité des deux masses change instantanément de signe, ainsi qu'il a été dit à l'occasion de l'appareil imprimeur de M. d'Arlincourt, puis elle disparaît promptement. L'armature mobile est donc attirée vers une des deux masses et ferme le circuit local au moment du passage du courant de ligne dans les bobines, puis elle s'en éloigne aussitôt que le courant est interrompu, sans qu'il y ait besoin de faire intervenir un ressort de rappel. Ce mouvement s'effectue avec une telle rapidité que le relais de M. d'Arlincourt a pu être employé avec succès pour la transmission autographique.

Si le jeu de l'armature est réglé par les butoirs de façon qu'elle soit toujours plus rapprochée du côté où elle est sollicitée par le courant que de l'autre, elle s'appuiera toujours sur le butoir placé de ce côté et restera immobile tant que le courant traversera les bobines; au moment de son interruption, les polarités changeant brusquement, elle sera vivement repoussée contre l'autre butoir, mais cette action magnétique s'affaiblissant promptement, elle reviendra spontanément dans sa position première. Ce double mouvement très rapide, nommé par M. d'Arlincourt *le coup de fouet*, a été utilisé par lui comme moyen d'obtenir la décharge du fil de ligne en plaçant cet appareil au poste de départ et en faisant communiquer la ligne avec l'armature mobile, tandis que le butoir qu'elle vient toucher au moment où le courant cesse est relié à la terre.

Signalons encore, parmi les relais exposés :

Le relais de M. Hughes, employé généralement en Allemagne, formé de deux électro-aimants droits polarisés par les pôles d'un fort aimant, et d'une armature maintenue éloignée par un ressort. Ce ressort, fortement tendu, est réglé de façon que la plus faible force magnétique développée par le courant rende l'action de l'électro-aimant prépondérante et fasse mouvoir l'armature, qui oscille entre deux butoirs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le relais de M. Mandroux, dans lequel une armature polarisée par un aimant fixe oscille entre deux électro-aimants traversés par le courant de ligne, de telle sorte que l'action répulsive de l'un d'eux s'ajoute à l'action attractive de l'autre. Lorsque l'émission du courant cesse, l'armature est ramenée au repos, à égale distance des deux pôles, par un double ressort de rappel, disposé comme dans le relais de M. Hipp.

Le relais employé par M. Meyer dans son appareil multiple, consistant en un électro-aimant dont l'armature est composée de deux pièces de fer doux réunies par une plaque de cuivre et polarisées par les deux pôles d'un aimant fixe.

Le relais de M. Tommasi, destiné, en raison de sa grande sensibilité, aux lignes sous-marines, dont l'électro-aimant a une disposition spéciale. Le noyau est formé d'un rectangle vertical en fer doux dont un des grands côtés, le supérieur, présente à son milieu un espace vide dans lequel se meut une armature polarisée par un aimant fixe. Quatre bobines faisant partie du circuit de ligne sont placées sur ce noyau, deux sur la branche supérieure, deux sur la branche inférieure. Un doigt fixé sur le même axe que l'armature oscille entre deux butoirs et donne les contacts ; son axe de suspension porte en outre un petit aimant en forme de croissant disposé à la partie supérieure perpendiculairement à l'armature qu'il ramène à position normale quand le courant est interrompu. Ce relais est assez sensible pour être impressionné par le courant d'un couple voltaïque formé d'un fil de cuivre et d'un fil de zinc immergés dans de l'eau pure, auquel on fait traverser une planche de bois sec de 20 centimètres de longueur, dont la résistance est de plusieurs millions de kilomètres de fil télégraphique.

Le relais de M. Marcillac consistant en un solénoïde délicatement suspendu près des pôles d'un électro-aimant et qui oscille, en venant fermer un circuit local au moyen de pointes plongeant dans le mercure, lorsque le courant venant de la ligne le traverse en même temps que le fil de l'électro-aimant.

Relais électro-dynamique de M. Siemens. — Ce relais a été imaginé pour être utilisé sur les longues lignes sous-marines ou souterraines. Il se compose d'un fort aimant dont le champ magnétique est augmenté par une pièce de fer doux, qu'un solénoïde faisant partie du circuit de la ligne entoure sans la toucher. Ce solénoïde est suspendu à un petit levier, qui oscille entre deux butoirs. Lorsque le courant passe, s'il a un sens convenable, il fait mouvoir le solénoïde, entraîne le levier et produit un contact qui ferme un circuit local. M. Siemens emploie un aimant en fer à cheval et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

double le système; le courant venant de la ligne parcourt successivement les deux solénoïdes et, suivant sa direction, fait mouvoir l'un ou l'autre; ce jeu est utilisé pour agir sur un appareil à deux styles qui enregistre les signaux suivant deux lignes parallèles.

Les deux solénoïdes peuvent être indépendants et desservir deux lignes différentes, sur lesquelles on travaille isolément avec un seul sens du courant, ou peuvent donner la translation entre les deux postes desservis par les deux lignes.

M. Siemens a, en outre, disposé son appareil de façon à permettre l'enregistrement direct des signaux sur un cylindre enduit de noir de fumée.

Relais de M. Edison. — Dans les salles de M. Edison étaient exposés un certain nombre de relais fondés sur des principes différents de ceux de l'électro-magnétisme.

L'un d'eux, dit *motographe*, repose sur ce fait que si l'on promène un style métallique sur une surface enduite de certaines substances humides, telles que l'hydrate de potasse, le frottement, assez fort à l'état ordinaire, cesse à peu près complètement lorsqu'un courant traverse le point de contact, par suite du gaz que développe la décomposition électro-chimique. Ce relais consiste en un cylindre de chaux comprimée enduit d'hydrate de potasse et d'acétate de mercure, qui tourne d'un mouvement régulier sous l'action d'une petite machine électro-magnétique spéciale. Une pointe métallique est pressée contre ce cylindre par une pièce de caoutchouc et est reliée d'autre part à une tige verticale oscillant entre deux butoirs. Lorsque le courant venant de la ligne passe du cylindre de chaux à la pointe métallique, le frottement est à peu près nul, et la tige, sur laquelle agit un faible ressort de rappel, vient donner un contact à l'un des butoirs et ferme un circuit local; si, au contraire, le courant ne passe pas, l'adhérence entre le cylindre et la pointe est assez forte pour ramener la tige contre l'autre butoir.

Un second relais, dit *à pression*, se compose d'un électro-aimant séparé de l'armature par une couche de charbon. Ce charbon est traversé par un courant local dont l'intensité augmente par suite de la diminution de résistance de la couche de charbon lorsqu'il y a pression, c'est-à-dire chaque fois que l'armature est sollicitée par le courant de ligne qui traverse l'électro-aimant. Les variations dans l'intensité du courant local sont utilisées pour actionner un récepteur. M. Edison a d'ailleurs donné différentes formes à ce relais, dont le principe a servi de point de départ à l'invention du microphone.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin un autre relais, dit à *expansion*, se compose d'un fil ténu, d'environ 20 centimètres de longueur disposé verticalement dans un globe en verre et dont l'extrémité inférieure soutient une pièce qui complète le circuit au moyen d'un petit fil. Lorsque le courant de la ligne traverse le fil vertical, ce dernier s'allonge et la pièce inférieure, en venant toucher un butoir, ferme un circuit local qui met en jeu l'appareil récepteur. Ce relais paraît trop délicat pour pouvoir être utilisé dans la pratique.

Appareils de translation. — Lorsque la distance entre deux postes est trop grande pour qu'ils puissent correspondre directement, on installe en un ou plusieurs points intermédiaires des appareils de translation, dont le principe a été indiqué précédemment; ces appareils, en recevant le courant de l'un des côtés de la ligne, mettent l'autre côté en relation avec une pile spéciale.

On peut réaliser la translation avec tous les appareils de transmission qui comportent un électro-aimant et une armature mobile, en les accouplant deux à deux, pourvu que les butoirs entre lesquels se meut l'armature soient isolés et que les communications convenables soient établies; mais il arrive souvent que la production des signaux nuit aux contacts qui servent à la translation et l'on a été conduit, surtout pour les lignes importantes, à établir des appareils spéciaux, comprenant simplement deux électro-aimants avec leurs armatures et les communications nécessaires.

L'administration française a exposé plusieurs appareils de translation de MM. Froment, Boivin, Mouilleron et Bourbon; un appareil de translation de M. Héquet, employé avec succès sur plusieurs grandes lignes, dans lequel chaque armature établit pendant son mouvement une communication de très courte durée entre la ligne et la terre afin de faciliter la décharge du conducteur, et dont la culasse est divisée en plusieurs sections séparées par des pièces de cuivre, qui diminuent l'effet du magnétisme rémanent; enfin un appareil de M. Dutertre dont les noyaux se meuvent sous l'influence d'un aimant fixe à l'intérieur des bobines, lorsque ces dernières sont traversées par un courant de sens convenable.

Appareil de translation de M. d'Arlincourt. — Cet appareil, construit avec la collaboration de M. Cazésus, comprend deux relais de M. d'Arlincourt et, accessoirement, deux autres relais réglés de manière à opérer la décharge de la ligne par l'effet du *coup de fouet*; la marche de ces derniers est commandée par une pile locale et un parleur que traverse

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le courant envoyé au poste destinataire. Le courant venant de l'un des côtés de la ligne arrive à l'armature de l'un des relais, passe à la borne de repos, puis traverse les bobines du second relais et se rend à la terre. L'armature de ce dernier relais, en communication avec la seconde partie de la ligne, vient toucher le butoir qui la met en relation avec la pile par l'intermédiaire du parleur; l'armature de ce parleur est attirée, et ferme le circuit de la pile locale par l'intermédiaire du relais au coup de fouet, qui reste immobile. Mais lorsque le courant cesse, les armatures du relais et du parleur reviennent au repos; le circuit local est interrompu et l'effet du coup de fouet se produit. Il en résulte pendant un instant très court une communication entre la terre reliée au butoir et la ligne qui est reliée à l'armature.

Cet appareil fonctionne avec une précision et une régularité remarquables. Il est employé pour les communications entre Paris et Vienne.

Appareils de translation du Post-Office. — Avec les appareils ordinaires de translation, le courant reçu par les postes extrêmes a toujours la même direction, aussi ne peuvent-ils servir lorsque la transmission exige des courants de sens différents ainsi que cela a lieu pour le récepteur à transmission rapide de Wheatstone. Pour employer cet appareil, qui fonctionne avec des courants positifs et négatifs se succédant sans interruption sensible, on pourrait faire arriver directement le courant dans un relais polarisé tel que le relais Preece dont l'armature, en relation avec la seconde section de la ligne, viendrait toucher tour à tour deux butoirs reliés aux pôles contraires de deux piles distinctes. Mais lorsque le second poste extrême voudrait transmettre à son tour, son courant ne pourrait actionner le relais.

Il faut donc deux commutateurs pour changer les communications au poste intermédiaire et mettre en relation, suivant les besoins, l'une des lignes avec les bobines de l'un des relais et l'autre avec l'armature mobile du même relais, ou la seconde ligne en relation avec les bobines de l'autre relais et la première avec l'armature. En outre ces commutateurs doivent pouvoir être mis en jeu par chacun des postes extrêmes sans aucune intervention des employés des postes intermédiaires.

L'appareil adopté par le Post-Office remplit ces conditions. Chacun des commutateurs est formé par l'armature d'un électro-aimant; cette armature, en relation avec une des lignes, établit à l'état de repos une communication entre cette ligne et les bobines de l'un des relais polarisés, tandis que lorsqu'elle est attirée par l'électro-aimant, elle fait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

communiquer la ligne à laquelle elle est reliée avec l'armature du second relais. Chacun de ces commutateurs est actionné par une pile locale et un relais spécial intercalé dans le circuit de la ligne: les envois de courants positifs et négatifs se succédant sans interruption sensible, le circuit local reste fermé tant que dure la transmission, ou du moins ses interruptions sont trop courtes pour permettre à l'armature qui forme commutateur de se mouvoir; l'électro-aimant qui la commande est disposé d'ailleurs de façon que cette condition soit facilement remplie; il est assez gros et une dérivation du circuit local établie entre l'entrée et la sortie de la bobine donne un passage à l'extra-courant de rupture qui prolonge l'aimantation du fer doux.

C'est seulement lorsque la transmission dans une direction est terminée que tout courant cesse et que le commutateur reprend sa position normale. L'appareil est alors prêt à une nouvelle transmission émanant de l'un ou de l'autre des postes extrêmes.

Le relais spécial qui fait mouvoir le commutateur peut à la rigueur avoir une forme quelconque; celui de l'appareil du Post-Office a la forme du relais Preece, mais son armature est maintenue à égale distance des deux butoirs par un double ressort et en venant les toucher alternativement, dans le cours de la transmission, elle ferme à intervalles très rapprochés le circuit local qui circule toujours dans le même sens autour de l'électro-aimant du commutateur.

Ajoutons que le contrôle des transmissions au poste intermédiaire s'effectue au moyen d'un appareil de réception semblable à celui du poste extrême, appareil Wheatstone, relié des deux côtés à la terre à l'état ordinaire, et qui est intercalé en dérivation dans le circuit par un second commutateur mis en jeu par le gros électro-aimant en même temps que celui qui produit le changement des communications.

On peut appliquer à la translation la méthode duplex différentielle, en enroulant une double bobine sur les électro-aimants des relais. Lorsque ce mode de transmission est adopté, chacun des relais est constamment en relation avec la ligne dont il doit recevoir le courant et l'emploi d'un commutateur automatique est inutile, malgré l'inversion du sens du courant. Mais l'appareil doit être complété par des résistances artificielles et dans certains cas par des condensateurs. Pour que le contrôle des transmissions puisse avoir lieu dans les postes intermédiaires on y installe en dérivation deux appareils, dont l'un est ordinairement un relais ordinaire et l'autre un récepteur permettant de lire les signaux échangés entre les postes extrêmes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'appareil de translation du Post-Office est intercalé sur les lignes anglaises aussitôt que le rendement de l'appareil Wheatstone diminue ; il fonctionne avec une précision remarquable.

Appareil de translation de M. Jaite. — M. Gurlt, de Berlin, a exposé un appareil imaginé par M. Jaite, qui s'est proposé d'assurer la translation avec un nombre quelconque d'intermédiaires tout en conservant aux différents courants émis et reçus une durée absolument constante. Il se sert, dans ce but, d'appareils Hughes modifiés, dont l'axe d'impression fait mouvoir un commutateur qui envoie le courant au poste suivant, puis met le fil à la terre pendant un instant pour faciliter sa décharge. M. Jaite utilise pour la transmission les deux sens du courant en produisant des signaux égaux sur deux lignes parallèles, et, au lieu de faire imprimer ces signaux par une molette, il les obtient par une perforation des bandes, ce qui, suivant lui, aurait l'avantage de rendre la lecture plus facile et permettrait de faire servir les bandes perforées à une nouvelle transmission.

Appareils de rappels.

Les bureaux importants d'un réseau télégraphique sont, autant que possible, reliés entre eux soit directement, soit par l'intermédiaire de relais, et sont desservis par des appareils spéciaux à grande vitesse tels que des appareils Hughes, Wheatstone, Meyer, Baudot, etc. Lorsque le travail sur une ligne n'est pas continu, un même fil dessert ordinairement plusieurs bureaux et l'organisation du service varie suivant les pays : tantôt les deux sections du fil aboutissent à des appareils récepteurs dans chacun des postes intermédiaires, où l'on établit une communication directe pendant un intervalle de temps déterminé lorsqu'elle est demandée ; tantôt les appareils des diverses stations sont intercalés dans le même circuit et, à chacune d'elles, on peut appeler par un signal spécial un quelconque des autres bureaux, qui reçoit la dépêche sans que les employés auxquels elle n'est pas destinée aient à s'en préoccuper ; quelquefois tous les appareils intermédiaires sont placés en dérivation et le courant, en se bifurquant, arrive à chacun d'eux avec une intensité suffisante pour produire les signaux ; dans ce cas on égalise, lorsqu'il est nécessaire, les résistances des diverses dérivations au moyen de rhéostats qu'on règle convenablement ; enfin, dans quelques pays un courant permanent circule sur la ligne en traversant tous les récepteurs, et la transmission, à chacun des postes,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a lieu par des ruptures du circuit opérées avec le manipulateur (transmission à courant continu).

Les récepteurs ordinaires ne font pas en général un bruit suffisant pour appeler l'attention des employés qui ont plusieurs appareils à desservir ou d'autres fonctions à remplir et doivent d'ailleurs pouvoir être réveillés pendant la nuit. On a donc été conduit à placer dans la plupart des bureaux télégraphiques des sonneries qui puissent être mises en jeu par le courant électrique, et à chercher les moyens de transmettre isolément aux diverses stations d'une même ligne sans déranger les agents des bureaux dont le concours est inutile.

Sonneries électriques. — Dans les sonneries électriques, le marteau qui frappe le timbre est mis en mouvement soit par un mécanisme d'horlogerie, soit directement par l'armature de l'électro-aimant qui reçoit le courant de la ligne.

Dans les premières, le jeu du marteau est commandé par un excentrique dont la rotation est arrêtée par un doigt ou une tige qui bute contre l'armature de l'électro-aimant. Lorsque cette armature se meut sous l'action du courant, le rouage est libéré et le marteau vient frapper un certain nombre de coups sur le timbre, jusqu'au moment où le doigt vient de nouveau s'engager sur l'armature revenue à sa position normale, et arrête le mouvement.

Ces sonneries ont les formes les plus diverses, et l'on comprend que le courant n'ayant d'autre fonction à remplir que celle qui consiste à libérer le mécanisme d'horlogerie, on puisse obtenir des sons aussi puissants que l'on veut. Un grand nombre de ces sonneries figuraient à l'Exposition.

On emploie surtout ces sonneries lorsque les agents chargés du service télégraphique peuvent avoir à s'éloigner des bureaux, ainsi qu'il arrive dans les compagnies de chemins de fer. Si l'employé est absent, un index, mis en évidence par suite du mouvement de l'armature ou du déclenchement, lui fait connaître à son retour qu'il a été appelé.

On pourrait éviter l'emploi d'un mécanisme d'horlogerie en fixant à l'armature de l'électro-aimant un marteau qui viendrait frapper sur un timbre à chaque passage du courant, mais il faudrait un certain nombre d'émissions se succédant rapidement pour produire un son suffisant; il était naturel de faire produire les interruptions par l'appareil lui-même en intercalant dans le circuit l'armature et son butoir, et en prolongeant un peu la durée du contact par un ressort. L'armature est ordinairement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fixée à l'extrémité d'une lame élastique qui a pour but d'augmenter l'amplitude de ses mouvements; on obtient ainsi une série de coups produisant un roulement qui persiste pendant toute la durée de l'envoi du courant. Ces instruments, qui sont d'un grand usage, sont appelés *sonneries à trembleur*. Toutes les administrations et la plupart des constructeurs en ont exposé dont les dispositions varient peu.

Ordinairement une petite tige, qui sert d'indicateur, se soulève sous l'action d'un ressort au premier mouvement de l'armature et fait connaître que la sonnerie a fonctionné. Cette tige est quelquefois utilisée pour établir, en se soulevant, une communication entre la pile du poste et le fil de l'électro-aimant de la sonnerie qui fonctionne alors jusqu'à ce que l'employé vienne l'arrêter.

Lorsque plusieurs fils aboutissent à un même bureau, on peut n'employer qu'une seule sonnerie, à la condition d'avoir sur le parcours de chacun des fils un relais qui mette cette sonnerie en communication avec une pile locale, en même temps qu'il fait mouvoir un petit indicateur pour faire connaître le poste d'où provient l'appel.

Ces relais n'ayant que de petites dimensions peuvent être réunis de façon à occuper un espace beaucoup plus restreint que les sonneries; aussi sont-ils souvent en usage dans les bureaux de chemin de fer auxquels aboutissent un grand nombre de fils conducteurs. Les tableaux indicateurs d'appel des grands établissements industriels et des hôtels sont formés de relais semblables réunis sous un petit volume.

Dans l'indicateur de M. Olsen (France) le courant de la ligne en arrivant dans un relais produit la fermeture d'un circuit local; ce circuit comprend un électro-aimant qui, en attirant son armature, fait d'abord mouvoir une plaque indicatrice, puis, ensuite, fait passer le courant local dans une sonnerie, la même pour tous les fils aboutissant à un même bureau.

Rappel de deux bureaux. — En France, le réseau télégraphique est constitué de telle sorte que deux postes secondaires au plus sont placés sur un même fil aboutissant à un bureau desservi par des employés spéciaux et toujours présents. Le problème du rappel de l'un ou l'autre de ces postes a été résolu facilement au moyen d'armatures aimantées. Il suffit en effet de placer à l'un d'eux un relais disposé de façon à ne fonctionner que lorsque le courant a une direction déterminée et à l'autre un instrument semblable n'obéissant qu'aux émissions de sens contraire. Un commutateur inverseur de pile installé au bureau d'appel permet de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faire fonctionner l'un ou l'autre, suivant le sens du courant. Les appareils employés dans ce but consistent en une armature polarisée par un aimant fixe et oscillant entre les deux pôles d'un électro-aimant. Deux vis limitent la course de cette armature qui est maintenue contre l'une d'elles par un ressort, et ne vient toucher la seconde que lorsque le courant a un sens convenable ; elle ferme alors un circuit local et fait marcher la sonnerie. A chacun des postes secondaires, la pile doit être reliée à la terre, de façon que son courant n'ait pas d'action sur l'autre appareil de rappel.

Au bureau principal, on pourrait avoir deux appareils semblables afin que l'employé puisse reconnaître, lorsqu'il est lui-même appelé, le post esecondaire auquel il doit répondre et le sens du courant qu'il doit employer. M. Lorin a disposé un appareil dans lequel un seul électro-aimant agit sur deux armatures aimantées, dont l'une ou l'autre fonctionne suivant le sens du courant. M. Estienne arrive au même résultat au moyen d'un simple galvanomètre dont l'aiguille, en déviant d'un côté ou de l'autre, vient rencontrer une cheville de fer doux contre laquelle elle reste attirée ; le sens de la déviation indique le poste d'où part l'appel. Dans la pratique aucun de ces derniers instruments n'est utilisé ; on se contente d'attendre que l'appel se renouvelle pour connaître, par les premiers signaux reçus, le poste auquel on doit répondre, chaque appel commençant par la première lettre du nom du poste qui envoie le courant.

MM. Grassi et Beux (France) ont exposé un appareil de rappel qui ne comporte pas d'aimant fixe. L'électro-aimant de ligne est recourbé à angle droit et chaque pôle agit sur une armature spéciale. La première fonctionne quel que soit le sens du courant et ferme un circuit local comprenant une pile et une bobine dont le noyau forme la seconde armature. Cette dernière peut se mouvoir dans la bobine qui l'entoure et sa polarité est toujours la même ; elle n'est donc attirée que lorsque le courant de ligne développe dans l'électro-aimant une polarité convenable. Dans son mouvement, elle rompt le circuit local par suite d'une disposition semblable à celle des trembleurs et un marteau dont elle est armée vient frapper sur un timbre.

Rappels pour plusieurs postes. — Lorsque plus de deux postes sont intercalés sur un même fil, les dispositions à prendre pour pouvoir rappeler l'un quelconque d'entre eux sont plus compliquées. Le problème a été résolu de diverses manières par MM. Guez, Queval, Caël, Bizot, etc. Nous nous bornerons à indiquer le principe des appareils de MM. de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Coincy, Callaud, Rothen, Daussin, Wittwer et Wezer, et Tagaitschinoff, qui figuraient à l'Exposition.

Le système de M. de Coincy (France) repose sur la transmission par l'électricité des vibrations d'une lame élastique dont le mouvement est entretenu à chaque oscillation par un électro-aimant et une pile locale. Cette lame en venant toucher un contact fixe envoie sur la ligne une série de courants qui se suivent régulièrement et traversent dans chacun des postes un électro-aimant spécial. Une lame vibrante disposée comme celle du poste de départ est mise en mouvement par cet électro-aimant, mais ses vibrations n'acquièrent une certaine amplitude, en s'ajoutant, que si les deux lames sont d'accord ; elle ferme alors le circuit d'une pile locale qui produit l'appel.

Dans chacun des postes qu'on peut avoir à rappeler est disposée une lame dont les vibrations correspondent à une note spéciale et, au bureau d'où doivent partir les appels, une lame unique dont on fait varier la longueur d'oscillation suivant celui des postes auquel on veut transmettre.

Dans le système de M. Rothen (Suisse), le courant venant de la ligne traverse dans chaque poste un récepteur Morse ordinaire et un relais polarisé. Le récepteur Morse ferme à chaque mouvement de son levier un circuit local qui comprend l'armature et la borne de repos du relais polarisé et dont le courant, en agissant sur un troisième électro-aimant, fait tourner d'un angle déterminé un doigt dont la position est différente pour chaque bureau ; la direction du courant de ligne doit être telle que l'armature du relais polarisé reste en repos.

Lorsqu'un nombre convenable d'émissions a été envoyé, le doigt vient toucher une pièce fixe et établit une communication entre la sonnerie et la pile, mais le circuit comprend l'armature du relais polarisé et le butoir qu'elle vient toucher lorsqu'elle se meut ; pour fermer ce circuit, il faut donc, lorsque le doigt a été amené au contact de la pièce fixe, intervertir le sens du courant.

Le poste appelé répond en envoyant des courants de sens convenable pour ne pas faire marcher les relais polarisés des autres postes, et en nombre tel que les doigts des divers rappels soient ramenés à leur position normale, puis on procède à la transmission, en employant le sens du courant qui agit sur le relais polarisé de façon que tous les doigts des appareils intermédiaires restent au repos.

Le rappel de M. Callaud (France) comprend un électro-aimant dont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'armature, quand elle est attirée, déclenche une pièce qui met le fil de ligne en relation avec une sonnerie ; en revenant au repos, l'armature agit de nouveau sur cette même pièce et établit la communication directe avec la section suivante du fil. Si donc on n'envoie qu'un seul courant prolongé, la sonnerie du premier poste fonctionnera ; mais si l'on n'envoie qu'un courant de courte durée, la communication sera établie avec le second poste et la sonnerie du premier aura eu à peine le temps de tinter. Les choses se passent de même pour les autres postes. Il suffit donc pour appeler un poste quelconque, le sixième par exemple, d'envoyer cinq courants de courte durée et un sixième prolongé. Un mouvement d'horlogerie, rendu libre à chaque poste dès que l'armature a fait un mouvement, ramène au bout d'un temps déterminé (huit à dix minutes) tous les appareils dans leur position première.

Dans le rappel de M. Daussin (Belgique) une armature polarisée oscille entre deux roues dentées, actionnées par un mécanisme d'horlogerie et montées sur le même axe, qu'elle laisse avancer d'une division à chaque mouvement. A l'état de repos, cette armature occupe une position neutre entre ces deux roues qu'elle maintient dans une situation fixe à l'aide d'une goupille calée sur l'une d'elles. Quand on envoie une série de courants de sens alternés, les roues tournent d'un angle déterminé ; un doigt fixé sur leur axe, mais dont la position est différente dans chaque station, vient alors fermer un circuit local comprenant une pile et une sonnerie. Le poste appelé interrompt le courant et toutes les armatures des rappels intermédiaires reviennent à la position neutre en dégageant les roues qui achèvent rapidement leur révolution complète. Pendant la transmission, les deux postes font usage d'un courant de même direction, tel qu'il ne puisse produire le mouvement des rappels intermédiaires, qui ne peut commencer qu'avec un courant de sens déterminé.

Le système de MM. Wittwer et Wetzer (Allemagne) comprend une horloge dont une des roues, faisant une révolution par minute, sert au rappel. Au-dessous de cette roue se trouve une autre roue semblable, dont l'axe est supporté par le levier de l'armature d'un électro-aimant et qui engrène avec la première lorsque le courant passe, puis s'en sépare à chaque interruption. Chacune des roues des leviers des diverses stations porte dans une position différente une goupille qui passe en regard d'une pièce fixe ; si on rompt le circuit au moment où ces deux pièces sont en présence, elles se rencontrent et leur contact détermine le jeu d'une son-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nerie. Il suffit donc de connaître, au poste de départ, la position des diverses goupilles et de rompre le circuit au moment où celle du bureau que l'on veut appeler passe au-dessus de la pièce fixe. Une aiguille indicatrice fait connaître ces positions. Les roues dont la goupille n'est pas arrêtée par la pièce fixe sont ramenées à la position de repos par un petit contrepoids, et la sonnerie du poste appelé fonctionne jusqu'à ce que l'employé vienne dégager la roue. Les goupilles sont disposées de façon que le premier contact ne puisse avoir lieu avant huit à dix secondes, pour que pendant la transmission des dépêches, aucun poste ne soit rappelé.

Enfin dans la section russe, M. Tagaitschinoff a exposé un rappel à mouvement d'horlogerie qui n'introduit une sonnerie dans le circuit que si le courant a une certaine durée. Les courants qui suivent font marcher les sonneries de tous les postes, mais on indique le bureau que l'on veut appeler par un nombre déterminé d'émissions. Au bout d'un certain temps, les mouvements d'horlogerie rompent les communications avec les sonneries et la transmission s'effectue sans déranger de nouveau les autres postes, la durée des contacts n'étant pas suffisante pour mettre les sonneries en prise.

Ces divers appareils sont assez compliqués, aussi ne sont-ils pas adoptés d'une façon générale dans la pratique.

Instruments accessoires des bureaux télégraphiques.

En outre des sonneries et appareils de rappel dont il vient d'être question, et des paratonnerres de poste qui ont été étudiés dans un autre rapport, nous avons encore à signaler quelques instruments en usage dans les bureaux télégraphiques pour faciliter le travail, commutateurs, galvanomètres, etc.

Commutateurs. — Le commutateur le plus simple consiste en un ressort recourbé auquel aboutit un des conducteurs et qu'on fait tourner de façon à le faire appuyer sur l'une ou l'autre de plusieurs pièces métalliques en relation avec autant de fils différents.

La communication du ressort et des diverses pièces avec les conducteurs s'établit tantôt en faisant pénétrer dans un trou l'extrémité du fil, qu'on serre au moyen d'une vis, tantôt en enroulant ce fil autour d'une tige et l'y maintenant par un écrou.

Les communications obtenues par simple pression d'un ressort pou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vant laisser à désirer, on a été conduit à former les commutateurs de pièces métalliques séparées les unes des autres et qu'on réunit, suivant les besoins, au moyen de chevilles métalliques qu'on enfonce dans des trous ménagés à cet effet.

En juxtaposant un certain nombre de commutateurs simples et en établissant entre les diverses pièces les communications convenables on peut obtenir toutes les combinaisons possibles entre les fils qui y aboutissent; mais afin de simplifier les installations, on dispose ces instruments de façon que, par une manœuvre simple, ils puissent répondre aux diverses exigences du service; leur forme varie donc suivant l'usage auquel ils sont destinés. Toutes les administrations ont exposé les modèles divers dont elles font usage.

La disposition qui fournit le plus de combinaisons est celle du *commutateur suisse*, qui paraît avoir été appliquée pour la première fois en Suède (1856). Il comprend deux séries de lames parallèles, à angle droit séparées les unes des autres et percées de trous à chaque point de croisement. On fait communiquer deux à deux les lames des deux séries en enfonçant, aux points de croisement, des chevilles métalliques légèrement coniques, ou fendues à la partie inférieure pour former ressort.

Souvent on soude aux lames de l'une des séries des pièces de métal qui viennent en regard des autres lames, avec lesquelles on les met en communication au moyen des courtes chevilles. Quelquefois enfin les lames sont remplacées par des tiges de métal un peu élastiques et la communication s'obtient au moyen d'excentriques qu'on fait tourner et qui exercent une assez forte pression. Le nombre des lames parallèles de ces commutateurs ne dépasse pas ordinairement quinze ou vingt; lorsqu'on veut avoir un plus grand nombre de combinaisons on en réunit un certain nombre en carré, en reliant leurs lames deux à deux.

En Belgique, M. Brasseur a exposé un commutateur du même genre mais dont les lames, au lieu d'être continues, sont formées d'une succession de ressorts qui appuient sur des pièces fixes. A chacun des points de croisement est disposée une clef qu'il suffit de tourner pour mettre en relation deux des ressorts, qui sont en même temps écartés des points fixes. Cette disposition, imaginée en vue du service téléphonique, offre cet avantage que deux postes correspondants seulement peuvent être mis en communication.

Dans beaucoup de cas, on a simplement à faire permuter les commu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nications de quatre conducteurs de façon à faire communiquer à volonté, le premier avec le troisième et le second avec le quatrième, ou le premier avec le quatrième et le second avec le troisième; c'est ce qui a lieu par exemple lorsqu'on veut intervertir le sens du courant envoyé sur la ligne par une pile. Les premiers instruments employés pour obtenir ce résultat étaient formés de deux ressorts isolés fixés au même axe et qu'on faisait tourner de façon à les faire appuyer simultanément sur des pièces de contact. On leur a substitué des inverseurs formés de deux ressorts parallèles qui sont solidaires et qu'on fait mouvoir simultanément à l'aide d'une petite poignée.

M. Bourseul a imaginé une forme plus simple, qui a été adoptée récemment par l'administration française : son commutateur comprend quatre lames métalliques isolées les unes des autres et formant les quatre côtés d'un carré dans lequel on place, suivant l'une ou l'autre des diagonales, une cheville portant à sa base deux pièces métalliques isolées l'une de l'autre et qui établissent simultanément les contacts.

Signalons encore dans la section belge les commutateurs de M. Leduc et de M. Bartelous, spécialement destinés à l'exploitation des lignes téléphoniques, qui sont mis en mouvement à distance au moyen de deux conducteurs spéciaux. En envoyant par ces conducteurs deux séries de courants on fait tourner séparément deux roues qui portent des divisions métalliques en relation avec les divers fils de ligne, et l'on amène deux quelconques de ces divisions en relation avec deux ressorts reliés métalliquement. Lorsque la transmission est terminée, on ramène les roues à leur position initiale par l'envoi d'un courant de sens contraire. Les demandes de communication s'effectuent à l'aide d'un fil spécial en relation avec tous les fils; elles ont lieu par le téléphone, à l'aide de courants trop faibles pour agir sur les sonneries d'appel des divers postes. Ces appareils ont été imaginés pour le cas où l'on ne pourrait amener à un poste central tous les fils conducteurs d'un réseau.

Galvanomètres et boussoles. — Dans tous les bureaux télégraphiques des galvanomètres sont placés sur le trajet des conducteurs en relation avec les fils de ligne et permettent aux employés de s'assurer du passage du courant qu'ils envoient pendant la transmission. Ces galvanomètres ne peuvent servir à faire des expériences précises, mais ils suffisent pour reconnaître si le courant a une intensité à peu près normale.

Quelquefois l'aiguille aimantée de ces galvanomètres repose par une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chappe sur un pivot placé au centre du cadre qu'entoure le fil recouvert; la déviation est donnée par une tige indicatrice normale à l'aiguille, qui est ramenée dans le plan du cadre soit par le magnétisme terrestre, soit par un aimant permanent, l'instrument devant dans le premier cas être orienté, pour qu'au repos la tige indicatrice se trouve sur le zéro de la division du cadre. D'autres fois, l'aiguille se meut dans un plan vertical et l'indicateur est ramené au zéro de la division par un petit contrepoids. Quant au nombre de tours du fil sur le cadre du galvanomètre il varie de 15 à 30 et est constant pour tous les modèles adoptés par chaque administration, afin que les résultats des observations faites dans les divers bureaux d'un même réseau puissent être comparables.

Pour les expériences qu'on est conduit à faire en cas de dérangement des lignes, ou pour se rendre compte de leur état, on emploie des boussoles de sinus ou de tangentes construites avec plus de soin que les galvanomètres ordinaires.

En France on s'est servi pendant longtemps de boussoles de sinus à douze tours de fils. En Angleterre, en Belgique et en Norvège on emploie, dans ce but, des boussoles de tangentes dont des modèles étaient exposés; leur cadre circulaire comporte plusieurs fils formant des nombres différents de tours, 2, 10, 50, par exemple, qu'on introduit dans le circuit suivant le genre d'expérience qu'on veut faire, mesure de la conductibilité ou de l'isolement des conducteurs.

Pour l'étude de l'isolement des conducteurs souterrains ou sous-marins on emploie des galvanomètres spéciaux infiniment plus sensibles, dont l'aimant, de très petite dimension et suspendu, est entouré par un cadre comportant un très grand nombre de tours, et porte un petit miroir qui réfléchit sur une échelle graduée placée à deux ou trois mètres l'image d'un point lumineux. Les constantes de l'instrument et de la pile se déterminent en mesurant la déviation obtenue lorsqu'on fait traverser au fil du galvanomètre le courant produit par un nombre d'éléments connu à travers des résistances déterminées.

Sir William Thomson a augmenté la sensibilité des galvanomètres, en formant le conducteur de plusieurs fils dont la section augmente à mesure que les tours s'éloignent du centre de l'aiguille, et, sur ses indications, on a construit des instruments d'une sensibilité extraordinaire, qui ne comportent pas moins de 20 à 30,000 tours de fil recouvert et offrent une résistance d'environ 40 à 50,000 ohms.

Afin de faire servir le même instrument à des mesures d'intensité très différentes, on réunit, lorsque le courant est trop intense, les deux extré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mités du fil du galvanomètre par un conducteur dont la résistance est dans un rapport connu avec celle du fil enroulé sur la bobine (Shunt), de façon qu'une fraction déterminée du courant traverse seulement le fil qui entoure l'aiguille.

Parmi les galvanomètres et boussoles destinés au service télégraphique qu'on trouvait en très grand nombre à l'Exposition, citons les galvanomètres, pour essais de câbles, des maisons Latimer Clark et Muirhead, Elliot; des boussoles avec suspension à la Cardan pour les expériences à bord des navires; la boussole à zéro variable de M. Lagarde, le galvanomètre de M. Chatelun dont la bobine en forme de cocon enveloppe complètement l'aiguille, etc., etc.

Appareils de résistance. — Les appareils de résistance ou rhéostats, dont l'usage est si fréquent dans le service, sont ordinairement formés de bobines de fil fin étalonnées, disposées sur une planchette de bois et dont les extrémités aboutissent à des pièces métalliques qu'on réunit par des tiges de cuivre lorsque leur fil ne doit pas être traversé par le courant. Avec un jeu convenable de bobines, on peut avoir une résistance quelconque à une approximation déterminée par la bobine la moins résistante. On a par exemple des bobines dont les résistances sont entre elles comme les nombres 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100, etc., qui permettent d'obtenir toutes les combinaisons possibles, la moins résistante étant déterminée d'après le degré d'approximation qu'on veut réaliser, 1, 10, 100 ohms, etc.

On a construit des rhéostats formés de bobines dont la résistance varie dans la proportion des unités décimales, c'est-à-dire de 1 à 10 pour les unités simples, de 10 à 100 pour les dizaines, de 100 à 1,000 pour les centaines, etc. Le nombre de bobines de l'appareil est plus considérable, mais la manœuvre à faire, pour obtenir une résistance quelconque, est plus simple. Un de ces appareils, construit avec beaucoup de précision sur les indications de M. Seligmann-Lui, figurait dans l'exposition de l'École supérieure de télégraphie. Plusieurs autres, gradués suivant le même principe, étaient exposés dans la section anglaise.

Dans quelques rhéostats la manœuvre s'opère au moyen d'aiguilles que l'on fait tourner à la main et qui introduisent dans le circuit les bobines convenables pour réaliser la résistance qu'elles marquent sur des cadrans. M. Garnier, ingénieur de la marine, a exposé un appareil de ce genre. Il comprend trois cadrans, portant dans l'ordre ordinaire de la numération les dix premiers nombres, et dont les aiguilles, placées sur un chiffre quelconque, intercalent des bobines dans le circuit de façon à donner

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les résistances indiquées. Les bobines qui correspondent à chaque cadran sont au nombre de quatre; leurs résistances sont 1, 2, 2 et 5 ohms pour le premier cadran, 10, 20, 20 et 50 ohms pour le second, 100, 200, 200, 500 pour le troisième; dans chaque série chacune des bobines aboutit à deux frotteurs qui appuient sur un cylindre en matière isolante portant à l'une de ses extrémités l'aiguille indicatrice. Des bandes métalliques sont fixées dans le sens longitudinal sur ce cylindre et sont parcourues par les frotteurs ; elles sont découpées de façon à établir une communication entre les deux frotteurs correspondant aux bobines qui ne doivent pas être parcourues par le courant pour réaliser la combinaison marquée par l'aiguille. Il suffit, pour avoir une résistance quelconque, de 1 à 1,000 ohms, d'amener les trois aiguilles sur les chiffres des unités, des dizaines et des centaines qui représentent cette résistance.

Afin d'éviter les effets d'induction qui peuvent se produire dans les bobines de résistance au moment où le courant s'établit ou s'interrompt, on les forme ordinairement de deux fils semblables, réunis à l'une de leurs extrémités et enroulés en sens contraire.

Quelquefois on remplace les fils conducteurs des rhéostats par des cylindres de charbon, de graphite ou d'agglomérés spéciaux, dont la résistance peut varier, suivant leurs formes et leurs dimensions, de 1 à 100,000 ohms.

Ces cylindres sont employés d'une façon courante dans le service télégraphique par l'administration allemande, dont l'exposition en contenait une collection complète. On en trouvait également dans le pavillon français, préparés et étalonnés par M. Mareillac.

Citons enfin le rhéostat de M. Dini (France), dans lequel la résistance variable est celle d'une couche infiniment mince de platine déposée sur la surface d'une glace de façon à former une circonférence sur laquelle appuie un frotteur à manette. En faisant tourner le frotteur on introduit dans le circuit une portion de la circonférence qui correspond à une résistance connue par l'angle de rotation. Ce rhéostat, tout nouveau et très simple, permet de faire varier d'une manière continue et dans de grandes limites (de 1 à 12,000 ohms pour le modèle exposé) la résistance introduite. On platine la glace par voie sèche en la recouvrant d'un mélange de chlorure de platine et d'essence de lavande, et en la chauffant fortement.

Condensateurs. — Les condensateurs sont surtout utilisés en télégra-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

phie pour la transmission duplex sur les lignes dont la capacité électrique est considérable, les lignes sous-marines par exemple. Ils sont en général formés de feuilles minces d'étain séparées par du papier paraffiné, et qui sont alternativement reliées deux à deux. Pour s'en servir, on met les lames de rang impair en communication avec la terre et celles de rang pair avec la pile ou le conducteur: ces dernières prennent une charge électrique qui dépend de leur étendue et de la force électro-motrice de la source électrique. Pour les condensateurs étalons le papier paraffiné est remplacé par des lames de mica.

L'unité de capacité est le microfarad qui correspond à la capacité d'une longueur d'environ 4k,5 environ de fil sous-marin; elle peut être contenue dans une boîte d'environ 5 décimètres cubes. Pour avoir une capacité égale à celle d'un câble de 3,300 kilomètres, longueur approximative des câbles transatlantiques, il ne faut pas moins de 4 mètres cubes de volume des condensateurs.

Les condensateurs sont ordinairement divisés en sections de façon qu'on puisse prendre à volonté la capacité dont on a besoin, suivant l'usage auquel on les destine, ou pour les expériences qu'on peut avoir à faire.

La plupart des grandes administrations télégraphiques et des constructeurs, et en particulier MM. Latimer Clark et Muirhead, ont exposé des condensateurs de divers modèles.

Accessoires de la télégraphie. — Citons encore, parmi les expositionsi se rapportant à la télégraphie électrique, celles de MM. Barrière, Dorizon, Lapointe, comprenant des pièces détachées d'appareils, vis, serre-fils, bornes, etc, etc; de M. Redier, rouages et pignons pour les appareils Morse et Hughes; de M. Vauzelle, outils et matériel pour les lignes télégraphiques; de M. Monti, claviers pour appareils Hughes en ivoire et en celluloïd; de M. Létrange, timbres en bronze malléable; de M. Gautret, roues des types pour les appareils Hughes et Baudot, obtenues par la galvanoplastie; de M. Foxcroft (Grande-Bretagne), boîtes d'appareils; les expositions de papier-bande des maisons Canson et Montgolfier, Gravollet(France), Milschack et Cie (Allemagne), de Naeyer et Cie, Olin et fils (Belgique); les expositions d'encre oléïque bleue et noire et d'huile fine de MM. Cuypers (Allemagne), Planche (Belgique) et Mills (Pays-Bas).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Expositions diverses.

Il nous reste à mentionner quelques expositions particulières que nous avons laissées de côté.

Système de transmission de M. Maiche. — Ce système est fondé sur l'induction. Au départ se trouve une bobine d'induction comprenant deux conducteurs, l'un à fil gros et court, l'autre à fil long et fin. Le premier fait partie d'un circuit local et est traversé par un courant lorsqu'on abaisse le levier d'un manipulateur Morse; un courant induit se développe alors dans le second fil, se rend sur la ligne et arrive au poste correspondant dans le fil fin d'une bobine semblable; il en résulte dans le gros fil de cette dernière un courant induit qui fait fonctionner un relais ou un appareil récepteur. L'effet se produit malgré l'interposition dans le circuit du fil de ligne de résistances extrêmement considérables.

Schuntmeter de M. Cardarelli. — Cet instrument a pour but de donner sans calcul, par une simple manœuvre de deux règles graduées convenablement, les résultats des formules relatives aux courants dérivés, formules dont on fait un fréquent usage dans les usines de fabrication de câbles sous-marins, où les galvanomètres qu'on emploie sont munis de fils de dérivations (Schunts).

Instruments divers de M. Charles. — Le ministère des Postes et des Télégraphes a exposé un certain nombre d'instruments imaginés et construits par M. Charles, directeur des ateliers de l'Administration, décédé quelques mois avant l'ouverture de l'Exposition. Parmi ces appareils, nous citerons un galvanomètre à miroir de précision et très sensible, et une balance électro-magnétique permettant de mesurer avec une grande exactitude la force attractive d'un électro-aimant en faisant varier la distance et la position de l'armature.

Avertisseur électrique du passage des trains dans les tubes pneumatiques de M. Crespin. — Ce système consiste en une roue en caoutchouc qui déborde de quelques millimètres à l'intérieur du tube et est mise en mouvement par frottement au moment du passage du train des boîtes à dépêches. Cette roue porte, à l'extérieur, un excentrique qui soulève un ressort établissant un contact avec une autre pièce, contact qui ferme un cir-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cuit et fait marcher une sonnerie. Dès que le train a franchi le point où se trouve placé le système, le ressort, en appuyant sur l'excentrique, ramène la roue dans sa position de repos et interrompt la communication.

M. Crespin a en outre utilisé le mouvement de cette roue en caoutchouc, qui peut être placée à une certaine distance du point d'arrivée, pour agir sur une soupape dont l'ouverture engendre une contre-pression et ralentit la marche du train en temps opportun, sans aucune intervention du personnel. Ce système est appliqué à Vienne, Berlin et Munich.

Télégraphie militaire[1]

Pour les correspondances télégraphiques aux armées, on a dû créer un matériel qui, d'une part, offrît toute la solidité désirable et, d'autre part, fût peu encombrant, d'un transport facile et se prêtât à une installation rapide des lignes et des postes. Ce matériel est chargé sur des voitures spéciales aménagées en conséquence.

L'appareil Morse a été universellement adopté, c'est le plus simple et le plus portatif; les signaux sont, à l'arrivée, ou perçus au son, ou imprimés sur une bande de papier. On emploie aussi le téléphone pour les communications à petite distance.

Les piles sont construites et disposées de telle façon que sous un petit volume, elles aient néanmoins une force et une durée suffisantes et qu'en outre, elles ne soient pas susceptibles de se détériorer dans les transports.

On se sert pour l'établissement des communications soit de fils recouverts qu'on attache aux arbres ou aux maisons, qu'on enfouit en terre, ou même qu'on déroule simplement sur le sol, soit de fils nus, en fer ou en cuivre, de faible diamètre, qu'on suspend à des poteaux légers.

La France, l'Amérique, l'Autriche, la Belgique et la Suède ont envoyé à l'Exposition des spécimens des voitures et du matériel en usage dans ces pays.

Ministère de la guerre. (*France*) La France a exposé une voiture poste, un chariot et une voiture dérouleuse.

La voiture poste, montée sur quatre roues, est divisée en deux compartiments. A l'avant, est un coupé ouvert avec siège pour trois personnes;

1. Le paragraphe qui concerne la télégraphie militaire est extrait en partie d'un travail de M. Trotin, directeur ingénieur des lignes télégraphiques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à l'arrière se trouve une table de manipulation installée pour deux postes à deux fils chacun, avec une banquette en face et, vers l'avant, des placards pour serrer les divers appareils et outils.

Cette voiture contient deux appareils Morse portatifs, deux parleurs, deux sonneries, deux téléphones Siemens, trois piles, une caisse à eau, un kilomètre de câble léger sur deux bobines, tous les outils, menus objets et imprimés nécessaires pour l'installation et l'exploitation d'un poste, ainsi qu'un appareil optique de campagne qui ne figurait pas à l'Exposition.

L'appareil Morse qu'on renferme pour les transports dans une boîte spéciale de faible volume comporte, moins la pile et la sonnerie, tout ce qui entre dans la composition d'un poste, récepteur, manipulateur, galvanomètre, paratonnerre, rouet, commutateurs, etc.

Le parleur, dont les parois latérales sont en tôle, comprend un électro-aimant boiteux avec son armature et un manipulateur superposés et montés sur plaques en ébonite. Un commutateur permet de correspondre dans les conditions ordinaires ou de faire passer le courant par l'armature et la borne de repos; dans ce cas la palette vibre pendant toute la durée de chaque signal et produit ainsi un ronflement qui facilite la lecture au son (Système Gras.)

La pile contient douze éléments Leclanché renfermés dans une boîte compartimentée ; les vases extérieurs sont en ébonite et garnis d'éponges pour empêcher le liquide de se répandre.

Le câble léger se compose d'un toron de trois fils de $\frac{4}{10}$ de millimètre de diamètre dont deux en fer et un en cuivre recouverts d'un guipage de coton imprégné d'un isolant spécial et d'une tresse goudronnée ; son diamètre total est de $2^{mm},7$ et sa résistance à la traction d'environ 40 kilogrammes.

Le chariot qu'on attelle à quatre chevaux est une voiture à hautes ridelles avec siège sur le devant pour trois personnes et portière à l'arrière. Il porte, sous le siège, une cantine renfermant un appareil Morse et une pile à l'intérieur, sept bobines en tôles contenant chacune un kilomètre de câble de campagne, une bobine de deux kilomètres de fil de fer de deux millimètres de diamètre, une brouette pour le déroulement du câble dans les endroits inaccessibles au chariot, une caisse à eau, quatre coffres renfermant des isolateurs en ébonite, des crochets pour poser le câble aux murailles ou aux arbres, une pile et un parleur pour les essais de ligne ainsi que tous les instruments et outils nécessaires pour le raccordement des câbles, la pose ou la réparation des lignes ; enfin le long des ridelles sont accrochées 6 perches triples, 18 perches doubles, des échelles, lances

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à fourche, piquets de terre et divers outils de plantation et de terrassement.

Le câble de campagne est formé de sept brins de fil de cuivre de $0^{mm},4$ tordus ensemble et recouverts de gutta-percha, puis d'un ruban caoutchouté et d'une enveloppe en filin tressé enduite de goudron. Son diamètre total est de 5 millimètres, il pèse 28 kilogrammes le kilomètre et résiste à une traction de 80 kilogrammes.

Le déroulement et l'enroulement du câble se font à la main, en marchant; à cet effet deux ferrures fixées à l'arrière du chariot reçoivent un axe qu'on engage dans les bobines.

Les perches sont formées de tubes en fer creux de $2^{m},25$ à $2^{m},40$ de long avec pointe aciérée, entrant l'un dans l'autre et munis de vis de pression ; le tube supérieur est armé d'une tige destinée à recevoir l'isolateur. Les perches doubles donnent une hauteur de quatre mètres avec un diamètre de $0^{m},032$ à la partie inférieure et pèsent 6 kilogrammes; les perches triples ont une hauteur de 6 mètres avec un diamètre de $0^{m},04$ et pèsent 12 kilogrammes.

Parmi les divers outils et instruments en usage, il y a lieu de citer: le perforateur, cylindre en fer de $0^{m},90$ de long sur $0^{m},04$ de diamètre avec pointe et tête aciérées, qu'on enfonce à coups de masse en terre pour faire les trous destinés à recevoir les perches, et le commutateur de ligne, qui se compose de deux mâchoires avec barres fixées aux extrémités d'une plaque isolante et qui permet de couper un fil sans modifier le réglage et sans se servir de moufles.

La dérouleuse est une voiture montée sur deux roues avec siège à l'avant et appareil de déroulement à l'arrière; elle est employée pour les constructions dans les chemins de traverse ou sur des routes étroites occupées par des colonnes en marche.

Cette voiture contient sept bobines garnies de câble et trois vides, une pile, un parleur, une caisse à eau et des outils de plantation et de terrassement; elle peut aussi recevoir quatre perches doubles sur des ferrures disposées à cet effet.

En outre des voitures décrites ci-dessus, le Ministère de la Guerre a exposé un appareil télescopique pour télégraphie optique, du système Mangin. La source lumineuse de cet appareil est une lampe électrique alimentée par une machine Gramme que font tourner deux hommes et dont la force est d'environ dix éléments Bunsen.

Signal Office (*Amérique*). — Les États-Unis d'Amérique ont envoyé une voiture-poste, une voiture à fils et un chariot pour poteaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La voiture-poste est une sorte de tapissière montée sur quatre roues et garnie de rideaux avec siège à l'avant. Dans l'intérieur se trouvent quatre tablettes et des pliants. Sur chaque tablette est un parleur avec manipulateur sans autre appareil, les télégrammes étant toujours reçus au son.

La pile est au sulfate de cuivre. Chaque élément se compose d'un vase de plomb au fond duquel on met des cristaux de sulfate de cuivre que l'on recouvre d'une éponge, puis de copeaux de sapin; sur ces copeaux on place un disque de zinc muni d'une tige, le vase est ensuite rempli d'eau et de copeaux. Une petite planchette fixée à chaque paroi du vase empêche tout contact entre celui-ci et le disque de zinc.

La voiture à fils est semblable à la voiture poste et ne contient que du fil nu de trois millimètres en couronnes. Dans l'intérieur se trouve, à l'avant, une tablette sur laquelle on peut installer un parleur, et, à l'arrière, un système très bien combiné pour l'enroulement automatique des fils. Ce système consiste en un plateau horizontal sur lequel se trouve un dévidoir et que font mouvoir deux frotteurs cylindriques dont le mouvement est commandé par une des roues; on peut à volonté rapprocher ou éloigner les frotteurs de l'axe du plateau et, par suite, accélérer ou ralentir la vitesse d'enroulement.

Le chariot est une longue prolonge traînée par quatre chevaux. Il renferme environ 300 perches de sapin, des isolateurs et des outils de plantation et de pose de fils.

Les perches ont $5^{m},50$ de long et pèsent de 4 à 5 kilogrammes; elles sont armées au sommet d'une ferrure percée d'un trou vertical dans lequel on visse la tige d'un isolateur et d'un trou horizontal qui peut recevoir une patte en fer munie également d'un isolateur.

Les isolateurs sont en ébonite; ils sont surmontés d'un double crochet dans lequel on introduit e fil qui se trouve ainsi arrêté.

Ministère de la guerre (Autriche). — L'Exposition autrichienne comprend une voiture-poste et un chariot.

La voiture-poste montée sur quatre roues est très légère. Elle renferme à l'intérieur une banquette avec tablette en face pour l'installation d'un poste et des casiers destinés à recevoir les divers appareils, instruments, outils et imprimés nécessaires. Sous le siège à l'avant est un coffre pour les bagages.

Cette voiture porte deux appareils Morse à pointe sèche et à relais renfermés dans des boîtes à deux compartiments qui contiennent en outre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

divers accessoires, outils et objets de rechange; un parleur avec manipulateur, petite boussole et manette pour la transmission à courant continu, monté sur plaque en ébonite et renfermé dans une gaine en cuir; un galvanomètre dans un écrin et deux piles; il existe en outre sous la table de manipulation une bobine de câble léger qui peut, sans être déplacée, être enroulée ou déroulée par une ouverture pratiquée à l'arrière de la voiture. Aucune communication électrique n'est à demeure; deux fils seulement sont reliés à des bornes serre-fils placées au dehors sur des isolateurs et auxquelles aboutissent les fils de ligne.

Les piles renfermées dans des boîtes spéciales sont formées de dix petits éléments Marié-Davy, composés chacun d'un vase en ébonite divisé en deux compartiments par une plaque poreuse ; d'un côté, se trouve le sulfate de mercure, de l'autre, de la sciure de bois imbibée d'eau; le vase est fermé hermétiquement au moyen d'une rondelle en ébonite garnie de caoutchouc qui porte une plaque de charbon plongeant dans la pâte de sulfate de mercure et un bâton de zinc enfoncé dans la sciure de bois mouillée.

Le chariot est divisé sur sa hauteur en trois parties. Dans la partie supérieure se trouvent à l'avant et à l'arrière des sièges pour trois hommes avec coffres contenant les bagages et divers outils de pose de fils; entre les sièges sont quatre bobines de câble de 500 mètres chacune. Le compartiment du milieu renferme 70 perches en bambou armées d'isolateurs en ébonite. Dans la partie inférieure sont placés des échelles, lances à fourches, outils de plantation etc., et, vers l'avant, quatre bobines portant chacune un kilomètre de fil de cuivre nu d'un millimètre de diamètre. Enfin le long des parois sont accrochés le corps et les roues d'une brouette.

Les perches ont $3^{m},40$ de hauteur sur 4 à 5 centimètres de diamètre et pèsent de 1 à 2 kilogrammes ; on peut les accoupler pour obtenir plus de longueur au moyen de deux colliers doubles en fer avec vis de serrage.

Le câble est formé d'un toron de sept brins de cuivre étamé de $\frac{5}{10}$ de millimètre, recouvert de caoutchouc puis d'une toile goudronnée et d'une enveloppe extérieure en filin également goudronnée ; son diamètre total est de $6^{mm},5$. Le déroulement et l'enroulement du câble se font sur la voiture sans déplacer les bobines: on se sert toujours de la brouette pour le déroulement du fil nu.

Compagnie des télégraphistes de campagne (Belgique). — La Bel-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gique a envoyé une voiture-poste, une dérouleuse et un télégraphe d'avant-poste.

La voiture-poste qu'on attelle à six chevaux est divisée en deux compartiments avec porte de communication. Dans le coupé à l'avant sont installés deux postes complets pouvant desservir chacun deux lignes. L'arrière contient six bobines d'un kilomètre de câble, des piquets de terre en fer creux, divers outils, des torches, fusées, fanions et éventails argentés pour la télégraphie optique; près de la portière se trouvent deux montants en fer entaillés d'encoches dans lesquelles on introduit les axes des bobines pour l'enroulement et le déroulement qui se font en se tenant dans la voiture.

La dérouleuse est une sorte de camion portant trois bobines de câble de 500 mètres, une pile, un appareil, un tonnelet d'eau et quelques outils. En route, ce véhicule, après avoir été démonté, est attaché sous la voiture-poste et les bobines sont placées dans un coffre qui est sous le siège du conducteur.

L'appareil est semblable à celui employé en France.

La pile se compose de dix éléments Leclanché fermés hermétiquement par une plaque enduite de résine. Elle est renfermée dans une boîte dont le couvercle est matelassé à l'intérieur pour empêcher les éléments de remuer.

Le câble de ligne se compose de six brins de fil de fer et d'un brin de fil de cuivre étamé de $\frac{6}{10}$ de millimètre, tordus ensemble et recouverts, comme le câble autrichien, de caoutchouc, ruban et tresse goudronnée. Il résiste à une traction de 240 kilogrammes; son poids est de 70 kilogrammes le kilomètre; la bobine qui le porte pèse 10 kilogrammes.

Pour relier les câbles entre eux, on fait usage d'un joint spécial formé de deux tiges en laiton taillées en biseau avec tenon et mortaise s'emboîtant l'un dans l'autre, et soudées chacune à l'extrémité de chaque câble; ce joint est consolidé à l'aide de deux viroles à rainure qui s'engagent dans les tenons et est recouvert d'une gaine de caoutchouc.

Le télégraphe d'avant-poste construit par la maison Siemens et Halske, de Berlin, comprend:

4 havre-sacs, système Busholtz, portant chacun une bobine de câble léger et pesant $7^{k},500$;

2 appareils portatifs spéciaux;

2 piles de 12 éléments chacune;

2 téléphones Siemens.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'appareil, renfermé dans une boîte de très petit volume, est à déclenchement automatique avec timbre avertisseur et ne fonctionne qu'en courant continu.

Le câble est composé d'un fil central en cuivre recouvert de gutta-percha, puis d'une toile entourée de sept petits fils de cuivre formant conducteur de retour et enfin d'une tresse goudronnée. Une ferrure spéciale adaptée à l'extrémité des câbles ainsi qu'aux appareils et aux téléphones permet d'établir d'un seul coup les communications des deux fils, aller et retour. La pile est une pile Daniell modifiée pour être facilement transportable; les vases extérieurs sont en ébonite et renferment de la sciure de bois imbibée d'eau; les vases poreux sont terminés chacun par un tube en ébonite fermé par des bouchons en caoutchouc. Quand la boîte est fermée le couvercle s'appuie sur les bouchons et empêche la dissolution de sulfate de cuivre de se répandre.

Le matériel de télégraphie militaire belge comprend en outre une voiture de fils et un chariot de poteaux qui ne figuraient pas à l'Exposition. Ces voitures qu'on attelle à six chevaux renferment : l'une, 24 kilomètres de fil de cuivre nu de 2 millimètres sur huit bobines avec une brouette pour le déroulement semblable à celle qui est employée en France ; l'autre, 200 perches en sapin de 5 mètre de long armées d'isolateurs en ébonite et pesant en moyenne 9 kilogrammes chacune.

Génie militaire. (*Suède.*) — La Suède n'a exposé qu'un poste installé sous une tente et un chariot de fils.

L'appareil, construit avec beaucoup de soin, se rapproche des appareils français et belges; il comporte en outre une sonnerie et un commutateur à chevilles pour quatre directions fixé sur une des parois latérales de la boîte. La pile se compose de dix éléments Leclanché à vase en verre et aggloméré de charbon et de bioxyde de manganèse. Les vases sont fermés par une plaque en ébonite enduite de poix et d'asphalte et percée d'un trou fermé par un bouchon en caoutchouc. Un petit matelas en feutre fixé au couvercle de la boîte appuie sur les vases et les empêche de remuer.

Sous la tente, on voyait aussi un gros téléphone Siemens, monté sur trépied à hauteur d'homme servant à la transmission et un autre plus petit, qu'on place à l'oreille pour la réception.

L'ameublement du poste se compose de pliants, d'une table de manipulation et d'une table-bureau pouvant se démonter et formant ainsi un très petit volume.

Le chariot destiné au transport et au déroulement des fils comprend

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un avant-train et un arrière-train qui peuvent au besoin être séparés. Cette voiture est à frein automatique fonctionnant quand les chevaux retiennent.

L'avant-train se compose de coffres renfermant des isolateurs et tout l'outillage de plantation et de pose des fils. A l'arrière-train sont disposés, parallèlement à l'essieu, 4 rouleaux de fil nu de 2 kilomètres chacun et 3 rouleaux de câble de 1 kilomètre.

L'enroulement se fait automatiquement; à cet effet, une tige fixée à l'extrémité de l'axe du rouleau est munie d'un cylindre en fer garni de caoutchouc qui frotte sur la roue gauche et tourne avec elle; un levier tenu à la main permet de modifier la force de frottement.

Le câble est formé d'un toron de trois fils de cuivre étamé d'un millimètre de diamètre, isolé par deux couches de caoutchouc et recouvert extérieurement d'un ruban de feutre. Son diamètre total est de $5^{mm},5$ et son poids de 40 kilogrammes le kilomètre. Le fil nu se compose de quatre brins de fer galvanisé d'un millimètre tordus ensemble; il est très flexible et très solide en même temps. La Suède possède aussi une voiture-poste et un chariot pour poteaux qui n'ont pas été exposés.

La voiture-poste renferme tout le matériel et l'ameublement nécessaires pour l'installation de deux postes complets ainsi qu'une tente.

Le chariot contient 150 perches en sapin de $3^{m},60$ de long; chacune d'elles est armée d'une tige en fer sur laquelle on visse un isolateur en ébonite; leur poids est d'environ trois kilogrammes. Pour les traversées de routes, on se sert d'allonges qu'on accouple avec les perches à l'aide d'un collier double avec vis de pression et d'un second collier muni d'un anneau qui s'engage dans la tige de la perche. Le poids de la perche ainsi rallongée est de $4^{k},500$ et sa hauteur de cinq mètres.

Expositions particulières. — Quelques expositions particulières renfermaient certains appareils ou instruments construits en vue de la télégraphie militaire ou pouvant y trouver leur application.

M. Trouvé (France) a exposé diverses piles de très petit volume au sulfate de mercure et à papier, ainsi qu'un télégraphe d'avant-poste contenu dans un havre-sac et se composant d'un kilomètre de câble à deux conducteurs, d'une pile et enfin d'un parleur de très petite dimension, dont il a été question précédemment.

M. Mangenot (France) a également présenté un télégraphe d'avant-poste très ingénieux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le câble est à deux conducteurs, formés chacun d'un toron de deux fils de cuivre et d'un fil d'acier de $\frac{3}{10}$ de millimètre recouvert de coton paraffiné et réunis ensemble par une enveloppe enduite de brai; il pèse trois kilogrammes le kilomètre et est enroulé sur une bobine de $0^m,20$ de long.

L'appareil est un téléphone pouvant servir comme avertisseur, parleur ou téléphone ordinaire; en outre un récepteur d'une grande sensibilité permet d'enregistrer les signaux sur une bande par décomposition chimique.

M. Mangenot emploie comme générateur d'électricité soit une pile au chlorure de plomb de six éléments renfermée avec une bobine Ruhmkorff dans une giberne portant à l'extérieur un manipulateur, soit une petite machine électro-magnétique qu'on tourne d'une main en manipulant de l'autre. Les courants d'induction produisent sur le téléphone, pendant la durée de chaque signal, un ronflement perceptible à une assez grande distance.

Un poste complet avec quatre kilomètres de câble peut être porté par un seul homme.

Le système de télégraphie exposé par MM. le colonel Racagny et Guglielmini (Italie) ressemble beaucoup à celui de M. Mangenot. Le câble est le même. La bobine Ruhmkorff est placée dans la poignée du téléphone qui est en outre munie d'un manipulateur. La pile se compose de six éléments Trouvé au sulfate de mercure renfermée dans une petite boîte qu'on retourne quand on veut travailler, afin que la dissolution de sulfate tombe dans la partie du vase où se trouve le bâton de zinc. Ce système comporte aussi un récepteur électro-chimique pour l'enregistrement des signaux.

Le télégraphe d'avant-poste de MM. Siemens et Halske (Allemagne) est à peu près semblable à celui de la Belgique, qu'ils ont d'ailleurs construit. Le câble, dont le conducteur central est formé de sept fils de cuivre, est beaucoup plus gros; l'appareil, un peu plus volumineux, est également à déclenchement automatique; il peut, à l'aide d'un commutateur, être installé en courant continu ou en courant intermittent.

Citons encore parmi les expositions qui se rapportent plus ou moins directement à la télégraphie militaire : les piles Leclanché à agglomméré de M. Barbier; la pile au chlorure d'argent de M. Gaiffe; le poste

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Morse portatif à encrage automatique et réglage à noyau mobile de MM. Rault et Chassan; le parleur de M. Charles, simple bobine dont la partie centrale contient le fer doux et l'armature; celui de M. Gras qui fonctionne par un jeu de trembleur et que nous avons déjà indiqué; des appareils de poche pouvant servir aux postes intermédiaires et aux têtes de ligne, de MM. Echenique, Perez-Blancas et Piedras y Macho, fonctionnaires de l'administration espagnole; des appareils portatifs que l'on trouvait dans les expositions de presque tous les constructeurs; un modèle de charrue avec bobine de câble de M. Bourdin pour l'établissement de lignes souterraines, le câble se déroule dans la tranchée qui est ouverte par le soc de la charrue et refermée ensuite par un rouleau; enfin on voyait aussi dans la section allemande un modèle de charrue de M. Tribout destinée spécialement à la pose des câbles militaires.

E.-E. BLAVIER.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ A L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER

SOMMAIRE DU RAPPORT[1]

Première partie. — Historique.
Seconde partie. — Examen des appareils exposés.

CHAPITRE PREMIER.

PROTECTION DES TRAINS EN MARCHE.

§ I. — *Block systems ou Systèmes d'exploitation par sections ou cantonnements successifs.*

A. — *Systèmes à appareils de correspondance absolument indépendants des signaux extérieurs.*

Appareils Walker, Preece, Tyer, Spagnoletti.
Appareil Tyer-Jousselin (Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée).
Système Leblanc et Loiseau.

B. — *Systèmes dans lesquels se trouve appliqué le principe de la solidarité entre les appareils de correspondance intérieurs et les signaux à vue extérieurs.*

Système Siemens et Halske (Block system pour voie double).
Système Siemens et Halske (Block system pour voie unique).
Système Lartigue, Tesse et Prudhomme (Voie double et unique).
Système Sykes.

1. La Commission du jury chargée de cet examen se composait de : MM. Guillebot de Nerville, inspecteur général des mines, président (France); Bandérali, ingénieur chargé du service central du matériel et de la traction au chemin de fer du Nord, rapporteur (France); Sartiaux, ingénieur, sous-chef de l'exploitation au chemin de fer du Nord (France); Bontemps, ingénieur, professeur à l'École supérieure de télégraphie (France); le colonel Laussedat, directeur des études à l'École polytechnique (France); Pontzen, ingénieur civil (Autriche); Ubicini, ingénieur du service télégraphique des Chemins de fer méridionaux Italie); Johan Storck, directeur des télégraphes des Chemins de fer de l'État (Suède).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Block system Regnault pour double voie (Compagnie de l'Ouest).
Block system Regnault pour voie unique (Compagnie de l'Ouest).
Block system avec solidarité réciproque des signaux et des indicateurs, de MM. Jousselin et Havard (Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée).

C. — *Block systems à combinaisons automatiques.*

Block system Saxby et Hodgson.
Block system automatique Spagnoletti.
Appareils de block system à liaison automatique avec les signaux optiques (Direction des chemins de fer de l'État prussien à Elberfeld).
Système Ducousso frères. — (Voie double et voie unique.)
Block system automatique par signaux acoustiques placés sur les machines, de M. Ceradini. — (Voie unique et voie double.)

§ II. — *Appareils auxiliaires de protection automatique.*

Sifflet électro-automoteur Lartigue, Forest et Digney (Compagnie du Nord).
Système de protection automatique des trains à l'approche des gares (Compagnie du Nord).

§ III. — *Communication électrique continue entre les trains en marche se suivant sur une même ligne.*

§ IV. — *Protection des gares par enclenchements électriques à distance des leviers de manœuvre des signaux et des aiguilles.*

Interverrouillage mixte mécanique et électrique des signaux et aiguilles placé sous la responsabilité directe du chef de gare. (MM. Siemens et Halske. Berlin.)
Appareils électro-mécaniques commandant et verrouillant les aiguilles et les signaux. (MM. Siemens et Halske. Berlin.)
Appareils d'enclenchement électrique réglant l'entrée dans les gares (Directions de Francfort-sur-le-Mein et d'Alsace-Lorraine).
Appareils réalisant la concentration et l'interverrouillage des leviers d'aiguilles et des signaux (Système Schnabel et Henning). Enclenchement électrique de ces leviers.

CHAPITRE II.

APPAREILS AVERTISSEURS ET DE CORRESPONDANCE. TRANSMETTEURS DE SIGNAUX PAR VOCABULAIRES CONVENTIONNELS.

§ I. — *Appareils ordinaires de correspondance.*

Télégraphe à cadran avec récepteur imprimeur Baillehache.

§ II. — *Appareils spéciaux de correspondance.*

Appareils de correspondance à un ou plusieurs guichets fonctionnant par fils aériens (Staatsbahn autrichien et Nord français).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Avertisseur Jousselin (Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée).
Avertisseur Guggemos (Compagnie du Nord).
Signaleur universel à un seul fil donnant un nombre indéterminé d'indications (Leduc, Belgique).

§ III. — *Cloches et sonneries d'avertissement.*

Cloches Siemens (Compagnie du Nord).
Cloches Leopolder (Staatsbahn, Elisabethbahn, Paris-Lyon-Méditerranée, Compagnie de Paris à Orléans).
Système Regnault (Compagnie de l'Ouest).

§ IV. — *Avertisseurs automatiques électriques par pédale.*

Pédales Netter, Chapart et Zeng.
Protecteur de passage à niveau (système Leblanc et Loiseau).
Pédale à commutateur à mercure Lartigue.

CHAPITRE III.

MANŒUVRE ÉLECTRIQUE A DISTANCE DES APPAREILS DE SÉCURITÉ.

Système Joly.
Système Tellkampf et Walter (Altona-Kiel).
Système Schaeffler.
Appareils pour manœuvrer les disques et barrières (Staatsbahn, Autriche).
Disque et sémaphore à serrure électro-magnétique (État suédois).
Désengageur électrique Tyer et Farmer.

CHAPITRE IV.

APPAREILS CONTRÔLEURS.

§ I. — *Contrôleurs du fonctionnement des signaux de protection.*

Système de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée
— Compagnie du Nord.
— Compagnie de l'Ouest.
— Direction générale des chemins de fer d'Alsace-Lorraine.

§ II. — *Contrôleurs de la manœuvre des aiguilles.*

Contrôleur Lartigue (Compagnie du Nord).
Contrôleur Regnault (Compagnie de l'Ouest).

§ III. — *Contrôleurs des feux des disques.*

Photoscope Jousselin (Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée).
Appareil Chapart et Zeng.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ IV. — *Contrôleurs de vitesse.*

Direction des chemins de fer de l'État prussien (Hanovre).
Direction des chemins de fer de l'État prussien (Elberfeld).
Compagnie du chemin de fer du Nord.
Compagnie du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée.

§ V. — *Contrôleurs divers.*

Contrôleurs de niveau d'eau dans les cuves (Compagnie du Nord).
Hydrostatimètre électrique Jousselin et Vinay (Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée).
Contrôleur de ronde Napoli (Compagnie de l'Est.)
Contrôleur électrique de levier désengageur de M. Eugène Sartiaux (Compagnie du Nord).

CHAPITRE V.

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ AU SERVICE INTÉRIEUR DES TRAINS.

§ I. — *Intercommunication dans les trains.*

Système Prudhomme (Compagnie du Nord et de Paris-Lyon-Méditerranée.)
Système du chemin de fer Staatsbahn (Autriche).
Système Zwez (Direction des chemins de fer de l'État prussien de Berlin).
Indicateur des stations (M. Pollitzer, Staatsbahn autrichien).
Contrôleur de température (M. Pollitzer, Staatsbahn autrichien).

§ II. — *Freins électriques.*

Frein Achard.
Frein électrique de la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

§ III. — *Appareils d'expérience destinés à enregistrer les conditions de marche des trains.*

Wagon dynamométrique de la Compagnie du chemin de fer de l'Est.
Appareil électro-enregistreur des principales données dynamométriques d'un train en marche (chemin de fer du Nord).

§ IV. — *Emploi du téléphone et de la lumière électrique.*

Fanal électrique de Sedlacek et Wikulill. — Lampes Edison, Swan, etc.

CONCLUSION.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PREMIÈRE PARTIE

HISTORIQUE

Les premières applications de l'électricité à l'exploitation des chemins de fer ont suivi d'assez près l'ouverture des premières lignes construites. L'invention du *télégraphe électrique* est, pour ainsi dire, contemporaine de celle des chemins de fer ; ce fut là une circonstance extraordinairement favorable aux progrès de l'industrie naissante des transports par voies ferrées.

Le développement de leur exploitation n'est réellement devenu possible, et l'admirable activité, qui en fut la conséquence, n'a pu prendre tout son essor que grâce à la *télégraphie électrique*, dont le concours, venu tout à fait à propos, a constamment secondé la locomotion à vapeur; et ce secours fidèle, chaque jour plus nécessaire et plus important, ne lui a pas fait un seul instant défaut.

Nous insistons d'autant plus sur ce point, au début de ce rapport, que son cadre ne comporte pas l'étude approfondie des services inappréciables que la *télégraphie électrique* proprement dite a rendus à l'exploitation des chemins de fer ; il y sera surtout question d'applications spéciales de l'électricité uniquement créées en vue de faciliter et de sauvegarder cette exploitation. Si ces applications spéciales ne se sont, sur certaines lignes, que successivement et lentement répandues, si on n'a pu se faire une juste idée de leur importance que dans ces derniers temps, ce n'est certes pas que l'électricité soit restée au-dessous de sa tâche ; mais c'est surtout parce que l'activité des exploitations n'a pas plus tôt exigé qu'on demandât plus ou mieux à ce précieux auxiliaire.

L'accroissement considérable du trafic, les difficultés résultant, pour les exploitants, de l'insuffisance des installations primitives, sans doute améliorées, mais conçues d'après des prévisions que les faits ont dépassées de beaucoup ; les exigences d'une situation nouvelle, inattendue, dont le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

caractère progressif et fatalement envahissant est mieux apprécié aujourd'hui : telles sont les causes déterminantes qui ont impérieusement ouvert le champ si vaste de la pratique à cette science nouvelle, mieux étudiée elle-même, mieux comprise, partant mieux préparée aux services qu'on attend de sa fécondité.

Il ne faudrait pas croire cependant que l'imagination des savants très enflammée, dès l'origine, par les merveilles des premières découvertes, n'ait pas entrevu l'étendue de ces services ; au contraire, les espérances de la théorie dépassèrent, dès les premiers jours, les limites de l'application possible. Nous en trouverons quelques preuves dans ce court aperçu historique, qu'autorise l'intérêt de l'Exposition rétrospective, et dans lequel, prenant surtout pour guide la sanction de la pratique, nous parlerons en général très peu des inventions non appliquées. Malgré cette réserve, nous aurons incidemment l'occasion de faire remarquer que, il y a quelque cinquante ans, tels problèmes ont été abordés, telles solutions ont été même indiquées, qui commencent à peine à sortir aujourd'hui du domaine de la science pure.

C'est en 1840, douze années après l'établissement de la ligne de Liverpool à Manchester, et lors de l'ouverture de celle de Londres à Blackwall, que l'électricité fut, pour la première fois, pratiquement employée pour signaler des trains de chemin de fer. Toutefois, cinq ans avant cette date, en 1835, il s'en fallut de bien peu que la première application du télégraphe électrique à l'exploitation des voies ferrées ne fût faite en Allemagne.

Les circonstances de cette tentative avortée sont assez curieuses.

Dans une lettre datée du 12 juillet 1835, Guillaume Weber propose à Linnæus Erdmann, directeur du chemin de fer de Leipzig à Dresde, de construire un *télégraphe électrique*, en employant comme conducteurs les rails, non isolés (sous prétexte que la terre, d'après Gauss, était plusieurs millions de fois plus mauvais conducteur que le fer[1]). Weber décrit même le mode d'attache des rails l'un à l'autre ; il veut employer un rail pour l'aller et l'autre pour le retour du courant. Enfin il signale qu'un des résultats les plus intéressants de ce genre de télégraphie, au point de vue de la sécurité des chemins de fer, sera que *toute rupture de rail sera automatiquement annoncée par le télégraphe*.

Chose étrange ! c'est cette idée même de M. Weber que nous voyons

1. Consulter : *les Signaux de chemins de fer*, par le baron von Weber ; *Application of Electricity to Railway Working*, par Langdon ; *Die elektrischen Telegraphen für besondere Zwecke*, par Kohlfurst et Zetsche. — Jules Springer, Berlin, 1881.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

reprise en 1880, et *appliquée en Amérique*, avec tous les développements qu'elle comporte, au *Block System* électro-automatique dénommé *Union Electric Signal System* [1], dont il sera question plus loin.

Le savant GAUSS, rectifiant les erreurs de M. Weber, tenta de donner à sa pensée une forme plus pratique, mais sans grand succès. Pendant quelque temps, en 1836, un fil électrique placé sur le sol, isolé dans une gaine de chanvre, servit à transmettre des avis aux garde-lignes entre Leipzig et Athen ; mais le prix élevé (environ 1,200 francs par kilomètre) d'une installation d'une utilité très limitée et très contestée la fit abandonner en 1837. Et c'est ainsi qu'échut à l'Angleterre l'honneur d'avoir fait, en 1840, la première application véritablement pratique de l'électricité à l'exploitation des voies ferrées.

ROBERT STEPHENSON, pour éviter à la ville de Londres les inconvénients du voisinage des locomotives *bruyantes, incommodes et dangereuses* (textuel), résolut d'exploiter la ligne de Londres à Blackwall, en employant un câble sans fin s'enroulant sur des tambours mus par une machine à vapeur. La ligne, de treize kilomètres environ, desservait *six* stations intermédiaires. Le système consistait à accrocher des voitures chargées dans chacune de ces stations, au câble unique, à les faire entraîner dans le mouvement de ce câble et à les arrêter à leur point de destination.

Il était indispensable, pour l'exécution de ces divers mouvements, qui devaient être très précis, de communiquer avec le mécanicien de la machine fixe motrice ; et c'est pour cet objet qu'on employa des manipulateurs Wheatstone, à aiguille, placés à chaque station, et qui transmettaient au mécanicien ces simples signaux : Prêts (*ready*) ; — arrêtez (*stop*).

Chacune des deux stations extrêmes était munie d'un appareil multiple, sur lequel se reproduisaient les signaux de chaque station intermédiaire.

A la même époque, le télégraphe *Wheatstone* et *Cook* était établi sur la portion terminée du chemin de fer du Great-Western.

En somme, ce n'étaient là encore que des appareils électriques ordinaires de correspondance.

Mais en 1842, sir WILLIAM FORTHERGILL COOK, dans un livre intitulé *Telegraphic Railway*, posa le premier les principes du *Block system*, ou de la protection des trains en marche par la division de la ligne en cantonnements fermés ou sections successives, dans chacune desquelles deux trains ne pouvaient se trouver à la fois. L'usage du télégraphe élec-

1. *Railroad Gazette*, 12 mars 1880. *The Union Electric Signal System.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trique, permettant une correspondance rapide, rendait possible la circulation dans les deux sens, sur une seule ligne ; et c'est, en effet, pour le service des voies uniques que sir William Cook préconisa le système d'exploitation qui consiste à espacer les trains en les protégeant par des intervalles *invariables et certains* de distances fixes parcourues, et non par les *intervalles variables et incertains* des temps employés à les parcourir.

La première application du principe du *Block system* fut faite, en 1844, sur une section à voie unique des chemins de fer *Eastern Counties*, de Norwich à Yarmouth. Chaque chef de station pouvait lire, sur un cadran à aiguille Wheatstone, la section sur laquelle était engagé le train qu'on signalait électriquement, lors de son entrée dans cette section.

Ces dispositions, nécessitant un nombre considérable de fils (autant de fils que de sections), étaient fort coûteuses et devenaient inapplicables au service des lignes d'une certaine étendue.

A partir de cette date (1844), l'emploi du télégraphe électrique se répandit rapidement dans les chemins de fer, en se perfectionnant. BRUNEL l'avait adopté pour le Great-Western Railway, en utilisant pour la première fois le retour du courant par la terre, dont le principe venait d'être découvert par STEINHEIL, et l'appareil imprimeur de BAIN.

A la fin de 1844, les chemins de fer dont les noms suivent étaient exploités à l'aide du télégraphe électrique :

South-Western,
London and Blackwall,
Great-Western,
London and Dover,
London and Birmingham,
Leeds and Manchester,
Edimbourg and Glasgow,
Kingstown and Dalkey.

A la fin de 1843, l'appareil de WHEATSTONE et COOK fit son apparition sur le continent, sur le plan incliné existant entre *Aix-la-Chapelle* et *Ronheide* qui était exploité absolument comme le chemin de fer de Londres à Blackwall, au moyen d'un câble sans fin et d'une machine fixe. Ce n'était encore qu'une application très restreinte et qui n'était pas conçue dans l'esprit si pratique des dispositions indiquées par COOK, en Angleterre.

La ligne du *Taunus*, en Allemagne, fut exploitée par MM. BEIL et MELLER, en 1844, par le système FARDELLY, qui avait modifié l'instrument Wheatstone. Fardelly n'employait qu'un fil de cuivre sans enveloppe, porté sur des piquets bas, et utilisait le retour par la terre.

L'emploi de ce fil, malgré son isolement imparfait, donna de bons résultats.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tandis que Wheatstone et Cook perfectionnaient en Angleterre l'établissement du fil aérien reposant sur des isolateurs (1844-1845), ARAGO poursuivait entre Paris et Rouen ses remarquables expériences, qui prouvèrent que des signaux pouvaient être transmis à plus de cent kilomètres par le courant d'une faible batterie parcourant un fil conducteur même imparfaitement isolé.

En 1845, M. REGNAULT introduisit sur la ligne de *Saint-Germain* le premier télégraphe électrique alphabétique, en empruntant à Wheatstone son appareil électro-magnétique ; en 1846, il établit un appareil électrique de secours, permettant aux conducteurs-chefs de demander la machine pilote ; et, en 1847, il appliqua au service de la ligne du Pecq à Saint-Germain un système d'*indicateur électrique* analogue à celui que Stephenson avait adopté pour le chemin de fer de Blackwall. Les applications de ce genre se répandirent ; mais, pendant de longues années, l'électricité ne joua dans l'exploitation des chemins de fer que le rôle de simple agent de correspondance, transmettant des avis, des ordres, des instructions, soit par mouvement d'aiguilles, soit par les appareils BREGUET à cadran, soit par les indicateurs plus spéciaux de M. REGNAULT ou de M. TYER, soit par le télégraphe MORSE. L'électricité n'agissait directement sur les appareils signaleurs que pour mettre en mouvement des sonneries ou timbres électro-mécaniques, mécanismes actionnés ou déclenchés par le courant électrique.

Dans cet ordre d'idées, l'Allemagne peut revendiquer l'honneur de la priorité ; l'origine de l'emploi des cloches justement dites *cloches allemandes* remonte à 1846, époque à laquelle M. LÉONHARDT construisit pour le chemin de la Thuringe les premières cloches à déclenchement électrique sonnant jusqu'à ce qu'on vienne les arrêter à la main.

Plus tard, cet arrêt s'opéra par le mouvement d'horlogerie.

Des dispositions analogues furent appliquées pour le même objet par M. KRAMER, en 1847, sur le chemin de fer de *Magdebourg-Buckau* et par MM. SIEMENS et HALSKE.

Enfin, les cloches LEOPOLDER, assez semblables à ce qu'elles sont aujourd'hui, étaient déjà connues en 1861. Ces cloches, successivement perfectionnées, ont envahi toute l'Allemagne, la Hollande et l'Autriche ; mais l'Angleterre n'a jamais connu l'emploi de ces avertisseurs sonores, résonnant pour tous ses agents de la ligne : ses ingénieurs se contentèrent de demander à l'électricité d'actionner des timbres à l'intérieur des postes.

C'est ainsi qu'en 1852, M. WALKER imagina son timbre électro-magnétique *à simple battement*, destiné à signaler les trains d'un poste à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'autre, donnant des signaux acoustiques variés, mais d'un caractère passager. Ce système est encore employé sur la ligne du *South-Eastern*. Il produisait dans l'intérieur des cabines et pour l'usage des signaleurs chargés de manœuvrer les sémaphores extérieurs visibles (*outdoor signals*) *les avertissements acoustiques par coups de timbre*.

Plus tard, M. Walker a perfectionné notablement son appareil primitif.

En 1852, également, M. Tyer construisit son premier appareil de correspondance entre les deux postes extrêmes d'une section de *block*.

Les signaux *voie occupée* et *voie libre*, c'est-à-dire *signal d'annonce en avant* et *signal de libération en arrière*, étaient donnés par deux aiguilles indicatrices sur le tableau de l'appareil.

De plus, le système était *automatique :* le train lui-même s'annonçait au poste d'avant, en passant à l'entrée de la section sur une pédale, et libérait la section derrière lui, en actionnant une deuxième pédale à sa sortie de cette même section.

Le système fonctionna d'abord sous cette forme sur les lignes de *Brighton* et du *South-Eastern*.

En 1854, le mécanisme automatique des pédales fut remplacé par des poussoirs placés sur l'appareil et actionnés par la main des agents eux-mêmes ; en ajoutant à ces appareils un timbre d'avertissement et un bouton d'appel, M. Tyer constitua, dans ses principaux éléments, l'appareil tel qu'il est établi encore aujourd'hui.

L'appareil de M. Bartholomew (1852) était toujours fondé sur les mêmes principes que les précédents : simple correspondance, au moyen d'*aiguilles* indicatrices et de sonneries, entre les agents responsables des manœuvres.

M. Preece fit un pas de plus dans la voie de l'appropriation des signaux électriques à l'exploitation des chemins de fer. En 1862, pour exploiter la section comprise entre les deux stations d'Exeter, il inventa son système, dont le trait caractéristique est *l'assimilation des indications produites électriquement sur les tableaux-cadrans des appareils de correspondance aux grands signaux extérieurs* visibles pour les mécaniciens et pour tous les agents de la ligne. Les manipulations des appareils devenaient plus faciles et plus claires pour les agents, qui pouvaient être moins instruits que les télégraphistes qu'on avait dû employer jusqu'alors : les chances d'erreurs étaient diminuées par la forme même de ces signaux connus déjà de tous.

L'avantage de cette substitution ingénieuse fut compris immédiate-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment, et MM. Tyer et Walker l'adaptèrent sans hésiter à leurs appareils.

Pour la première fois, M. Preece avait également introduit le perfectionnement du *signal répétiteur* ou *accusé de réception* dont le principe est de donner au poste transmetteur l'assurance que son signal est bien arrivé au poste de réception et qu'il a produit sur le bras du petit sémaphore le mouvement qu'il doit produire.

En 1862, M. SPAGNOLETTI fit son premier appareil où il n'employait qu'une seule aiguille.

En 1866, M. Preece, au lieu de trois fils, n'employait plus qu'un seul fil. Plus tard, en 1872, il perfectionna encore son système, de telle sorte que le signal de *voie libre* ne put plus être produit que par l'action *concurrente* et *combinée* des signaleurs placés aux deux extrémités de la section.

Il eut également le mérite de poser, dans ses conférences, d'une manière parfaitement claire les principes pratiques du *block system* ou exploitation par sections cantonnées.

Dans une de ses brochures, publiée en 1865, à Londres[1], nous trouvons formulé un desideratum auquel il n'a été répondu qu'en 1872 par MM. Lartigue, Tesse et Prudhomme. Après avoir décrit avec une clarté remarquable le *block system* qu'il avait installé au South-Western Railway, M. Preece ajoute :

« S'il était possible de manœuvrer par l'électricité le grand signal visible extérieurement, le système serait parfait; mais, en raison des limites actuellement imposées à la puissance motrice de l'électricité, nous n'avons pas encore pu atteindre une production de force qui permette d'actionner à distance, avec une certitude suffisante, les signaux de la voie ; nous sommes donc forcés d'adopter ce qui se rapproche le plus de ce résultat désiré et de nous en tenir aux petits instruments électriques qui indiquent au signaleur dans quelle position il doit placer les signaux qu'il manœuvre, en lui dictant, pour ainsi dire, les mouvements que ces instruments devraient produire sans cet intermédiaire. »

En février 1872, MM. LARTIGUE, TESSE et PRUDHOMME construisirent leurs premiers appareils indicateurs, destinés à la transmission effective et directe, par l'électricité, des signaux à vue entre deux postes, à toute distance.

Les premiers électro-sémaphores furent mis en expérience régulière en février 1874, sur la ligne de Paris à Creil, et, peu après, en 1877, sur

1. *On Railway Electric Signaling,* by Henry Williams Preece (Truscott sons and Simmons. Londres 1865).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la ligne de Paris à Brétigny (*chemin de fer d'Orléans.*) C'était, on peut le dire, la première installation de ce genre en France, et même en Europe. Le modèle en fut porté en Angleterre, au London Chatham and Dover Railway, en juillet 1874, et y attira l'attention des hommes spéciaux; il figura, au milieu de quantité d'appareils intéressants et de tous les *block systems* électriques et autres alors connus, à l'Exposition spéciale qui fut ouverte, au Palais de Cristal, en juin 1875, au profit de la Caisse de secours des employés de chemins de fer [1].

C'est à partir de cette époque que, les remarquables inventions (*Interlocking system*) de MM. Saxby et Farmer commençant à se répandre, on comprit l'avantage de l'emploi des enclenchements électriques, commandant les manœuvres des signaux extérieurs, comme dans la disposition adoptée par MM. Lartigue, Tesse et Prudhomme, et comme dans les diverses combinaisons successivement étudiées par la célèbre maison Siemens et Halske de Berlin, depuis 1871.

Les premiers appareils Siemens et Halske ne présentaient pas les avantages de la solidarité entre les signaux extérieurs et les indications des instruments : ils avaient été construits pour remplir les conditions du programme édicté par la Conférence tenue à Berlin le 1er décembre 1870, conférence à laquelle assistaient, outre M. le docteur Werner Siemens et le baron de Weber, les représentants de dix-sept compagnies allemandes, et qui n'avait pas cru devoir recommander le principe de cette solidarité [2].

En 1875, l'appareil de M. Sykes, inspecteur du service télégraphique de la ligne du Chatham and Dover Railway, apparut à son tour; puis vinrent successivement les appareils Saxby et Hodgson, les perfectionnements de M. Spagnoletti, de M. Henning, les systèmes américains, qui sont tous du domaine de l'histoire contemporaine et seront examinés dans le cours du rapport.

Qu'avait fait la France jusqu'en 1872? Grâce aux facilités d'une exploitation moins intense que celle des lignes anglaises, les ingénieurs avaient pu se contenter de perfectionner et d'approprier les appareils de correspondance entre deux postes, mais ils n'avaient eu recours que dans quelques cas particuliers à la division des lignes en sections cantonnées.

Les appareils indicateurs de M. Regnault furent pour la première fois

1. *Descriptive Catalogue of the Loan Exhibition of Railway models and appliances from June 12 to June 23* (1875).

2. *Journal of the Society of telegraph Engineers* (London, 1874). Séance du 23 avril 1873.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en usage sur la ligne de Paris à Argenteuil, en 1853, et y fonctionnèrent jusqu'en 1863.

A l'Exposition de Vienne de 1873 figurait l'appareil de M. Regnault, sous sa forme actuelle; il servait alors à l'exploitation de la ligne de Versailles, sectionné en cantonnements, et est aujourd'hui en service sur la ligne du Havre.

La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée avait remarqué l'appareil Tyer, à l'Exposition de 1855. En 1856, on l'essaya au tunnel de Blaizy-Bas; en 1857, il fut installé entre Paris et Moret, sur une section assez chargée pour en justifier l'emploi. Enfin, les développements du trafic en ont étendu, dans ces dernières années, l'application à toute la ligne de Paris à Marseille, et l'adjonction de l'appareil JOUSSELIN à l'appareil Tyer a été expérimentée depuis 1879.

Si l'usage des appareils de block system proprement dit s'est lentement répandu en France, pour les causes que l'on sait, l'usage des cloches d'avertissement allemandes y rencontra plus de faveur, surtout pour l'exploitation des voies uniques très fréquentées des réseaux du Nord et de Paris-Lyon-Méditerranée.

C'est en 1862 que les premières cloches furent installées sur les lignes belges du réseau du Nord, sur l'initiative de M. Félix Mathias, alors sous-chef d'exploitation; elles utilisaient un courant de pile constant. Les cloches Siemens furent ensuite adoptées sous trois formes différentes et successivement perfectionnées sur ce réseau.

Déjà, d'ailleurs, les Compagnies françaises avaient appliqué la sonnerie trembleuse au contrôle de la position des disques à distance tournants. Cette importante application prit naissance en 1857, sur la ligne de Paris-Lyon-Méditerranée, grâce à l'initiative de M. Poiré, chef d'exploitation, et à l'habileté technique de M. Jousselin, ingénieur électricien de la Compagnie; elle se répandit bientôt partout et a incontestablement rendu de grands services à l'exploitation des lignes ferrées.

Du reste, depuis dix ans, une série d'appareils avertisseurs ou contrôleurs, dont le fonctionnement repose sur l'emploi d'un courant électrique, a été proposée et essayée en France, en Belgique et en Allemagne.

Les premiers avertisseurs électriques pour passage à niveau apparurent sur le réseau du Nord en 1859. Des pédales à soufflet (Tesse et Lartigue) furent installées à cette époque à Maubeuge, au pont de la Deule, près Douai, au tunnel de Vierzy [1].

1. Voir *Étude sur les signaux de chemins de fer à double voie,* par Édouard Brame. Dunod, 1867.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Puis vinrent les appareils contrôleurs d'aiguilles, contrôleurs de la position des leviers de manœuvre, de l'extinction des feux des lanternes ou signaux, de la position des ponts tournants, etc., etc.

Récemment, les manœuvres à distance de plusieurs appareils, tels que barrières et signaux, ont été demandées en Autriche, en Suède, etc., etc., à l'agent naturel, dont la souplesse et la docilité paraissent illimitées.

N'oublions pas, dans cette nomenclature, les freins à embrayage électrique, tels que le frein Achard qui, inventé en 1856, fut essayé en 1860, à Paris-Lyon-Méditerranée; en 1864, à l'Est; et en 1874, au Nord; le frein J. Olmsted, de Chicago, essayé au « North-London-Railway, » à Londres, en 1873, véritable reproduction du premier; et le frein électrique, W. Siemens, le plus récent de tous (février 1881), fondé sur l'emploi d'une machine dynamo-électrique spéciale, placée sous chaque véhicule du train.

Les intercommunications électriques dans les trains, système Prudhomme, les seules qui aient donné des résultats pratiques et durables, généralement adoptées par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée et par le Nord, datent de plus de vingt années (1861).

L'éclairage par l'électricité, si précieux au point de vue de la rapidité des manutentions dans les gares et dans les halles, a été appliqué pour la première fois, en France, à la gare de la Chapelle, en 1875.

Enfin, tous les services de l'exploitation, obligés par les complications du trafic à perfectionner les mesures de sécurité, ont ingénieusement adapté à leurs besoins les ressources de l'électricité. Ils feront plus encore, car ils n'ont presque rien demandé, jusqu'à ce jour, au principe de la transmission des forces à distance, tel qu'il a été mis en lumière par les remarquables travaux de M. Marcel Deprez et de MM. Siemens frères, dont il est impossible de ne pas citer les Tramways électriques [1].

Dans cette direction, il reste beaucoup à faire, et la vigoureuse impulsion imprimée aux recherches scientifiques par l'Exposition de 1881 sera féconde pour les progrès de l'exploitation des chemins de fer comme pour ceux des autres industries.

Pour compléter cette chronologie et avant d'entrer dans l'examen détaillé des appareils exposés, il nous reste à dire quelques mots du rôle qu'a joué l'automaticité dans la solution des problèmes intéressant la sécurité des voies ferrées. Car, si l'engagement que nous avons pris de ne relater ici que les applications réalisées en pratique nous interdit de nous appe-

1. *Revue générale des chemins de fer,* août 1880, septembre 1881.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

santir sur les systèmes purement automatiques de CASTRO (1853), GUYARD (1854), BONELLI (1854), VÉRITÉ (1858)[1], MENUSIER, CARR et BARLOW (1873), SAUVAGEON, BRUNIUS, SAZERAT et LOREL, etc., etc., nous devons mentionner que, dans ces derniers temps, de plus sérieux essais ont été faits d'un certain nombre de signaux *automatiques* de protection pour les trains en marche.

En 1852, M. MAIGROT, en 1854, M. VÉRITÉ, avaient essayé des compteurs kilométriques inscrivant automatiquement, par le jeu de pédales et de contacts fixes, la marche des trains sur la voie qu'ils suivent.

M. BAILLEHACHE expérimenta un système analogue, en 1878, entre le Champ de Mars et Grenelle.

Mais tous ces systèmes de protection automatique ne se répandirent guère : pour un motif ou un autre, ils furent abandonnés. On peut croire que leur mécanisme ingénieux, mais compliqué, ne présentait pas une garantie suffisante de fonctionnement régulier.

Il en est un qui a persisté en France : c'est le système de protection par fonctionnement du sifflet électro-automoteur ou de la boîte de déclenchement pour freins, LARTIGUE, FOREST et DIGNEY, qui date de 1872 et est généralement adopté sur le réseau du Nord.

Tous ces appareils n'ont été essayés ou appliqués qu'à titre d'auxiliaires utiles, et jamais comme agents *responsables*, s'il nous est permis d'employer ce mot.

Leur usage n'a rien modifié dans l'application des règles ordinaires de l'exploitation ; il n'a pas atténué l'importance des mesures générales de sécurité prescrites par les règlements, toujours maintenues, quelquefois simplifiées, mais n'abandonnant jamais aux nouveaux appareils automatiques la sauvegarde des trains.

Quelques inventeurs ont été beaucoup plus loin dans l'emploi de l'automaticité et ils voudraient supprimer entièrement l'intervention de la main de l'homme.

C'est ainsi que, en 1879, le système du professeur CERADINI eut les honneurs d'un premier essai prolongé, en Italie.

En 1881, on a tenté, sur un point du réseau de l'État français, un essai d'un système LEBLANC et LOISEAU, où l'automaticité jouait un certain rôle encore peu développé.

En Amérique, les ingénieurs, justifiant leur réputation de hardiesse, sinon de témérité, ont fait récemment l'essai de l'automaticité électrique

1. Voir Brame.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pure dans l'exploitation de quelques lignes de faible longueur. Ils n'ont su résister à l'idée séduisante de supprimer le concours de l'homme, si dispendieux aux Etats-Unis. Tel est le système de M. THOMAS S. HALL, qui emploie la conjugaison électrique des contacts avec les signaux, et des aiguilles avec les signaux, en se servant d'un seul fil isolé. — Tel, aussi, le système dit « Union automatic Electric Signal » qui, rajeunissant l'idée de Weber et Gauss (1835), essaye d'employer les rails isolés comme conducteurs d'aller et de retour d'un courant moteur des signaux. L'interruption du courant place automatiquement les signaux à l'arrêt, si bien que toute rupture de rail ou tout abandon, sur une section du « block », de véhicules isolés (qui dérivent, à leur profit, le courant de la ligne), donne lieu à l'interruption ou à l'affaiblissement du courant, et, par suite, provoque la mise à « *danger* » du signal protecteur de la section.

Ce système, moins connu que celui de M. Hall, est en essai sur cinq milles du « *Fitchbury Railroad* », et on annonce qu'il y a fonctionné d'une manière satisfaisante.

Enfin, le système *Rousseau* peut être rangé dans la même catégorie. Il procède du premier de ces systèmes (Hall) par l'emploi d'un circuit ouvert; et du second (Union), par l'usage de contrepoids pour la manœuvre des signaux; il est en essai depuis quatre ans sur une section du *New York Central and Hudson River Railway*.

Il est presque inutile de dire que l'établissement de tous ces systèmes, dont les dispositions sont essentiellement délicates et les appareils très compliqués, est trop récent, et est limité à trop peu d'exemples pour qu'on puisse recommander l'un ou l'autre d'entre eux. Malgré tout le génie déployé par les inventeurs dans les combinaisons électriques ou mécaniques qui en assurent le fonctionnement, ils n'ont point reçu la sanction d'une pratique prolongée. Les courts essais dont ces systèmes sont l'objet ne sont point assez concluants pour dissiper l'appréhension justifiée qu'inspire aux ingénieurs du vieux monde l'emploi exclusif de l'automaticité en matière de protection des trains; nous n'en avons dit quelques mots que pour rester fidèles historiens et pour ne pas passer sous silence les derniers efforts de la science électrique et ses tendances les plus récentes en matière d'exploitation de chemins de fer [1].

1. Voir l'étude de M. E. Krajewski et le Rapport annuel des commissaires contrôleurs des chemins de fer de Massachusetts dans les numéros du *Railroad Gazette* d'octobre 1879 à avril 1880.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SECONDE PARTIE

EXAMEN DES APPAREILS EXPOSÉS.

Avant de commencer l énumération des appareils soumis à l'examen du jury, il est utile d'expliquer que, dans ce rapport sommaire, ne se trouveront pas reproduites les descriptions détaillées des appareils déjà connus et décrits dans les publications spéciales, auxquelles nous prions le lecteur de se reporter. Un des ouvrages les plus importants et les plus complets sur cette matière est celui que le jury a récompensé d'une manière toute spéciale et qui a pour titre : *Die Elektrischen telégraphen für besondere Zwecke* (IVe volume), par L. Kohlfürst et Prof. K. E. Zetsche. — Berlin, 1881 [1]. Nous nous bornerons à grouper les systèmes par catégories simples et aussi bien définies que possible, en nous attachant surtout à faire ressortir, pour chacun d'eux, le but de l'inventeur et le trait caractéristique de la construction. Nous indiquerons les motifs qui ont servi au jury de guide dans ses appréciations, de base dans ses propositions de récompense, en laissant naturellement de côté les appareils qui ne lui ont pas paru mériter l'honneur d'une mention.

CHAPITRE PREMIER

Protection des trains en marche.

Les différents systèmes destinés à la protection proprement dite des trains en marche formaient la partie la plus importante de l'Exposition

1. Voir les publications spéciales : *La Lumière électrique; l'Électricité,* chez Masson; *la Revue générale des chemins de fer; le Génie civil,* 1881 et 1882.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en ce qui concerne l'exploitation des chemins de fer. C'est sous ce titre général qu'il convient de ranger d'abord tous les appareils de *Block system :*

§. I. — *Block systems ou systèmes d'exploitation par sections ou cantonnements successifs.*

A. — *Systèmes à appareils de correspondance absolument indépendants des signaux extérieurs.*

Appareils Walker, Preece, Tyer et Spagnoletti. — Les quatre appareils principaux, appliqués sur les lignes anglaises, figuraient à l'Exposition, les uns exposés par leurs constructeurs, les autres par les compagnies qui les emploient. Ce sont :

1° *L'appareil de M. Walker*, le savant ingénieur électricien du South Western Railway, construit par la Compagnie anglaise « Gutta percha, India Rubber and Telegraph Works C° » (Silvertown, Londres, et Persan-Beaumont, France).

2° *L'appareil Preece*, sortant des ateliers du même constructeur, et classé dans l'Exposition de l'Administration des Télégraphes de Londres, à laquelle a été attaché M. Preece, après avoir été ingénieur du South Western Railway.

3° *L'appareil Tyer*, employé par la Compagnie française Paris-Lyon-Méditerranée.

4° *L'appareil de M. Spagnoletti*, l'ingénieur distingué du Great Western Railway.

Dans ces divers systèmes très connus et souvent décrits, il n'existe pas de solidarité entre les instruments intérieurs et les signaux extérieurs à vue. Ce sont, en réalité, des systèmes de correspondance électrique, spécialisés et appropriés, correspondance dont les indications restreintes sont traduites par les manœuvres des signaux extérieurs, absolument indépendantes.

Ils sont disposés pour l'exploitation des lignes par le principe des *sections normalement fermées*. Les trois premiers systèmes n'exigent qu un fil, tandis que M. Spagnoletti est resté fidèle à l'emploi des trois fils, plus coûteux, mais qu'il considère comme plus sûr.

Sur les cadrans des boîtes Walker et Preece sont reproduits en petit deux sémaphores manœuvrés électriquement, l'un concernant la section en arrière, l'autre la section en avant du stationnaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Avant de laisser engager un train dans la section dont il garde l'entrée, le signaleur consulte la position du petit bras qui indique l'état de cette section, c'est-à-dire, si elle est libre ou occupée, et il conforme la manœuvre du grand sémaphore aux indications du sémaphore *en miniature*.

C'est M. Preece qui a eu le premier cette idée heureuse et pratique.

Il a également atténué les inconvénients de l'intervention inopinée de l'électricité atmosphérique ; si un dérangement dû à cette influence altère les indications du petit sémaphore, la sonnerie, au moins, donnera le signal de *voie occupée*.

De plus, le signal de *voie libre* ne peut s'obtenir que par l'action combinée des deux postes en correspondance ; enfin, un voyant répétiteur indique au stationnaire la position du bras du petit sémaphore électrique du poste voisin, ce qui est un très utile contrôle. Toutes ces minutieuses précautions bien conçues font du système Preece un excellent ensemble.

MM. Tyer et Spagnoletti transmettent les signaux par le déplacement des *aiguilles en regard des indications écrites « voie libre et voie occupée »*.

D'ailleurs, ces quatre systèmes ont pour eux la sanction d'une longue expérience.

Leur construction se distingue par un soin et un fini remarquables, auxquels nous ont depuis longtemps habitués les constructeurs anglais d'instruments de précision ; ils font grand honneur et aux inventeurs et aux constructeurs.

Les premiers imaginés, ils ont conservé leur caractère de simplicité ; ils sont d'une manœuvre commode et aussi sûre que possible, si l'on n'en veut pas venir aux complications incontestables de la conjugaison entre les indicateurs télégraphiques et les signaux visuels, conjugaison qui n'en constitue pas moins un notable progrès au point de vue de la sécurité. Leur défaut est d'exiger des agents une très grande attention et de ne pouvoir empêcher ou neutraliser des défaillances souvent fatales.

Appareils Tyer Jousselin. — Pour diminuer les chances de fausses interprétations assez faciles dans l'emploi du système Tyer, et pour augmenter les ressources du vocabulaire très restreint qu'il met à la disposition des stationnaires, M. Jousselin a joint à l'appareil Tyer un avertisseur qui a décidé de l'adoption du système ainsi complété sur les lignes principales de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée.

L'avertisseur Jousselin permet de transmettre d'un poste à l'autre, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par le fil même du block system, *douze indications* usuelles déterminées d'avance. L'avertisseur porte un cadran dont une aiguille parcourt les douze divisions contenant les indications à transmettre.

L'aiguille, sollicitée à tourner par un ressort, est arrêtée par un enclenchement porté par la palette d'un électro-aimant, de sorte que, à chaque émission de courant, quel que soit son sens, l'aiguille déclenchée se met en mouvement, et parcourt une division du cadran; un coup de timbre résonne en même temps.

Le manipulateur est le bouton poussoir de la boîte Tyer. La pression sur le poussoir vers lequel est inclinée l'aiguille indicatrice inférieure du « Tyer » n'a, on le sait, d'autre effet que de faire fonctionner la sonnerie au poste correspondant, sans modifier en rien la position des aiguilles. On peut donc monter l'avertisseur sur le circuit même du Tyer et utiliser, pour manipulateur, le poussoir de cet appareil. Un nombre déterminé de coups de poussoir amènera par sauts successifs l'aiguille de l'avertisseur sur l'indication voulue. Une fois le signal échangé, le stationnaire ramène l'aiguille à la croix, et le ressort est bandé de nouveau par ce mouvement.

Pour augmenter les garanties contre les erreurs, un compteur spécial à guichet indique au signaleur le nombre de coups qu'il a transmis.

Enfin, M. Jousselin a pris encore un surcroît de précaution : c'est un enregistreur spécial qui permet, si on le veut, d'inscrire les signaux transmis par l'indicateur. Un papier se déroule, entraîné lentement par un tambour mû par un mouvement d'horlogerie : un crayon traceur, appuyé constamment sur le papier, peut prendre un mouvement parallèle à la génératrice du tambour; le mécanisme qui le porte le fait avancer d'une longueur constante le long de cette génératrice, à chaque émission de courant, de telle sorte que le nombre de coups transmis est inscrit par la longueur de l'ordonnée ainsi tracée sur le papier.

En résumé, le système adopté par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée est une appropriation ingénieusement étudiée du système Tyer aux habitudes des exploitations françaises, et enrichie de garanties et de contrôles nouveaux. Ce n'est plus le *Tyer* simple des Anglais, et ce n'est pas encore le *Tyer à solidarité réciproque avec les sémaphores*, système dont nous parlerons plus loin, et qui, proposé par MM. Jousselin et Havard, n'a pas encore été appliqué.

Système Leblanc et Loiseau. — MM. Leblanc et Loiseau, constructeurs français, ont exposé une forme simple de *block system*, dont les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

détails peuvent paraître ingénieux, mais qui se borne à permettre la correspondance entre les deux postes extrêmes d'une section sans aucune liaison entre les manipulateurs avertisseurs et les signaux visuels; il est jusqu'ici sans grand intérêt pratique. Les appareils qui le constituent ne prémunissent pas effectivement l'agent d'un poste contre la possibilité de laisser, par erreur, oubli ou distraction, plusieurs trains s'engager sur une même section.

Le système comprend trois appareils :

1° *Un appareil électrique* d'appel ou d'avertissement placé à chaque gare, qui sert à demander la voie à la gare suivante : cette dernière accepte le train par un coup de timbre.

2° *Une lanterne signal* placée à chaque gare et qui montre sur un tableau rouge les mots *voie occupée*, grâce à l'ouverture d'un volet à deux vantaux, obtenue électriquement par la manœuvre, d'un *commutateur spécial*.

Aussitôt que la gare expéditrice a reçu le coup de timbre en réponse à sa demande, le signaleur met le commutateur sur le contact *voie occupée*, ouvre ainsi simultanément les volets des deux lanternes placées, l'une dans la gare expéditrice, l'autre dans la gare de réception, et y fait apparaître les mots *voie occupée*. Aucune solidarité n'existe entre l'appareil d'appel et *les signaux à vue;* aucun accusé de réception *permanent* ne vient réveiller l'attention des signaleurs. Le mécanisme électrique des volets est ingénieux, mais vraiment compliqué. L'écran que démasquent ces volets est translucide; c'est un verre qui s'éclaire comme dans une lanterne et laisse voir l'inscription qu'il porte. Les deux volets sont portés par des parallélogrammes articulés, reliés à une armature formant pendule et oscillant entre deux électro-aimants, qui leur communiquent un mouvement alternatif. Ce pendule, écarté de sa position médiane, est maintenu par un cliquet contre un des électro-aimants; si un courant convenable vient à passer dans l'autre électro-aimant, le cliquet de retenue est dégagé; le pendule, rendu libre, descend vers sa position médiane, la dépasse par inertie, arrive dans le champ magnétique du deuxième électro-aimant qui l'attire, et lui fait dépasser un *cliquet de retenue* symétrique du premier. Ce mouvement du pendule se transmet aux parallélogrammes articulés, qui font mouvoir à leur tour les deux volets. C'est donc là en réalité une *manœuvre directe de signaux à distance* (très légers), par un courant électrique.

3° *Un compteur à cadran*, gradué en autant de divisions qu'il y a de kilomètres entre les deux gares têtes de section, et sur lequel une aiguille indique pour chaque gare la position du train entre les deux postes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'aiguille est portée par une roue à rochet, mue par un doigt dépendant de l'armature d'un électro-aimant.

Des pédales spéciales à commutateurs électriques sont placées sur la voie, de kilomètre en kilomètre ; au passage du train sur les pédales, une émission de courant se produit, qui agit sur l'armature de l'électro-aimant, et fait avancer d'un cran l'aiguille du compteur sur son cadran. Le chef de gare peut ainsi toujours lire le point où se trouve le train, ce qui ne présente qu'un assez médiocre intérêt. La pédale Leblanc et Loiseau, qui est une heureuse modification d'un appareil depuis longtemps connu, peut se décrire en quelques mots : Elle est à soufflet, la palette de la pédale rencontrée par la première roue du train soulève en s'abaissant un soufflet dont sa queue est munie : ce soufflet, rempli d'air dans ce mouvement de soulèvement, se vide lentement et empêche la palette et les pièces rigides qui la supportent de se relever et d'être heurtées par chaque roue du train. En même temps, la pédale actionne un commutateur électrique, simplement formé de deux lames de ressort horizontales, normalement séparées ; le passage sur la pédale rapproche ces lames et complète le circuit électrique agissant sur les électro-aimants du compteur à cadran. L'aiguille est ramenée à zéro avant chaque départ du train.

Ces pédales sont également employées, comme nous le verrons plus loin, pour actionner des avertisseurs de passage à niveau.

Ces appareils ont été essayés sur les chemins de fer de l'État entre *Joué* et *Montluçon*. MM. Leblanc et Loiseau déclarent qu'une pédale de ce genre a subi 7,650 chocs, et un écran 7,200 mouvements sans éprouver de dérangements, résultat favorable mais qui ne prendrait une valeur tout à fait sérieuse que si la pédale était située sur une section à grand trafic et sur le parcours des trains rapides animés de toute leur vitesse.

B. — *Systèmes dans lesquels se trouve appliqué le principe de la solidarité entre les appareils de correspondance intérieurs et les signaux à vue extérieurs.*

Siemens et Halske. Block systems pour voies doubles. — Les appareils Siemens et Halske, destinés à l'exploitation des lignes par sections normalement fermées, sont surtout caractérisés :

1° Par la suppression des piles et l'emploi de courants d'induction pour produire tous les mouvements ;

2° Par l'enclenchement ou calage électrique à l'arrêt de l'aile du sémaphore d'un poste, maintenu tant qu'une nouvelle protection du train qu'il couvre *n'est pas assurée* en un autre point de la ligne ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3° Par l'interverrouillage (*interlocking*) ou la conjugaison des manœuvres de l'appareil électrique de correspondance avec *les leviers des sémaphores extérieurs ;*

4° Par l'emploi d'un seul fil de ligne pour les deux directions de marche.

Un poste intermédiaire se compose d'un sémaphore à deux ailes, relatives, l'une à la voie montante, l'autre à la voie descendante.

Les manivelles de manœuvre de ces ailes sont commandées par deux appareils d'enclenchement distincts, contenus dans la même boîte ; cette boîte renferme, en outre, un inducteur du type ordinaire Siemens qui sert à agir électriquement à distance sur les enclenchements des deux postes voisins.

Les liaisons mécaniques sont disposées de telle sorte que :

1° L'agent d'un poste ne peut pas débloquer électriquement le sémaphore du poste en arrière sans avoir mis son sémaphore à l'arrêt pour couvrir le train et l'avoir enclenché dans cette position.

2° L'agent du poste B [1] a seul le pouvoir de rendre libre la manœuvre de l'aile du poste A, une fois qu'elle est calée à l'arrêt. Lui seul a entre les mains la clef de la section A B dont il n'ouvre l'entrée que lorsqu'elle est dégagée et libre.

L'enclenchement est commandé par les mouvements d'un secteur denté, en prise avec une ancre d'échappement. Cette ancre est portée sur l'axe d'une armature polarisée, oscillant sous l'influence des courants alternatifs d'induction entre les pôles d'un électro-aimant. Lorsqu'aucun courant ne passe, le magnétisme de l'armature la fixe contre un des pôles, immobilisant ainsi l'ancre et le secteur. Lorsque des courants alternatifs passent dans l'électro-aimant, l'ancre oscille et permet le déplacement graduel du secteur : 1° vers le haut, ou 2° vers le bas, suivant que ce secteur est sollicité :

1° par un ressort, ou 2° par son propre poids.

Dans sa position supérieure, le secteur enclenche à l'arrêt l'aile du sémaphore, qu'il laisse libre lorsqu'il est dans sa position inférieure ; ce secteur forme aussi voyant et montre, devant un guichet de la boîte, un disque blanc ou rouge, suivant que l'aile du sémaphore est libre ou enclenchée.

Lorsqu'une section B C n'est occupée par aucun train, l'aile du sémaphore B est à l'arrêt, mais libre, et le guichet montre un voyant blanc. Si,

1. Pour faciliter l'intelligence du mouvement des trains sur une ligne, nous désignerons, dans le cours de ce travail, les postes ou stations successifs par les lettres A B C D, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans ces conditions, le signaleur B veut introduire dans cette section un train (actuellement couvert en A), il efface l'aile de son sémaphore et, par cette manœuvre, immobilise le commutateur qui sert à envoyer à A les courants déclencheurs, puis il remet l'aile à l'arrêt, après le passage du train, et son commutateur se trouve dégagé à nouveau. Pour rendre libre le sémaphore A, il enfonce la tige de son commutateur à poussoir et tourne en même temps la manivelle de l'inducteur. Deux effets se produisent alors :

1° En B, l'ancre oscille ; le secteur, rendu libre par ces oscillations, s'élève peu à peu sous *l'action du ressort* mis en jeu par la pression de la tige du poussoir ; le voyant rouge apparaît et l'aile du sémaphore est enclenchée à l'arrêt.

2° En A, l'ancre de l'appareil oscille par le passage des courants dans l'électro-aimant ; le secteur s'abaisse par *son propre poids*, montre le voyant blanc et rend libre la manœuvre de l'aile du sémaphore ; A peut alors expédier un nouveau train ; mais le premier, actuellement entre B et C, est couvert en B.

Des sonneries avertissent le signaleur du moment où son sémaphore est rendu libre.

Ce signaleur doit, en même temps qu'il introduit un train dans une section, le signaler au poste suivant par une sonnerie qui est, du reste, complètement indépendante du block, mais qui utilise le même inducteur et le même fil de ligne.

Avec ces appareils de *block*, à enchaînement continu, la protection d'un train entrant dans une section est *assurée ;* dans le cas même où un signaleur aurait abandonné son poste, le train serait arrêté, mais il serait sûrement couvert par le poste précédent.

Cet enchaînement doit être interrompu, et la continuité du *block* coupée, à toute gare importante et même éventuellement à tout point intermédiaire, toutes les fois que, en ce point, un train doit dépasser un train qui le précède. Cette suppression de la continuité se présente sous deux formes différentes, suivant l'importance plus ou moins grande de la station.

1° *Grandes gares*. — Une disposition spéciale permet à la gare B de débloquer la section précédente A B sans caler à l'arrêt aucun signal à vue dans la gare. A l'entrée de la gare est placé un appareil B_1 dit de *couverture de gare* semblable aux appareils intermédiaires, sauf que la manœuvre, qui cale l'aile à l'arrêt, en décalant l'aile du poste précédent A, a de plus pour effet de faire apparaître électriquement un voyant rouge dans un appareil B_2, situé dans le bureau de chef du mouvement de la gare et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

appelé *poste de gare*. Ce dernier appareil est lui-même semblable aux appareils précédents, si ce n'est qu'il NE MANŒUVRE PAS DE SIGNAUX A VUE, et que son secteur porte la couleur rouge dans sa partie supérieure. Il est relié à l'appareil de *couverture de gare* par deux fils.

L'aile du sémaphore du poste de couverture de gare B_1 est normalement enclenchée à l'arrêt et le voyant est rouge, ainsi que celui du *poste de gare*.

Lorsqu'un train approche de B_1, le signaleur demande au *poste de gare* B_2 par sonnerie, l'autorisation de laisser entrer le train; le stationnaire de gare manœuvre son commutateur et son inducteur; il rend ainsi libre la manœuvre de l'aile du sémaphore B_1 et fait apparaître les voyants blancs dans l'appareil B_1, par l'abaissement du secteur de B_1 et dans le sien, par relèvement de son propre secteur. Le signaleur de B_1 efface l'aile à l'arrêt et laisse passer le train. Puis, après avoir remis son sémaphore à l'arrêt, il rend voie libre au poste précédent et, par cette manœuvre, cale son sémaphore dans cette position d'arrêt et fait apparaître les voyants rouges simultanément dans son appareil et dans celui du *poste de gare* B_2 qui est ainsi prévenu que le train va entrer.

Les deux voyants restent au rouge jusqu'à l'arrivée d'un nouveau train.

Un poste B_3 symétrique de B_1, situé à la sortie de la gare et qui, pour les trains de sens inverse, remplit le rôle de *poste de couverture de gare* est en même temps l'origine de la section B C et tête de ligne où recommence la protection continue des trains, interrompue à la gare.

En reprenant sa marche, le train est simplement annoncé par sonnerie, par le poste de gare B_2 au poste B_3, où reprend le fonctionnement régulier du block.

2° *Petites gares*. — L'établissement de ces trois postes spéciaux et leur manœuvre exigerait un personnel trop nombreux pour les petites gares. On est réduit à couper, par un autre moyen, la continuité du *block* pour permettre le garage d'un train. La boîte en fonte qui renferme les organes électriques est percée d'un trou, ordinairement fermé par un clapet scellé à la cire. On peut, en enlevant ce clapet, après avoir rendu voie libre en arrière, faire osciller à la main l'ancre d'échappement, abaisser le secteur et décaler mécaniquement l'aile du poste sans l'intervention du poste suivant. Lorsqu'on expédie le train garé, le sémaphore doit être mis à l'arrêt et calé dans cette position, et ce résultat doit s'obtenir en manœuvrant à la main l'ancre et le secteur sans faire usage de courants électriques qui pourraient rendre indûment voie libre au poste précédent. Cette manœuvre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

équivaut, en somme, à la suppression de la garantie qu'on avait demandé au block de réaliser.

Pour contrôler l'usage de cette liberté, la Direction royale de Berlin a combiné un compteur qui indique combien de fois le clapet a été enlevé.

Le block system est doublé par l'emploi de cloches allemandes, dont il sera question plus loin.

Block system pour voies uniques. — Dans la disposition exposée pour l'exploitation des voies uniques, les appareils sont les mêmes que ceux de voie double. Chaque poste comporte de même deux ailes de sémaphore extérieures, commandées par deux enclenchements contenus dans la même boîte ; mais, en voie double, tous les appareils relatifs à la même direction de marche sont reliés ensemble électriquement tandis qu'en voie unique chaque appareil relatif à une direction est relié à l'appareil du poste voisin relatif à la direction inverse.

Il en résulte que, un signaleur placé en A, en rendant libre l'appareil du poste B, relatif à la direction de B vers A, cale à l'arrêt l'aile du poste A, relative à la direction de A vers B et inversement. Le système d'exploitation est le suivant :

Une gare A qui veut envoyer un train vers B demande la voie à B par le télégraphe ou par la sonnerie ; B met à l'arrêt l'aile relative à la direction de B vers A, dégage ainsi le poussoir correspondant et débloque, au moyen de l'inducteur, l'aile du sémaphore de A ; par cette manœuvre, B bloque son appareil à l'arrêt. A peut effacer son aile et expédier le train vers B ; mais B ne peut pas envoyer un train à sa rencontre. Le poste A couvre le train qu'il vient d'expédier au moyen de son sémaphore, *mais sans le caler à l'arrêt,* manœuvre qui rendrait libre l'aile de B et permettrait l'envoi d'un train à la rencontre de celui que vient d'expédier A. Il en résulte que l'aile de A restant libre, le train qu'il a expédié n'est couvert en arrière que par un signal *non enclenché* que le signaleur peut laisser à voie libre, ou remettre à voie libre autant de fois qu'il lui plaira, accumulant ainsi les trains de même sens sur une même section. Quand B voudra envoyer un train à A, il demandera la voie à ce dernier poste et celui-ci, en acceptant le train, calera à l'arrêt l'aile relative à la direction de A vers B. Donc, avec ces appareils ainsi montés, les trains sont absolument couverts en avant, mais ne sont couverts en arrière que par des signaux non enclenchés. De plus, le signaleur A ayant la possibilité d'introduire plusieurs trains dans la section A B en ne demandant la voie qu'une seule fois, le signaleur B, ignorant le nombre de trains ainsi introduits, pourrait à la rigueur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

demander la voie à A et l'obtenir pour expédier un train de B vers A avant que tous les trains allant de A vers B eussent libéré la section.

Sur les voies uniques, les cloches sont montées sur le circuit du block, de manière que la manœuvre qui donne l'acceptation d'un train déclenche toutes les cloches de la section. Ce sont d'excellents et indispensables auxiliaires.

Le nombre de kilomètres de voies doubles exploitées d'après ce remarquable « block system » est considérable, et atteindrait, au dire des inventeurs, 20,000.

Systèmes Lartigue, Tesse et Prudhomme[1]. — Les premiers appareils construits par ces habiles inventeurs et essayés au chemin de fer du Nord étaient exposés par cette Compagnie, qui n'emploie ces systèmes, au moins jusqu'à présent, que pour l'exploitation des voies doubles. Les appareils un peu plus complets et d'autres destinés à l'exploitation des voies uniques étaient exposés par le successeur de *M. Prudhomme*, M. Mors, constructeur à Paris.

Le système mis en service sur le *réseau du Nord s'applique aux exploitations à voie normalement ouverte*, et présente les caractères suivants, tels que les énumèrent les inventeurs eux-mêmes :

1° Solidarité des appareils électriques destinés à donner et recevoir les avis à distance avec les appareils mécaniques (manivelles) manœuvrant les signaux à vue ou ailes de sémaphores;

2° Simplicité de manœuvre se bornant à un *seul mouvement* pour chaque signal;

3° Emploi le plus restreint possible de l'électricité : le signal destiné à couvrir les trains en arrière est fait mécaniquement, sans aucune intervention de l'électricité, dont l'action se borne à annoncer en avant l'expédition du train, et à effacer en arrière, après sortie de la section du train protégé, le signal qui en défend l'entrée; si l'électricité fait défaut, le signal est maintenu à l'arrêt, et retarde la marche du train suivant; mais ceci ne constitue en aucun cas un danger, puisque le train arrêté ou ralenti reste protégé, et que jamais l'indication de « voie libre » ne peut se produire quand la voie est « occupée »;

4° Contrôle immédiat de tout signal électrique envoyé, par un signal automatique *en retour*, reçu par l'expéditeur aussitôt que l'effet qu'il a

1. *Emploi des électro-sémaphores Lartigue, Tesse et Prudhomme*, par M. F. Clérault, ingénieur des mines. Paris, Dunod, éditeur, 49, quai des Grands-Augustins, 1877.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

voulu produire au poste à distance est réellement produit, mais *pas avant*; permanence de cet accusé de réception, de telle sorte que chaque agent connaisse constamment non seulement l'état de son poste, mais aussi l'état des signaux des deux postes avec lesquels il est en correspondance;

5° Impossibilité d'effacer le signal couvrant l'origine d'une section, au départ d'un train, sans l'intervention de l'agent placé à l'autre extrémité de la section, qui, par l'arrivée du train annoncé, a la certitude que la voie n'est réellement plus occupée;

Par contre, réduction au temps *rigoureusement nécessaire* du délai pendant lequel la voie est maintenue *visiblement* fermée, ce délai cessant aussitôt que le train a quitté la section ;

6° Simplicité et uniformité des appareils électriques établis dans des conditions de solidité parfaite, et aussi peu susceptibles que possible de dérangements, de façon à n'exiger que peu d'entretien et à pouvoir être manipulés par les agents inférieurs, hommes ou femmes, que l'on emploie d'habitude pour la garde de la voie ou des passages à niveau;

7° Avertissement par un coup de timbre de la production de tout signal envoyé du poste correspondant.

Presque toutes les conditions que nous venons d'énumérer sont remplies par les appareils Siemens et Halske, qui ne présentent cependant, ni la manœuvre électrique directe, ni les signaux contrôleurs automatiques en retour, les autres différences résultent de ce que ces derniers appareils sont destinés à l'exploitation par sections normalement fermées, et de ce que leurs inventeurs, au lieu d'employer les courants de pile, se servent des courants induits qui, tout en ayant de réels avantages, nécessitent une double manœuvre. En outre, les appareils Siemens réalisent, entre deux sections successives, une dépendance qui n'existe pas encore dans les appareils Lartigue.

Voici comment se manœuvrent les appareils du Nord français.

A l'origine de chaque section est un poste gardé et muni :

1° D'un mât sémaphorique pour les signaux à vue ;

2° D'appareils en même nombre que les bras du sémaphore et fixés sur le pied du mât, au moyen desquels on manœuvre à la fois : *sur place*, mécaniquement, le bras auquel chaque appareil est relié ; *à distance*, au moyen de l'électricité, le bras symétrique du sémaphore correspondant;

3° Enfin, d'une pile.

Le mât sémaphorique porte, pour *chaque direction* : 1° *une grande aile* ou *bras*, à la partie supérieure ; 2° une *petite aile* ou *aileron* à mi-mât, qui est *le signal d'annonce* des trains engagés sur la section en arrière

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et se dirigeant vers le poste ; ce qui fait, pour un poste complet, deux grandes ailes, deux ailerons et quatre manipulateurs.

Ces ailes oscillent inversement, c'est-à-dire que les grandes ailes qui, sous l'action de leur propre poids, et abandonnées à cette action, pendent effacées le long du mât, se placent à l'arrêt sous l'action mécanique d'une tringle de tirage ; les petites, au contraire, sont apparentes lorsqu'elles sont libres, et s'effacent par l'effet de la traction.

Les tringles de tirage qui manœuvrent les ailes sont reliées chacune à un appareil de manipulation, à la fois *électrique* et *mécanique*. Il se compose d'un axe avec manivelle portant une bielle articulée avec la tringle de tirage de l'aile correspondante. En faisant faire à la bielle un peu plus d'une demi-révolution, on exerce une traction sur la tringle, et on amène l'aile à la position d'enclenchement, maintenue par un doigt, porté sur l'axe et qui vient poser sur un butoir. L'appareil une fois *enclenché* ne peut être déclenché que par l'envoi d'un courant du poste correspondant d'aval.

C'est là qu'intervient l'électricité. En effet, le butoir est maintenu par un levier à palette collé contre un électro-aimant Hughes ; si l'aimant est affaibli par le passage d'un courant de sens convenable, le levier est écarté par l'effet d'un contrepoids ; le butoir entraîné laisse échapper le doigt d'arrêt, la manivelle continue sa révolution, et l'aile libérée reprend sa position primitive.

Dans cette révolution de l'axe, une came hélicoïdale ramène la palette au contact de l'aimant, et le butoir dans la situation voulue pour arrêter de nouveau le doigt d'arrêt.

Le rôle de l'électricité est donc d'affaiblir l'action de l'aimant et de *déclencher à distance ;* et, à cet effet, l'appareil de manipulation de la grande aile d'un poste est relié par un fil télégraphique à l'appareil qui agit sur la petite aile au poste correspondant d'aval. Le courant est envoyé d'un appareil à l'autre par la manœuvre mécanique elle-même, au moyen d'un commutateur inverseur porté sur l'axe, et qui dans sa révolution envoie successivement soit le courant positif, soit le courant négatif de la pile.

Le premier courant se produit pendant la première demi-révolution, lorsque le garde manœuvre l'aile ; le second, pendant la seconde demi-révolution ; au moment où le signal que le poste correspondant a voulu produire est exécuté, ce second courant fournit automatiquement à ce poste, par un coup de sonnerie et l'apparition d'un voyant dans l'appareil, un accusé de réception fort utile.

Les pièces qui donnent l'accusé de réception sont actionnées au moyen

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'un électro-aimant Hughes spécial, monté inversement au premier de telle sorte que le courant qui affaiblit l'un renforce l'autre, et réciproquement.

Voici le mode d'emploi du système :

Au moment du départ du train, l'agent du premier poste A, en faisant un demi-tour de manivelle, met à l'arrêt la grande aile de son mât, et envoie ainsi un courant électrique qui fait apparaître l'aileron au poste B. Il a couvert son train et l'a annoncé ; il reçoit l'accusé de réception automatique de son avis, et son rôle est fini.

Au passage du train devant le second poste B, le garde doit couvrir le train en l'annonçant à C ; puis il manœuvre mécaniquement son aileron par un demi-tour de manivelle, et envoie par ce mouvement un courant qui *déclenche* et efface la grande aile de A ; il reçoit les accusés de réception, et devient passif à son tour. Il ne pourra effacer lui-même le signal protecteur de la section dont il garde l'entrée.

On voit que le stationnaire doit d'abord manœuvrer l'aile qui protège la section en avant, et annonce le train, et effacer en second lieu l'aile du poste A. L'ordre dans lequel s'opèrent ces deux manœuvres distinctes est nécessaire pour qu'un train ne risque pas d'être, ne fût-ce qu'un instant, sans protection.

Dans les appareils exposés par le Nord, aucune disposition mécanique n'oblige le stationnaire à suivre cet ordre logique ; les deux manœuvres sont indépendantes.

Pour remédier à cet inconvénient, M. Mors a exposé des appareils où il existe un enclenchement réciproque ou interverrouillage mécanique entre la grande aile et la petite aile d'un même poste, relatives à une même direction ; de telle sorte que le signaleur B ne peut effacer mécaniquement l'aileron pour rendre voie libre en A qu'après avoir placé sa grande aile à l'arrêt, pour couvrir le train qui vient de passer devant lui, et qu'il peut alors découvrir sans danger au poste précédent.

Il reste à donner au stationnaire le pouvoir, entouré des garanties de contrôle nécessaires, de rompre momentanément cette solidarité, quand un train doit se garer et se laisser devancer par le train précédent ; nous avons vu combien la solution de ce problème entraîne de complications dans le système Siemens et Halske et l'on comprend les hésitations des compagnies à adopter un interverrouillage qui compromettrait les mérites de simplicité du système français.

M. Mors a enfin essayé un dernier perfectionnement applicable au cas où les sémaphores, postes d'arrêt absolu, sont doublés d'un disque protecteur à distance.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un interverrouillage mécanique peut rendre le disque à distance solidaire de l'aile du sémaphore, de telle sorte que le disque ne puisse en aucun cas être ouvert, tant que *l'aile du sémaphore est à l'arrêt*. On conçoit que ce résultat puisse s'obtenir par plusieurs combinaisons mécaniques.

Le stationnaire ne pourra mettre son aile à l'arrêt et par suite rendre voie libre à l'arrière, qu'après avoir préalablement tourné le disque à distance à l'arrêt; réciproquement, lorsque l'aile de A a été mise à l'arrêt, le disque à distance ne peut plus être ouvert et reste fermé jusqu'à ce que le poste B déclenche et efface électriquement l'aile de A.

Cette dernière disposition n'a pas encore été appliquée.

Les appareils de Tesse, Lartigue et Prudhomme ont été légèrement modifiés par MM. Heurteaux et Guillot, lors de l'application qui en a été faite sur une section de la ligne de Paris à Orléans.

L'adjonction d'un commutateur permet, pendant tout le temps qu'un train est signalé par l'aileron, d'envoyer dans l'appareil électrique enclenchant l'aile au poste d'arrière un courant qui renforce l'action de l'électro-aimant enclencheur et cale doublement cette aile à l'arrêt; si, malgré cette précaution, l'aile venait à tomber indûment, le tintement d'une sonnerie spéciale d'alarme prévient les deux postes, entre lesquels a eu lieu le dérangement, que les signaux sont faussés. De plus, une sonnerie spéciale permet de savoir, dans le cas où un train arrive à un poste sans être annoncé par l'aileron, si cette irrégularité provient d'un dérangement de l'appareil électrique ou si le stationnaire précédent a oublié de couvrir sa section.

Cette sonnerie résonne sous l'action d'un poussoir d'épreuve, toutes les fois que les ailes correspondantes des deux postes sont *bien en positions concordantes* et reste silencieuse dans le cas contraire.

L'ensemble des appareils composant le système Lartigue, Tesse et Prudhomme est robuste et rustique ; tout s'y passe en plein air. La simplicité de la manœuvre est incontestablement intelligible pour tous et le desideratum exprimé par M. Preece en 1865, qui était de mettre effectivement et sans intermédiaire dans les mains du stationnaire B la clef même de l'entrée de la section A B, a reçu complète satisfaction.

Nous avons insisté un peu longuement sur ces descriptions ; d'abord elles permettent de mettre une fois pour toutes en lumière la nature et l'étendue des services qu'on peut demander à l'électricité. De plus, on voit que, dans les *deux derniers systèmes que nous venons de décrire*, les mêmes problèmes ont été proposés et résolus, mais par des combinaisons électriques et mécaniques essentiellement différentes. MM. Siemens et Halske em-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ploient les *courants d'induction*, MM. Lartigue, Tesse et Prudhomme l'*électro-aimant Hughes* et *des piles*. Le système allemand est un peu plus complet et peut-être plus savant ; l'autre est plus simple et l'électricité y a une action plus directe sur la manœuvre des signaux visuels.

Le mérite de ces inventeurs a frappé le jury, d'autant plus qu'ils ont été les précurseurs d'autres systèmes analogues dont nous parlerons plus brièvement.

Appareils Sykes (*exposés par MM. Bailey et Puskas*). — Le système de M. Sykes, postérieur aux deux précédents, s'applique à l'exploitation par sections normalement fermées.

Il réalise l'enclenchement électrique à distance, au moyen d'électro-aimants Hughes, des leviers de manœuvre des signaux à vue, et la solidarité complète entre les signaux électriques de correspondance et les signaux extérieurs, mais sans manœuvre électrique directe des signaux visuels et sans annonce en avant, visible pour tous, de l'arrivée prochaine d'un train.

On retrouve, du reste, dans les manœuvres et les combinaisons des appareils, les complications qui résultent de la nécessité d'exploiter d'après le principe de la *voie normalement fermée*.

C'est ainsi qu'il existe une véritable solidarité entre *trois* postes successifs, une sorte d'enchaînement ; le poste intermédiaire B ne peut permettre l'entrée, qui lui est demandée par A, d'un second train dans la section A B avant que le premier soit réellement engagé dans la section B C, et son sémaphore ne peut laisser entrer ce premier train dans cette section B C avant que C, sur sa demande, ait permis cette entrée.

M. Sykes emploie des appareils placés dans les cabines des postes et composés de boîtes à poussoir et de leviers de manœuvre, disposés en râtelier dans le genre des leviers Saxby et Farmer.

Les enclenchements se réalisent de la manière suivante :

1° Le bouton poussoir par lequel B peut autoriser (*et non effectuer*) électriquement l'ouverture du sémaphore de A, sur la demande de ce dernier poste, s'enclenche par son mouvement même et ne peut être manœuvré une seconde fois avant que B ait effacé d'abord, puis replacé à l'arrêt l'aile de son sémaphore lors de l'entrée du train dans la section B C, entrée que C seul peut permettre.

2° Le levier qui manœuvre l'aile d'un sémaphore B s'enclenche de même par la manœuvre complète en deux mouvements (*effacement et remise à l'arrêt de l'aile*) et ne peut être libéré ou déclenché que par le courant envoyé par le bouton poussoir du poste suivant C.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cet enclenchement est obtenu par un verrou maintenu en prise par un *électro-aimant Hughes*, tant que celui-ci retient son armature au contact. Lorsque le courant électrique envoyé au moment voulu, par le poussoir du poste suivant, annule l'action de l'aimant, le verrou est relevé et dégagé par une tige formant contrepoids.

La boîte de l'appareil porte deux guichets à voyants, l'un inférieur, relatif à la section précédente, l'autre supérieur, relatif à la section suivante.

Voici maintenant comment se produisent les manœuvres successives :

Si aucun train ne se trouve entre B et C, le bouton poussoir de C qui sert à libérer en B l'aile du sémaphore commandant la section BC est *libre* et le voyant inférieur en C est *blanc*.

Lorsque B demande la voie, ce qu'il fait par un coup de timbre donné par un manipulateur spécial, C enfonce son poussoir qui revient en avant par l'action d'un ressort.

Cette manœuvre produit les effets suivants :

1° *Au poste C*, le poussoir se trouve immobilisé, le voyant inférieur passe au *rouge* et montre l'indication : *un train vient de B*.

2° *Au poste B*, l'électro-aimant Hughes abandonne son armature, le voyant supérieur portant les mots *bloqué vers C* disparaît et est remplacé par le voyant *Voie libre vers C* et le levier de l'aile du sémaphore est déclenché. B peut alors effacer son signal pour introduire un train dans la section BC.

La manœuvre du levier qui efface l'aile du sémaphore ramène la palette de l'électro-aimant Hughes au contact et fait reparaître dans le guichet supérieur l'indication *bloqué vers C*.

La manœuvre inverse de fermeture remet le verrou en prise et enclenche le levier; et d'autre part elle rend libre le poussoir de B qui peut alors donner voie libre à A, mais seulement lorsque le levier manœuvrant l'aile du sémaphore est complètement ramené à la position d'arrêt, qu'il est enclenché automatiquement dans cette position et que le premier train engagé dans la section BC est effectivement couvert.

Cette même manœuvre de remise à l'arrêt de l'aile du sémaphore B envoie au poste A un courant électrique qui efface le bras d'un petit sémaphore répétiteur ; cette position effacée indique à A que le premier train a quitté la section A B et qu'il peut demander la voie pour un nouveau train ; le bras répétiteur de A reparaît par l'action du courant que le poussoir B envoie à A pour déclencher le levier de manœuvre de l'aile du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sémaphore de ce poste et permettre à ce nouveau train de s'engager entre A et B après que le poste A en a fait la demande.

C'est une information précieuse, surtout quand il s'agit d'exploitations par sections normalement fermées.

Ce système présente des dispositions mécaniques simples, commodes, bien étudiées et remarquablement exécutées.

Comme tous les systèmes qui n'ont pas recours au principe de l'automaticité mécanique mise en jeu par le train lui-même, il ne prévoit pas toutes les éventualités.

Il peut arriver qu'un signaleur C empêché par le brouillard, par exemple, de voir le train venant vers lui, demande la voie à D, fasse la double manœuvre de son sémaphore, croyant voir passer le train. Il l'arrête effectivement avant ce sémaphore et use de son poussoir libéré pour faire entrer un second train dans la section BC. C'est un cas évidemment exceptionnel, pour lequel M. Sykes a pourtant étudié une pédale automatique, analogue à celles de M. Hodgson et de M. Spagnoletti dont nous parlerons plus loin.

Enfin, en cas de garage d'un train, il faut adopter, comme dans tous les systèmes à enchaînement, des dispositions spéciales, pour interrompre la continuité du *block*.

Sur les points de bifurcations ou de garages, les poussoirs déclencheurs sont enclenchés mécaniquement par des pièces dépendant des leviers des signaux et des aiguilles, de telle façon que l'aile d'un sémaphore ne puisse être effacée avant que les aiguilles aient été faites pour une direction réellement libre et immobilisées dans cette position.

Block system Regnault pour double voie. — C'est ici que viennent, dans notre revue, se placer les appareils nouveaux exposés par M. Regnault l'habile ingénieur électricien qui a établi les systèmes exposés par la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, où il est si bien secondé dans ses travaux par M. Noblet.

La Compagnie des chemins de fer de l'Ouest a employé jusqu'ici des appareils de correspondance électrique, simples, dits appareils indicateurs Regnault. Ces appareils ont une certaine analogie avec les appareils Tyer ordinaires. Chaque poste comporte une pile, une sonnerie et un appareil indicateur.

Le système employé actuellement sur la ligne ne présente pas de solidarité entre les signaux optiques extérieurs, disque d'arrêt absolu, et disque à distance, s'adressant au mécanicien, et les indications s'adressant au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

signaleur seulement. Mais dans le système exposé, il y a solidarité complète entre ces appareils.

Dans les manipulateurs, on retrouve l'action complète des poussoirs et des aiguilles indicatrices dont les mouvements sont tellement combinés entre les deux postes correspondants, qu'ils font connaître à chacun des deux stationnaires la situation où se trouvent les deux sections attenantes. Ces indications leur dictent les manœuvres à faire [1].

Les additions faites par M. Regnault à son système primitif sont les suivantes :

1° Un enclenchement mécanique entre les signaux optiques d'un poste et les poussoirs de l'appareil indicateur du même poste ; grâce à cet enclenchement un stationnaire ne peut donner *voie libre* en arrière avant d'avoir couvert le train par son disque à distance, ni annoncer un train en avant, avant d'avoir placé à l'arrêt le signal local carré, qui ferme l'entrée de la section en avant.

2° Une serrure électrique permettant au poste B d'autoriser ou d'empêcher la manœuvre du signal local du poste A ; son fonctionnement est solidaire des indications des aiguilles indicatrices du poste B. Elle réalise la solidarité entre les manœuvres de deux postes par l'intermédiaire des manipulateurs.

La disposition de la serrure est la suivante : un cliquet fixant le pêne est porté par l'armature d'un électro-aimant Hughes. Au repos, l'armature est au contact et le cliquet est en prise. Un courant négatif envoyé par le poste B annule l'électro-aimant, laisse échapper l'armature et le cliquet sous l'action d'un ressort antagoniste très faible ; il ouvre ainsi la serrure, qui reste ouverte jusqu'à ce qu'un courant positif envoyé par la manœuvre du disque lui-même ait renforcé l'électro-aimant, qui attire alors directement son armature et remet le cliquet en prise. Le disque est ainsi enclenché par la manœuvre même qui le met à l'arrêt.

Block system Regnault pour voie unique. — La serrure électrique est encore plus utile dans le cas de la voie unique. Chaque gare est munie de deux disques de départ normalement fermés et enclenchés électriquement. Le stationnaire de A ne peut pas ouvrir lui-même la serrure électrique qui enclenche son disque de départ vers B ; c'est B qui l'ouvre. A doit donc demander la voie à B ; or, il ne peut le faire si l'aiguille de l'indicateur lui annonce un train en sens inverse.

1. Voir les détails de construction dans la brochure *Appareil indicateur de Regnault.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il ne peut ni rendre la voie libre à B ni lui demander la voie avant d'avoir protégé par son disque à distance le train qui vient vers lui, et d'avoir fermé son disque de départ vers B ; pour ouvrir la serrure deux fois de suite, il serait nécessaire d'avoir le concours de l'agent du poste suivant. (Ce résultat s'obtient par un relais et une pile locale.)

Tous les appareils du système Regnault sont remarquablement étudiés et construits.

Block system avec solidarité réciproque des signaux et des indicateurs de MM. Jousselin et Havard (Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.) — Enfin, MM. Jousselin et Havard, par une addition analogue faite au système simple Tyer Jousselin, ont résolu le même problème de la solidarité entre les indicateurs et les signaux à vue. Ils emploient dans ce but :

1° Un enclenchement électrique formé par un *électro-aimant spécial verrouillant* le poussoir d'appel de l'appareil Tyer tant que le sémaphore est à *voie libre*. Un agent ne peut donc pas annoncer un train en avant sans avoir mis son sémaphore à l'arrêt, c'est-à-dire sans avoir couvert la section qu'il garde. Cet *interverrouillage* a toujours l'inconvénient d'exiger des complications qui l'annulent pour les cas de garages dans les postes principaux.

2° Un *verrou électrique* porté directement par l'armature d'un électro-aimant ordinaire et commandé par le courant venant de l'appareil Tyer du poste suivant.

Ce verrou enclenche la manivelle du sémaphore dans la position d'arrêt, et l'y maintient tant que le poste suivant n'a pas rendu voie libre en arrière. Ainsi se trouve réalisé l'interverrouillage électrique entre les appareils Tyer du poste B et la manœuvre des signaux optiques du poste A.

C. — *Block systems à combinaisons automatiques.*

Il y a des degrés dans l'application du principe de l'automaticité à la protection des trains par sections cantonnées.

Certains inventeurs, conservant les appareils déjà connus, se contentent d'y adjoindre quelques dispositions automatiques qui guident et règlent, sans défaillance possible, les diverses manœuvres que doivent faire les stationnaires ; de ce nombre sont les appareils Saxby et Hodgson, Spagnoletti, Sykes.

D'autres vont plus loin, suppriment les signaux optiques, comme font MM. Ducousso frères et le professeur Ceradini, suivant ainsi les traces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des inventeurs américains, Rousseau et consorts, dont les combinaisons sont absolument automatiques.

Block system Saxby et Hodgson. — L'appareil exposé par ces habiles ingénieurs est destiné aux voies doubles exploitées par sections normalement fermées. On y trouve réalisé, par des dispositions assez compliquées, l'enclenchement électrique à distance des poignées de manœuvre des grils d'interverrouillage ordinaire des appareils Saxby. A chaque poste, le levier de signal de départ, origine de la section, est normalement enclenché dans la position d'arrêt; le poste A demande la voie au poste B qui la donne en déclenchant électriquement le levier de manœuvre de ce signal. Mais le poste B ne peut donner cette autorisation :

1° Avant d'avoir convenablement tourné un gril Saxby qui immobilise les aiguilles et signaux pouvant donner entrée ou traversée sur la voie que va parcourir le train annoncé. Le mouvement du poussoir B, qui envoie à A le courant électrique déclencheur, enclenche ce poussoir de telle manière qu'il n'est plus possible au signaleur B de donner une seconde fois la même liberté au poste A. Il cale en même temps les leviers de B dont la manœuvre serait dangereuse.

2° Avant que le train précédent ait dépassé une pédale électrique placée entre B et C, et qui a pour objet de rendre libre le poussoir de B, enclenché, comme nous l'avons dit, depuis le moment de passage du train précédent.

Nous devons ajouter que, pour le cas où le principe de l'automaticité ne serait pas accepté, les inventeurs ont prévu l'usage d'une clef spéciale placée sur l'appareil du poste B et qui produit, manœuvrée à la main après le passage du train annoncé, le même effet que la pédale mise en mouvement par les roues de ce train.

La pédale commutateur employée est d'un modèle connu : elle fonctionne par dépression du rail sous le poids de la locomotive [1].

Les enclenchements sont assurés par le jeu d'électro-aimants ordinaires.

Sous cette dernière forme, le système a eu quelques applications en Belgique, entre Bruxelles et Anvers.

La pédale automatique n'a point encore été mise en service.

Block system automatique Spagnoletti. — M. Spagnoletti a résolu iden-

1. Voir Langdon.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tiquement le même problème, en appliquant à son ancien appareil une disposition partiellement automatique, qui a également pour objet l'enclenchement électrique à distance du levier de manœuvre du signal du départ du poste origine de section, au moyen d'un poussoir placé au poste suivant, ce poussoir étant lui-même commandé automatiquement par une pédale analogue à celle de MM. Saxby et Hodgson. A cet effet, un verrou électrique enclenche la manette à ressort du levier Saxby qui manœuvre le signal, aussitôt que ce signal est ramené à la position d'arrêt; ce verrou ne peut être ouvert que par le courant électrique lancé par le poussoir du poste B; mais ce poussoir, en lançant ce courant, coupe lui-même sa communication avec le poste A, si bien que, quand le verrou du levier de A a été dégagé une fois, le poste B n'a plus aucune action sur lui. Le poussoir de B commande donc la manœuvre du signal de A et n'a pas le pouvoir de le rendre libre deux fois de suite. C'est précisément le passage du train sur la pédale électrique automatique qui peut lui rendre ce pouvoir épuisé.

Le fonctionnement de cette pédale met en jeu un électro-aimant spécial qui rétablit la continuité interrompue du fil de ligne.

Un voyant indicateur, mû par le verrou, indique au signaleur A si son levier est libre ou enclenché.

Ce système, comme le précédent, est fondé sur le principe d'une triple solidarité, c'est-à-dire sur la dépendance de la manœuvre des leviers du poste A, de celle du bouton poussoir de B, dont les mouvements sont eux-mêmes absolument commandés par le jeu de la pédale automatique.

Il y a beaucoup d'analogie entre ces appareils et ceux de MM. Saxby et Hodgson ou Sykes, qui ont combiné aussi le jeu des appareils de block avec l'enclenchement mécanique ou électrique des divers signaux et aiguilles de la gare, dans les positions qui correspondent au libre passage du train.

La pédale Spagnoletti n'est point encore appliquée.

Appareils de block system à liaison automatique avec les signaux optiques. (*Direction des chemins de fer de l'État prussien à Elberfeld.*) — Nous croyons devoir ranger dans la catégorie des systèmes à combinaisons automatiques incomplètes celui qu'expose la direction des chemins de fer de l'État d'Elberfeld.

Une longue pédale, abaissée par la première roue du train, place *mécaniquement* à l'arrêt le sémaphore protecteur de la section où il entre, et actionne en même temps une sonnerie à la station en avant. Cette station

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

prévenue attend le train, et déclenche *électriquement* pour remettre à « voie libre » le sémaphore origine de la section en arrière, lorsque le train a quitté cette section.

Le système est évidemment simple, mais il est loin d'offrir les garanties que peuvent donner maintenant les enclenchements réciproques dont nous avons montré plusieurs exemples.

Système Ducousso frères. — MM. Ducousso frères exposent un commutateur qui joue un rôle capital dans un block system où la protection du train est obtenue automatiquement.

Les inventeurs n'emploient point de signaux à vue : ils se servent de contacts fixes placés sur la voie, en relation électrique avec des sifflets électro-automoteurs placés sur les locomotives.

Les traits caractéristiques du système sont les suivants :

1° Il donne automatiquement la protection des trains ;

2° Il supprime tous signaux à vue ;

3° Il nécessite l'intervention d'un agent pour effacer la protection, sans que cet effacement puisse jamais avoir lieu avant qu'une seconde protection du train soit assurée au poste suivant.

MM. Ducousso emploient :

1° Le sifflet électro-automoteur Lartigue, Forest et Digney, en relation avec une brosse portée par la machine à l'alignement d'une première série de contacts fixes.

2° Une seconde brosse placée aussi sur la locomotive, et servant de ferme-circuit entre une seconde série de contacts fixes correspondants, et la terre.

3° Le commutateur spécial exposé.

4° Une pile.

Le commutateur est le seul appareil que nous devions décrire. Il est formé de deux électro-aimants Hughes : l'un, l'inférieur, qui sert à assurer la protection des trains ; et l'autre, le supérieur, qui enclenche le premier, c'est-à-dire qui empêche l'effacement de la protection, tant qu'une deuxième protection ne leur est point assurée au poste suivant.

A cet effet, les armatures des électro-aimants, sollicitées par des ressorts antagonistes, sont mécaniquement solidaires, de telle sorte que l'armature de l'électro-aimant inférieur, séparée des pôles, ne peut être ramenée au contact qu'après que l'armature de l'électro-aimant supérieur en a elle-même été détachée par un courant de sens convenable.

Quand ce double mouvement conjugué s'est produit, un levier spécial,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

manœuvré à la main, permet de ramener du même coup les deux armatures au contact de leurs électro-aimants ; l'armature de l'électro-aimant inférieur, qui est celui qui sert à la protection, forme commutateur, et met, lorsqu'elle est éloignée des pôles, le pôle positif d'une pile en relation avec le contact fixe déclencheur du sifflet électro-automoteur de la locomotive.

Voie double. — Sur la voie sont disposées deux séries de contacts fixes, touchés à chaque passage par l'une ou l'autre des brosses de la machine.

1° Le contact fixe protecteur est à 1,500 mètres avant la gare. Il est compris dans le circuit même du fil de ligne et manœuvre le sifflet électro-automoteur.

2° Le second contact est placé dans la gare : c'est celui sur lequel vient passer la seconde brosse métallique ferme-circuit.

Une machine, en passant sur le contact fixe placé dans la gare, ferme le circuit de l'électro-aimant Hughes inférieur du commutateur, en y lançant un courant positif qui lui fait abandonneur son armature.

C'est ainsi que le contact fixe situé à 1,500 mètres en arrière de la gare se trouve chargé, de sorte que tout mécanicien survenant sera prévenu par le jeu de son sifflet électro-automoteur. L'électro-aimant supérieur du commutateur, sur lequel le courant positif n'a pas d'action, maintient son armature, et toute tentative du stationnaire pour ramener au contact la palette de l'électro-aimant inférieur et effacer la protection n'a aucun effet, puisque cette palette est mécaniquement enclenchée par l'armature supérieure.

Quand la machine arrive au poste C, elle déclenche l'électro-aimant inférieur de ce poste, et charge le contact fixe qui le protège en arrière.

Ce mouvement envoie au poste B un courant négatif, qui déclenche l'électro-aimant supérieur, y fait résonner une sonnerie et paraître un voyant indiquant au stationnaire que l'armature inférieure est libre et que la protection peut être effacée.

L'agent B ramène d'un même coup de levier les deux armatures au contact, et rend libre la section BC.

Un train, en un point quelconque de son parcours, est donc protégé à une distance de 1,500 mètres au moins. Une rupture de fil, une négligence des agents, ou une communication imparfaite sur le contact de manœuvre du commutateur situé dans la gare n'a pour effet que de laisser bloquer la section en arrière.

Voie unique. — Pour les voies uniques, le contact fixe à distance,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

situé à gauche de la section B, est chargé en même temps que le contact placé à droite de la station C.

Deux fils de ligne suffisent, sur la voie double comme sur la voie unique, pour la circulation dans les deux sens.

On voit que la sécurité de la circulation repose complètement sur le parfait fonctionnement des appareils portés sur la machine. Un défaut de communication électrique entre la brosse et le contact fixe à distance donnerait une fausse sécurité. C'est là un inconvénient qu'on ne rencontre pas dans l'appareil Céradini, analogue, sous le rapport de la disposition, mais dans lequel le principe est opposé, l'absence de signal indiquant « danger ».

Il y a un autre cas où le système serait en défaut : c'est celui où un train aurait, à l'insu de ses agents, laissé des véhicules sur la voie entre deux stations; la machine continuant sa marche et actionnant les commutateurs, le signal de voie libre serait donné à tort au train suivant. C'est, du reste, un reproche qu'on peut faire à tous les systèmes de block automatiques, sauf, je crois, au système américain de l'Union, qui n'était point exposé, et à celui de M. Sauvajon qui place un second contact sur la dernière voiture du train, disposition, du reste, inapplicable dans la pratique des chemins de fer qui ne sauraient s'accommoder d'une pareille spécialisation de véhicules.

Le commutateur exposé par MM. Ducousso frères a été trouvé simple, ingénieux et d'une construction bien combinée.

Block system automatique par signaux acoustiques placés sur les machines de M. Céradini. — On voit, par ce titre, que le système de M. Céradini se rapproche beaucoup du précédent. Il offre comme traits caractéristiques :

1° Que les signaux destinés aux mécaniciens se produisent exclusivement sur la locomotive même, et sont *principalement acoustiques*.

2° Que l'absence ou le non-fonctionnement de ces signaux indiquent « danger ».

Chaque machine porte une pile et deux boîtes de déclenchement, entièrement semblables à celles du sifflet électro-automoteur Lartigue, Forest et Digney.

L'un de ces déclenchements actionne un sifflet, l'autre un jet de vapeur. Ils sont en relation électrique avec quatre brosses métalliques portées par la machine. Des contacts fixes établis entre les rails, à des points déterminés de la voie, mettent ces brosses en relation, les unes avec la terre, les autres, avec les appareils des stations. Chaque gare est munie

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de deux commutateurs, placés dans le bureau du chef de gare : l'un concernant la section en arrière, l'autre la section en avant de la gare; ils portent des voyants.

Dans le cas de la *voie unique*, la ligne est divisée en sections commençant, pour la direction de C vers D, au disque à distance placé avant la gare C, et finissant à l'aiguille d'entrée de la gare D, et inversement pour la direction de D vers C; de sorte qu'entre le disque à distance protecteur d'une gare (qu'on peut supprimer, et dont nous ne parlons ici que pour faciliter nos explications) et l'aiguille d'entrée de la même gare, le train se trouve à la fois dans deux sections de block.

Quand un train franchit le disque à distance de C, il passe sur deux contacts dont un en relation constante avec la terre, actionne le jet de vapeur.

Ce jet se fait donc toujours entendre à ce moment, indiquant au mécanicien qu'il entre dans une nouvelle section; si la section est libre, le sifflet de *voie libre* ou de *sûreté* résonne par l'effet du second contact fixe; le courant actionne en même temps deux commutateurs électro-magnétiques, placés, l'un dans la gare C, l'autre dans la gare D, et met au rouge leur voyant; le jeu des commutateurs interrompt la communication avec la terre des contacts protecteurs à distance, commandant le sifflet de sûreté et situés, tant à la gauche de C qu'à la droite de D. Tout train suivant, ou tout train venant en sens contraire sera prévenu, avant d'entrer dans la section C D, par le *non-fonctionnement du sifflet de sûreté*, que cette section est déjà occupée. Au passage sur le contact placé à l'aiguille d'entrée de C (fin de la section), le sifflet de sûreté se fait également entendre, envoyant le courant dans les commutateurs des gares B et C correspondants, et concernant la section B C; leurs voyants passent au blanc, les communications électriques sont rétablies entre la terre et chacun des deux contacts extrêmes qui protègent la section B C : cette section B C est *redevenue libre*.

Si une section C D est occupée, le sifflet de sûreté ne fonctionne pas au disque à distance de C, le train s'arrête en gare, *et n'est autorisé à continuer sa route par le chef de gare* que lorsque celui-ci a constaté que le voyant du commutateur est redevenu blanc; à ce moment, le train précédent ou venant en sens contraire a en effet quitté la section. Dans ce cas, le sifflet fonctionnera à l'aiguille de sortie de C, en bloquant à nouveau la section C D; dans tous les autres cas, il n'y fonctionne pas.

Pour la voie double, les dispositions sont analogues, sauf que les contacts et les disques à la sortie des gares sont sur la seconde voie, sans communications électriques avec les appareils de la première voie. Comme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

il faut qu'en *voie unique* le sens du courant puisse varier avec le sens de la marche *un commutateur inverseur* est placé sur la machine, et manœuvré, soit par le mécanicien, soit automatiquement.

Dans le cas de manœuvres dans la gare, et aussi dans le cas de croisements réguliers des trains, l'appareil doit être immobilisé par un *interrupteur* pour éviter de transmettre des signaux inexacts par les contacts, et d'occuper la section en avant inutilement.

Le signal de *voie libre* étant affirmatif pour le mécanicien, une suppression de signal, due à un dérangement des courants, a pour effet d'arrêter le train.

La sécurité s'obtient sans l'intervention du personnel des gares, et sans jamais fermer inutilement une section (sauf dans le cas de dérangement des appareils).

Le système a fonctionné entre les gares de Gênes et de Recco, et la Commission qui l'a examiné a décidé qu'il y avait lieu d'en prolonger l'essai, depuis la *gare de Gênes* jusqu'à *Sestri Levante* (45 kilomètres). Cette application plus étendue est actuellement en préparation.

En décernant à M. le professeur Céradini une récompense d'ordre supérieur, le jury a voulu reconnaître le mérite d'un travail très savant, très soigné et très approfondi, bien plutôt qu'il ne s'est cru fondé à recommander un système de protection automatique des trains d'un mécanisme incontestablement compliqué, d'un fonctionnement délicat, et encore insuffisamment sanctionné par la pratique.

§ II. — *Appareils auxiliaires de protection automatique.*

Nous croyons devoir classer ici deux systèmes automatiques qui n'ont été essayés et appliqués que comme auxiliaires utiles des méthodes d'exploitation déjà installées et non comme instruments d'un block-system automatique auquel ils pourraient être appliqués. Ce sont des mesures de sécurité additionnelles et qui, comme telles, peuvent être très efficaces, sans rien changer aux habitudes de service et de responsabilité du personnel.

Sifflet électro-automoteur Lartigue, Forest et Digney. — Cet appareil construit par M. Digney figurait dans l'exposition du chemin de fer du Nord, qui l'a appliqué à toutes ses locomotives à voyageurs depuis 1872. Nous avons vu que plusieurs inventeurs en font usage, comme MM. Céradini et Ducousso frères.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cet appareil, fondé sur les propriétés de l'électro-aimant Hughes, permet d'utiliser un courant de très courte durée, pour produire un mouvement mécanique qui agit soit sur la manette d'un sifflet à vapeur permanent placé sur la locomotive, soit sur la valve motrice d'un frein à vapeur ou à air, comme dans le dispositif étudié et appliqué par MM. Delebecque et Bandérali.

L'électro-aimant Hughes, affaibli par le passage d'un courant de sens convenable, lâchera sa palette sollicitée par un ressort antagoniste, et ce mouvement de la palette suffit pour actionner un sifflet ou déclencher un contrepoids qui développe telle puissance qu'on veut et peut produire les effets les plus variés.

Il s'agit donc simplement d'envoyer le courant voulu au moment opportun dans l'appareil.

1° Ce courant peut venir, d'un contact à surface métallique fixe, isolé sur la voie, de deux mètres de longueur, mis en relation électrique avec un commutateur qui est manœuvré par un disque à l'arrêt, par un sémaphore ou même directement.

Le contact fixe transmet le courant qui lui arrive à une brosse métallique portée par la locomotive et de là au fil de la bobine de l'électro-aimant, puis à la terre, par les parties métalliques de la machine et le rail.

Le mécanicien peut donc être prévenu à toute distance par le sifflet automatiquement déclenché qu'il approche d'un signal à l'arrêt. Si c'est le frein que le courant déclenche, le train s'arrête automatiquement. Le sifflet ou le frein ne peuvent cesser d'agir que lorsqu'ils sont *renclenchés* par la main du mécanicien.

Tout point dangereux peut être effectivement protégé par ce système.

2° Le courant déclencheur peut venir aussi du train, par l'intermédiaire de l'intercommunication électrique Prudhomme ; et alors le sifflet ou le frein sont à la disposition des conducteurs et même des voyageurs, si on ne craint pas les abus.

La compagnie du Nord a doublé tous les disques à distance de son réseau de cet appareil protecteur, si utile en cas de brouillard ou en cas d'extinction des feux des signaux, et en a mis l'usage entre les mains des conducteurs de tête des trains.

Système de protection automatique des trains à l'approche des gares. — La Compagnie du chemin de fer du Nord a essayé récemment un système dont les combinaisons ont quelque analogie avec celles qu'ont ultérieurement étudiées MM. Ducousso frères et que nous avons décrites. Il a pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

objet de couvrir effectivement et automatiquement un train, aussitôt après son passage devant le disque à distance protecteur d'une station ou d'un poste de block. Il a été étudié daus ses détails par M. Forest, chef des études au Nord, sur l'initiative de M. Mantion, ingénieur en chef.

Outre le contact fixe (à qui sa forme allongée a fait donner le nom pittoresque de *crocodile*) placé à 200 mètres avant le disque et relié à la pile qui le charge, se trouve, au pied du disque, un second contact auxiliaire, en relation constante avec le pôle négatif d'une seconde pile spéciale placée dans la gare.

Dans le circuit de ce second contact, et utilisant le même fil de ligne, se trouve un commutateur inverseur *manœuvré par un électro-aimant Hughes* placé également dans la gare, près du levier du disque et solidaire de ce levier.

Dans la position de repos, ce commutateur n'a aucune action ; il est neutre dans le circuit.

Mais si une *locomotive* munie de brosse passe sur le deuxième contact, les relations électriques des piles entre elles et avec les contacts fixes sont telles que la machine fait l'office de *ferme-circuit* pour le courant négatif de la pile du disque ; ce courant passe par le sifflet électro-automoteur de la machine (sensible seulement au courant positif) *sans le déclencher*, mais il va déclencher l'électro-aimant Hughes (sensible au courant négatif) *du commutateur inverseur* de la gare, qui, mettant à la terre le pôle négatif de la pile auxiliaire, place immédiatement le premier contact à distance dans l'état électrique propre à actionner automatiquement le sifflet ou le frein de tout train survenant en arrière ; de plus le commutateur inverseur fait retentir à la gare une sonnerie qui avertit qu'un train arrive et doit être protégé par le signal à vue. Le signaleur met le disque à distance à l'arrêt ; par cette manœuvre, il replace le commutateur dans sa première position et laisse chargé le premier contact jusqu'à ce que le disque soit effacé à nouveau.

Cette combinaison paraît devoir être d'un emploi avantageux dans certains cas particuliers et sur des lignes où l'importance de la circulation n'est pas suffisante pour justifier l'installation du block system.

§ III. — *Communication électrique continue entre les trains en marche se suivant sur une même ligne.*

Plusieurs systèmes réalisant le programme de la création d'une communication électrique continue entre les trains en marche étaient exposés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tous reproduisent plus ou moins le système Bonelli. Aucun ne paraît assez perfectionné pour être distingué des autres et recommandé à l'attention des compagnies.

Toutefois, pour donner une idée générale du problème dont les inventeurs cherchent la solution, nous dirons quelques mots du projet exposé par M. Baillehache en 1878 et encore en 1881, sans qu'un pas important dans le sens de la pratique puisse être signalé entre ces deux dates.

Le fourgon de tête de chaque train est transformé en un véritable poste télégraphique ambulant à une direction.

Le point délicat est le dispositif destiné à assurer la communication entre les trains et le fil de ligne. Le conducteur électrique est un fil télégraphique suspendu à des potelets placés de 20 en 20 mètres en alignement parallèle aux voies et à une distance telle que le fil, à une hauteur de $2^{m},30$ au-dessus du rail, se trouve dans l'espace compris entre le gabarit profil des ouvrages d'art et le gabarit de chargement. Les collecteurs de courant sont des brosses métalliques frottant sur le fil et portées par des leviers qui peuvent faire *saillir ou rentrer* les brosses, si c'est nécessaire.

Les résultats cherchés sont les suivants :

1° Un train en marche ou en détresse peut communiquer avec les gares.

2° Deux trains peuvent communiquer entre eux sur une même voie ou sur deux voies différentes.

3° Un ensemble de communications électriques reliant à un poste central, par des contacts successifs, les diverses sections isolées d'une ligne, permet de représenter graphiquement dans le bureau d'un chef de service les positions relatives des différents trains échelonnés sur la ligne.

4° En intercalant dans le circuit de cette communication télégraphique continue les appareils spéciaux destinés aux mécaniciens, on permet à tous les postes télégraphiques en correspondance de déclencher sur la machine un signal avertisseur ou même de déclencher les freins continus du train, etc., etc.

Ce programme est si complexe qu'il semble, en ce moment, irréalisable, et le jury a de beaucoup préféré l'appareil télégraphique à cadran avec récepteur imprimeur exposé par M. Baillehache et dont il sera question plus loin, à son projet complexe d'exploitation des lignes ferrées par communication télégraphique permanente ou facultative entre les trains et les postes fixes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ IV. — *Protection des gares par enclenchements électriques à distance des leviers de manœuvre des signaux et des aiguilles* [1].

Nous devons classer ici un certain nombre d'appareils électriques qui sont spécialement destinés à la protection des gares.

MM. Siemens et Halske en présentent une série de ce genre ; d'autres sont exposés par M. Fritz Marti (Suisse) et les chemins de fer badois (système Schnabel et Henning), par la direction royale de Francfort-sur-le-Mein et par la direction des chemins de fer d'Alsace-Lorraine.

Système d'interverrouillage mixte mécanique et électrique des signaux et aiguilles, placé sous la responsabilité directe du chef de gare (*MM. Siemens et Halske, de Berlin*). — Le premier modèle exposé par MM. Siemens et Halske (groupe IV de la gare de Breslau) représente l'installation d'un appareil central destiné à assurer la sécurité dans un groupe de voies servant à la fois au départ, à l'arrivée et au passage sans arrêt de trains tout formés et aux manœuvres de formation des trains. Ce cas est très répandu en Allemagne, même dans les grandes gares.

L'appareil exposé par MM. Siemens et Halske diffère essentiellement de l'appareil Saxby, en ce sens que, dans le système Siemens créé pour les besoins des gares allemandes, les aiguilles disséminées dans la gare sont toutes *manœuvrées sur place* et restent complètement *libres* pour les manœuvres quelles qu'elles soient, tant que les signaux d'entrée en gare sont placés à l'arrêt ; mais chaque aiguille est pourvue d'un verrou et un poste central a pour fonction de manœuvrer harmoniquement ces verrous et les signaux protecteurs de la gare. L'appareil exposé se compose de deux parties destinées à des buts différents :

1° Un enclenchement *purement mécanique* solidarise les leviers des signaux et ceux qui commandent par fils et par chaînes les verrous de chaque aiguille de manière qu'aucun signal d'entrée en gare ou de sortie ne puisse être mis à la position de « passage » avant que le signaleur du poste central ait manœuvré tous les leviers de verrous qui immobilisent les aiguilles dans les positions requises pour la sécurité du train. Si l'une des aiguilles ne se trouve pas placée dans la position convenable, le verrou résiste, son levier ne peut pas être renversé et le signal reste enclenché jusqu'à ce que le garde local ait manœuvré l'aiguille.

1. *Revue générale des chemins de fer*, juillet 1880.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Par ce premier appareil, la sécurité est donc complètement assurée dans le groupe de voie considéré ; mais il est utile que les manœuvres de ce groupe soient mises en harmonie avec celles des groupes voisins ; et, comme le chef de station ou chef du mouvement de la gare reçoit seul les communications intéressant le service, les principes de centralisation adoptés en Allemagne veulent que le chef de station soit seul aussi à commander l'ordre de succession des différentes manœuvres. De là l'utilité de la seconde partie de l'appareil.

2° Chaque levier de signal, outre l'enclenchement mécanique, est normalement immobilisé par un appareil électrique, tout à fait analogue à l'appareil de « block » et mis en relation avec un appareil de commande placé dans le bureau du chef de mouvement de gare. Cet agent supérieur, lorsqu'il veut faire entrer ou sortir un train, agit sur un poussoir correspondant à la voie qu'il veut libérer et tourne son inducteur.

Cette manœuvre a deux effets :

a. Elle cale l'appareil du chef de mouvement de gare, de sorte qu'il ne peut plus commander une autre manœuvre incompatible avec la première, avant que le signaleur lui ait rendu la liberté.

b. Elle libère l'enclenchement électrique qui immobilisait le levier du signal que le chef de mouvement de la gare veut faire effacer ; l'apparition d'un voyant blanc au-dessus de ce levier avertit le signaleur du poste central qu'il doit lancer les verrous, puis mettre à « voie libre » le signal libéré. — Quand le train est entré ou sorti, ce signaleur rend la liberté au chef de mouvement, en actionnant l'appareil de block qui surmonte son levier, et, par cette manœuvre, cale de nouveau ce levier à l'arrêt.

En résumé, le chef de gare est ainsi rendu seul maître du mouvement des trains à l'entrée et à la sortie de la gare, tout en laissant les aiguilles intérieures complètement libres pendant tout le temps qu'il est possible de le faire sans danger. Il peut seul donner à la fois l'ordre et la faculté matériels d'effacer un signal protecteur.

Ce système est appliqué dans une dizaine de gares.

Dans *une autre disposition*, les verrous ne sont même plus manœuvrés mécaniquement par le poste central, *mais sont commandés électriquement à distance*.

Les dispositions adoptées sont les suivantes :

Dans chacune de ses positions extrêmes, l'aiguille laisse libre, par une liaison mécanique, le poussoir de l'un ou l'autre de deux appareils analogues à l'appareil ordinaire du block system.

L'agent qui a manœuvré l'aiguille agit sur le poussoir libre, et, en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même temps, sur la manivelle de l'inducteur. Cette opération a deux effets :

1° Sur place, elle met en prise et cale un cliquet qui immobilise l'aiguille ;

2° Dans le poste central chargé de la manœuvre du signal d'entrée dans la gare, elle fait apparaître un voyant blanc et libère un des enclenchements qui fixent dans la position d'arrêt le levier du signal.

Chacun de ces derniers enclenchements, analogues encore à ceux du block, est respectivement relié électriquement à chacun des divers verrous d'aiguilles, disséminés dans la gare, et disposé de manière que tout signal d'entrée sur une voie déterminée est immobilisé à l'arrêt, tant que toutes les différentes aiguilles intéressées ne sont pas placées dans la position voulue pour assurer la sécurité du train, et calées dans cette position. L'ouverture du signal cale mécaniquement au blanc tous les voyants qui commandent le levier dans le poste même, et, par suite, tous les verrous dans la position de *fermé*. Après l'effacement du signal et l'entrée du train, le signal d'entrée est remis à l'arrêt. Alors seulement, le signaleur du poste central peut, en agissant successivement sur les poussoirs qui commandent chaque voyant de son poste, ramener au rouge ces voyants libérés, et, par cette manœuvre, dégager électriquement à distance les cliquets qui immobilisaient jusque-là les différentes aiguilles.

Appareils électro-mécaniques commandant et verrouillant les aiguilles et les signaux. — Le second appareil exposé est destiné au cas où il y a à commander un petit nombre d'aiguilles peu éloignées du poste et lorsque le service des manœuvres est peu important.

Dans ce cas, qui est celui où le système Saxby serait applicable, les aiguilles sont *manœuvrées à distance et verrouillées mécaniquement* par un poste central : ces deux opérations se font par une même manœuvre d'un levier, et sont commandées par un enclenchement électrique dont le mécanisme est semblable au précédent, et qui est mis, au moyen *d'un appareil spécial directeur*, sous la main et le contrôle du chef chargé du mouvement de la station.

C'est ainsi que la *responsabilité de cet agent* est engagée, conformément au principe dont nous avons déjà parlé.

Au moyen d'un mécanisme simple placé près de l'aiguille, et manœuvré à distance par une chaîne, le déplacement complet d'un levier effectue trois opérations :

1° Déverrouillage ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° Manœuvre de l'aiguille :

3° Verrouillage dans la nouvelle position.

Dans ce cas, l'appareil mécanique de manœuvre de l'aiguille est disposé de manière que cette aiguille peut être prise en talon sans être déverrouillée.

Dans ces deux systèmes fort savamment étudiés, les relations nécessaires entre les signaux et les aiguilles sont assurées par un enclenchement mécanique, et de plus, le déclenchement de chaque levier de signal étant commandé électriquement par le chef de mouvement de gare, aucun signal ne peut être manœuvré sans son autorisation, alors même qu'il serait mécaniquement libéré par une combinaison convenable des autres leviers des signaux et aiguilles.

Appareils d'enclenchement électrique réglant l'entrée dans les gares (direction de Francfort-sur-le-Mein et direction d'Alsace-Lorraine). — Ce sont deux systèmes semblables qui placent sous le contrôle et la responsabilité du chef de mouvement de la gare, éloigné d'un poste central, la manœuvre des signaux qui autorisent l'entrée dans la gare, et qui sont eux-mêmes manœuvrés par ce *poste central*.

L'appareil est caractérisé :

1° Par le calage automatique à l'arrêt du levier du signal, chaque fois qu'il est ramené dans cette position d'arrêt :

2° Par le déclenchement électrique à distance de ce levier, au moyen d'un inducteur placé dans le bureau du chef de mouvement de la gare. Les signaux sont normalement enclenchés à l'arrêt.

Pour autoriser l'entrée sur une voie déterminée, le chef de mouvement de la gare manœuvre un commutateur correspondant à cette voie, et met en jeu l'inducteur. Un voyant blanc apparaît au-dessus du levier du signal correspondant dans le poste central des signaux ; le levier est alors déclenché et peut être manœuvré. Cette manœuvre du levier qui efface le signal fait apparaître un voyant blanc au-dessous du *commutateur* du poste de mouvement de gare ; cet appareil de commande est dès lors complètement immobilisé, et tout autre commandement incompatible avec le premier est rendu impossible jusqu'à ce que le levier du signal ait été remis à l'arrêt, opération qui le cale dans cette position et *libère électriquement* l'appareil du chef de gare ; les leviers, au lieu de commander des signaux à vue, peuvent commander les aiguilles. Un seul inducteur suffit pour tous les leviers d'un poste. Enfin, une sonnerie attire l'attention sur chaque changement d'état des appareils. Ces derniers appareils diffèrent de ceux de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Siemens et Haslke en ce que la *manœuvre mécanique du levier du signal actionne automatiquement*, par le jeu d'un inducteur engrené, l'appareil électrique de commande du chef de mouvement de la gare, et le libère quand le signal se met à l'arrêt.

Appareils réalisant la concentration et l'interverrouillage des leviers d'aiguilles et des signaux (Système Schnabel et Henning)[1]. — *Enclenchement électrique de ces leviers.* — M. Fritz Marti a exposé un modèle du système *Schnabel* et *Henning* dont nous n'avons pas à décrire ici la partie mécanique, mais qui, dans son ensemble, peut être comparé aux appareils Saxby et Farmer. Nous n'avons à nous occuper ici que d'un détail du système, c'est l'application que les inventeurs ont faite de l'électricité à l'enclenchement des leviers de signaux et d'aiguilles.

Dans ce système, comme dans celui de MM. Saxby et Farmer, c'est la *manette elle-même* de fixation du levier, qui est immobilisée par un enclenchement mécanique, ou qui, par ses mouvements, effectue l'enclenchement mécanique des autres leviers. La partie électrique consiste dans l'enclenchement direct de chaque levier de signal, par un appareil du genre Siemens et Halske, mis en relation électrique avec un appareil de commande du modèle de ces inventeurs, situé dans le bureau du chef de mouvement de gare et placé sous sa responsabilité. Le signaleur ne peut manœuvrer aucun signal sans l'autorisation du chef de mouvement de gare, et ce dernier ne peut donner aucun ordre nouveau avant que tous les leviers du poste central aient été ramenés et calés dans leur position de repos.

Les relations électriques sont obtenues par un inducteur commun à tous les leviers.

Le système Schnabel et Henning, qui est le *Saxby et Farmer* de l'Allemagne du sud, de l'Alsace-Lorraine, de la Bavière et de la Suisse, fonctionne dans trois cents gares, dont Munich, Berne, Trieste, Strasbourg, etc.

L'enclenchement électrique n'y est encore qu'à l'état d'essai.

1. *Revue générale des chemins de fer*, juillet 1880, mars 1881.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II

Appareils avertisseurs et de correspondance. Transmetteurs de signaux par vocabulaires conventionnels.

§ I. — *Appareils de correspondance ordinaires.*

Les appareils de correspondance entre deux postes se divisent en un assez grand nombre d'espèces. Les plus connus sont ceux que nous n'avons point à décrire ici : ce sont les appareils télégraphiques (Wheatstone, Breguet, Morse, etc.) qui figuraient d'ailleurs en grand nombre à l'Exposition.

Les avis que l'on doit transmettre pour les besoins du service des chemins de fer peuvent être facilement catalogués ; la régularité du service exige même qu'on réduise le plus possible le nombre des communications entre agents, et qu'elles soient toujours parfaitement déterminées et appropriées aux différents incidents de l'Exploitation, lesquels d'ailleurs se reproduisent presque toujours identiques. C'est ce qui a fait remplacer, dans bien des cas, les télégraphes ordinaires par des appareils plus simples, et partant, plus rapides.

Télégraphe à cadran avec récepteur imprimeur Baillehache. — Nous ne signalerons dans cette catégorie, qui dépend absolument de la télégraphie générale, qu'un appareil spécial à cadran avec récepteur imprimeur de M. *Baillehache,* qui a paru au jury ingénieusement combiné.

Les appareils imprimeurs ordinaires ont l'inconvénient d'exiger une certaine instruction préalable, et, par suite, de nécessiter des agents spéciaux. D'un autre côté, les récepteurs à cadran ne laissent pas trace des dépêches échangées.

M. Baillehache a combiné un télégraphe imprimeur fonctionnant au moyen d'un manipulateur à cadran qui est fort simple et n'exige aucune expérience de la part des employés.

Le manipulateur se présente sous la forme ordinaire de l'appareil Breguet ; il est disposé de manière à envoyer dans le fil de ligne, au moyen d'un levier mû par une roue sinusoïdale, des courants alternativement positifs et négatifs (mais constamment l'un ou l'autre de ces courants), pendant la rotation de la manette. Le courant n'est interrompu que lorsque

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la manette est abaissée dans une encoche de son cadran correspondant à une lettre. C'est à ce moment de l'interruption du courant qu'a lieu l'impression au poste récepteur.

L'appareil récepteur est à double effet, en ce sens que l'arbre de la *roue des types* (roue qui porte les caractères d'imprimerie) porte aussi une aiguille se mouvant sur un cadran à lettres, et permettant la lecture de la dépêche sur ce cadran.

L'appareil est muni de deux échappements : le premier est actionné par un électro-aimant ordinaire dont l'armature est *polarisée*, de manière à s'approcher et à s'éloigner alternativement des pôles sous l'action des courants alternatifs de la ligne ; l'aiguille et par suite la roue des types sont mis en mouvement à l'aide du mécanisme habituel des récepteurs à cadran. Le deuxième échappement sert à l'impression. Son armature est en *fer doux*, par conséquent *neutre*, de sorte qu'elle reste au contact des pôles de l'électro-aimant, tant que celui-ci est traversé par un courant, quel que soit son sens. Elle commande le levier d'impression, qui reste écarté de la roue des types pendant tout ce temps, c'est-à-dire pendant tout le temps que la manette du manipulateur ne s'arrête pas; mais, lorsque la manette du manipulateur vient s'engager dans une encoche, le courant de ligne étant interrompu, le second électro-aimant abandonne son armature neutre, le levier imprimeur est déclenché et imprime le caractère que le premier échappement avait placé devant lui. Aussitôt que la manette du manipulateur sort de l'encoche, le courant de ligne est rétabli, et l'électro-aimant d'impression ramène son armature et enclenche le levier imprimeur, tandis que l'arbre de la roue des types, qui porte l'aiguille, se remet en marche.

Cet appareil a été, paraît-il, essayé avec quelque succès par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée sur la ligne d'Aix-les-Bains à Annecy, et l'emploi paraît pouvoir en être étendu avec avantage.

§ II. — *Appareils spéciaux de correspondance* [1].

Appareils de correspondance à un ou plusieurs guichets fonctionnant par fils aériens (Nord français et Staatsbahn autrichien.) — Cet appareil employé pour transmettre un seul signal, à la fois acoustique et optique, est fondé sur le principe suivant :

Un barreau de *fer doux*, portant sur une palette l'inscription de l'ordre

1. *Revue générale des chemins de fer*, octobre 1880.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à transmettre, peut osciller entre les deux pôles d'un petit électro-aimant Hughes. Au repos, il est maintenu par l'action magnétique au contact d'un des pôles.

Un courant de sens convenable, envoyé par le poste en correspondance, affaiblit l'aimantation de ce pôle en augmentant celle de l'autre : il détache donc facilement, fait osciller et fixe sur le pôle contraire l'armature en fer doux : le voyant qu'elle porte apparaît dans le guichet. Un courant inverse le ramène à sa première position, et efface l'ordre donné. Une sonnerie attire l'attention sur ce signal optique.

On comprend qu'on puisse combiner un nombre quelconque de guichets semblables au précédent, en employant autant de fils qu'il y a de guichets ; on réunit alors ces fils dans un même faisceau, sous une enveloppe en plomb ou en fils de fer, fins et tressés, que l'on peut placer, soit en l'air, soit sous terre.

L'ensemble de l'appareil multiple présente, sur un cadre, autant de guichets qu'il y a d'indications à envoyer ou à recevoir. Chaque guichet est muni d'un bouton qu'il suffit de presser pour faire apparaître simultanément les deux voyants dans les guichets des deux appareils en correspondance. La réponse s'obtient par une pression sur le bouton correspondant du récepteur, mouvement qui a pour effet d'effacer les voyants.

C'est, on le voit, une application du système ordinaire de communication électrique par guichets, employé dans une infinité de cas.

Un appareil à peu près semblable, avec signal répétiteur en retour, était exposé par la *Compagnie du Staatsbahn autrichien*.

Un autre, par l'habile constructeur *Schaeffler*, de Vienne.

Sur plusieurs réseaux, dans les postes de secours, on place des manipulateurs et récepteurs à cadran très simples, montés de façon à n'envoyer dans la ligne que des courants négatifs, de sorte que tout appel provenant de ces postes déclenche les sonneries d'urgence des stations.

Nous verrons plus loin que ces appels de secours peuvent être obtenus automatiquement au moyen de combinaisons fort ingénieuses.

Avertisseur Jousselin. — *Avertisseur Guggemos*[1]. — Nous avons déjà parlé en détail de l'avertisseur à cadran que M. Jousselin, ingénieur électricien de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, a adapté à l'appareil Tyer.

M. Guggemos (du chemin de fer du Nord français) a fait construire un appareil analogue par son but, mais d'une disposition différente, pour

1. *Revue générale des chemins de fer*, octobre 1880.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

correspondance entre les postes Saxby. C'est une modification du télégraphe d'Arlincourt et un perfectionnement de l'appareil Walker.

M. Walker emploie deux appareils distincts, l'un comme manipulateur, l'autre comme récepteur : l'appareil Guggemos est à la fois manipulateur et récepteur. Les divisions du cadran, qui portent les différents avis à transmettre, sont armées chacune d'un bouton poussoir; une simple pression sur un bouton déterminé amène simultanément, dans les deux appareils en correspondance, l'aiguille sur la même indication. Cette transmission n'exige qu'un seul fil; ce qui est un avantage que ne présentent point les appareils à guichets. Aussi, l'avertisseur Guggemos, quoique plus cher que ce dernier appareil, est-il avantageux, lorsque la distance entre les deux postes correspondants dépasse 400 mètres.

L'agent qui reçoit le signal accuse réception en appuyant sur le poussoir correspondant, mouvement qui ramène les aiguilles des deux appareils, après un tour complet, sur la même indication.

On remet les aiguilles au zéro, en appuyant sur un bouton spécial, détail de manipulation que ne présente pas l'appareil Walker. L'appareil Guggemos est muni d'une sonnerie dont le fonctionnement est solidaire des mouvements de l'aiguille. Cent quatre-vingts appareils de ce système sont employés dans les postes Saxby de la ligne du Nord.

Signaleur universel à un seul fil donnant un nombre indéterminé d'indications. (LEDUC, Belgique.) — Cet appareil est destiné à transmettre quelques signaux indicateurs simples et moins nombreux que son titre ne le fait supposer. Le mécanisme se compose d'un secteur denté qui tend à tomber par son propre poids en tournant autour de son centre. Mais une ancre d'échappement analogue à celle d'une horloge, et sollicitée vers une de ses positions extrêmes par un ressort, maintient au repos le secteur, dans sa position supérieure. Un électro-aimant attire l'ancre lorsqu'il est traversé par un courant de ligne, puis l'abandonne à l'action du ressort, lorsque le courant est interrompu. A chaque oscillation complète de l'ancre, une dent du secteur échappe, et ce secteur s'abaisse de l'angle correspondant. Des inscriptions contenant les ordres ou les indications à transmettre sont inscrites dans chacun de ces angles, et viennent apparaître successivement devant un guichet de la boîte protectrice de l'appareil.

La première indication est montrée dans le guichet par l'action d'un seul passage de courant; la deuxième, par l'action de deux passages de courant, etc. On remet l'appareil au zéro en relevant le secteur à la main.

Le manipulateur est une simple clef Morse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans cet appareil, qui est en essai sur le chemin de fer de l'État belge, le signaleur qui a transmis un avis n'a aucun accusé de réception, et l'exactitude de la transmission dépendant uniquement du nombre des courants qui traversent la ligne, un mauvais contact ou un contact multiple peut fausser les indications transmises.

Les appareils POND et MACKENSIE (États-Unis d'Amérique), destinés aux appels de secours adressés à un poste central de police, sont de ce genre et présentent l'avantage d'une très grande rapidité dans la transmission.

§ III. — *Cloches et sonneries d'avertissement.*

L'usage des cloches allemandes, surtout pour l'exploitation des lignes à voie unique, s'est extrêmement répandu sur le continent, depuis quelques années et donne à cette exploitation un grand surcroît de sécurité.

La description de ces appareils se trouve partout et nous n'aurons garde d'insister ici sur les détails de leur disposition. On trouvait de nombreux exemples de leur application à l'Exposition. (Chemins de fer badois, Thuringe, Ouest, Paris-Lyon-Méditerranée, Nord, Paris à Orléans, Postel-Vinay, etc., etc.)

Les deux systèmes qui se sont trouvés en présence dès l'origine sont les systèmes SIEMENS et HALSKE, de Berlin et LÉOPOLDER, ce dernier plus spécialement appliqué en Autriche [1]. La principale différence entre les cloches Léopolder et les cloches Siemens est, comme on le sait, que les premières sont mues par l'action d'un courant continu émanant de piles, et les dernières par l'action de courants d'induction ; les premières fonctionnent donc par interruption du courant ; les autres, au contraire, par émission du courant.

De là les différences de mécanisme adoptées par les deux inventeurs.

Les différentes Compagnies françaises ont adopté l'un ou l'autre de ces systèmes, suivant les préférences des ingénieurs ou les besoins de l'exploitation.

Cloches Siemens. — La Compagnie du Nord a successivement appliqué sur ses voies uniques trois types de sonneries Siemens :

1° Le type Siemens primitif ;

2° Le type Siemens modifié, construit par M. Vérité ;

1. *Zeitschrift des Osterreichischen Ingenieur-vereins* 1854.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3° Le type actuel de la Compagnie, construit par M. Siemens.

Les deux premiers types ne diffèrent que par la disposition du mécanisme. Leur principe est commun. Un mouvement d'horlogerie, mû par un contrepoids, tend à actionner deux marteaux frappant sur deux timbres différents. Au repos, l'armature libre d'un électro-aimant maintient immobile le mouvement d'horlogerie. Lorsqu'un courant passe dans la ligne, il attire l'armature et déclenche le mécanisme d'horlogerie.

Après une série d'un certain nombre fixe de coups doubles, le mouvement se trouve arrêté de nouveau par un butoir que la rotation elle-même de l'appareil ramène en prise avec l'armature.

Par une combinaison de une, deux, trois séries de coups, on transmet les signaux simples. La Compagnie du Nord se borne à annoncer les trains. Les sonneries ne donnent donc que deux signaux, une ou deux séries de cinq coups suivant le sens de la marche du train.

La source d'électricité est, comme nous l'avons déjà dit, l'inducteur Siemens.

Le troisième type, plus simple que les deux premiers, ne comporte qu'un seul timbre frappé par un seul marteau placé à l'intérieur du timbre.

Il existe en service, sur la totalité des voies uniques du réseau du Nord, mille cloches, et leur emploi donne entière satisfaction. Chaque station peut annoncer le départ du train à la station suivante, en même temps qu'à tous les postes intermédiaires, qui distinguent le sens de la marche d'après le nombre de séries de coups frappés.

Les cloches exposées par MM. Siemens et Halske présentaient quelques combinaisons particulières fort intéressantes; tout en étant disposées pour annoncer les trains tout le long de la ligne parcourue, elles servent comme postes de secours pour transmettre, des points de la ligne où elles sont placées, aux gares, quelques signaux urgents.

Pour déclencher les cloches, il faut envoyer dans le circuit un courant d'induction énergique ; mais si, dans le fil omnibus de ce circuit, on fait passer un courant constant de pile faible, il sera insuffisant pour attirer les armatures des électro-aimants maintenues par un ressort antagoniste, et, par conséquent, pour déclencher le mécanisme moteur d'horlogerie ; mais il suffira pour mettre en jeu dans les gares un relais fonctionnant par rupture du courant de ligne et envoyant le circuit d'une pile locale dans un récepteur Morse ; il suffit alors que chaque poste de cloches soit muni d'un interrupteur Morse pour qu'on puisse envoyer une dépêche quelconque, ou d'un *transmetteur automatique* à vocabulaire déterminé, qui est destiné aux agents ne connaissant pas le maniement du Morse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cet appareil transmetteur, très ingénieux, est basé sur l'emploi de différentes molettes présentant sur leur pourtour en alphabet Morse les différents signaux usuels, tels que demande de locomotives, de wagons de secours, de personnel, signal d'arrêt général, etc., etc.

Pour transmettre un signal, l'agent place la molette sur laquelle ce signal est inscrit, sur un pivot déterminé du mécanisme d'horlogerie et le met en mouvement, en déclenchant la cloche à la main, jusqu'à ce qu'il ait reçu un signal en retour, qui l'avertit qu'on l'a compris au poste de gare. La molette, en tournant, produit une série d'interruptions électriques qui inscrivent, sur un récepteur Morse, la demande et l'indication du poste qui la transmet.

On conçoit qu'il soit incommode de laisser constamment le fil omnibus en communication avec le récepteur de la station. Aussi, en temps ordinaire, la première interruption de courant causée par la rotation de la molette n'actionne-t-elle, dans la gare, qu'une sonnerie qui résonne jusqu'à ce qu'un agent vienne l'arrêter. Alors cet agent, au moyen d'un commutateur à pédale, interrompt la sonnerie et met la ligne des cloches en relation avec le récepteur ; quand il a compris le signal, il en avertit l'agent qui appelle le secours, en déclenchant électriquement toutes les cloches de la section au moyen de son inducteur.

Dans les cloches d'un autre modèle, déclenchées par les oscillations d'une ancre d'échappement, le même résultat est atteint d'une autre manière. Les différentes molettes correspondant aux signaux usuels sont fixées d'avance sur un même arbre du mécanisme ; le levier de l'interrupteur du courant de piles peut se déplacer parallèlement à l'arbre et entrer en prise avec l'une quelconque des molettes, suivant qu'il est actionné par l'une ou l'autre des clefs de différentes longueurs mises à la disposition des agents, et dont chacune est munie des indications du signal qu'elle peut faire transmettre.

L'agent introduit la clef voulue dans une ouverture spéciale et déclenche le mouvement d'horlogerie en tournant cette clef.

Ces organes de transmission de dépêches n'ont pas été appliqués sur le Nord qui a des postes télégraphiques de secours spéciaux échelonnés sur toutes les voies.

Cloches Léopolder. — Les cloches Léopolder sont surtout employées en Autriche. Le chemin de fer Staatsbahn autrichien en offrait un spécimen qui présente quelques particularités ; la partie essentielle de l'appareil est un mouvement d'horlogerie à contrepoids, actionnant le marteau d'une cloche par l'intermédiaire d'un déclenchement électrique à ancre. Un cou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rant continu de pile passe dans la ligne et dans l'électro-aimant, dont l'armature est ainsi constamment maintenue au contact des pôles. Une rupture et un rétablissement du courant communiquent à l'armature et à l'ancre une oscillation de va-et-vient complète, qui déclenche le mécanisme et donne un coup de cloche.

Toutes les cloches de la Staatsbahn sont munies d'un interrupteur à simple bouton, ce qui permet à tous les postes de transmettre des signaux traduits par certaines combinaisons de coups de cloche.

Il y a plus de deux mille applications de ce genre sur les lignes de la Staatsbahn.

Un ingénieux appareil était annexé à ces cloches; il sert à inscrire automatiquement, au moyen d'un poinçon perforant une bande de papier, les signaux transmis, qu'il contrôle ainsi d'une manière irréfutable.

Enfin, il est encore possible de faire dire aux cloches des phrases beaucoup plus complètes, d'un vocabulaire conventionnel composé d'avance, en se servant d'un transmetteur automatique à tambour denté, remarquablement construit et très adroitement combiné.

M. Léopolder utilise le fil omnibus des cloches, constamment parcouru par un courant continu, pour les communications télégraphiques du manipulateur Morse.

Un affaiblissement du courant destiné à commander le fonctionnement du Morse ne suffit pas pour déclencher les cloches, mais suffit pour actionner un relais qui met en jeu le récepteur de la station.

Le chemin de fer de l'*Elisabethbahn* expose le transmetteur automatique de M. Pasch, mais qui se borne à émettre deux phrases:

1° Une voiture s'est détachée;

2° Arrêtez tous les trains.

La Compagnie du chemin de fer de *Paris-Lyon-Méditerranée*[1] a adopté les cloches Léopolder pour l'exploitation de ses lignes à voie unique à trafic important. Son vocabulaire actuel se compose de onze signaux. Elle se propose d'en étendre très prochainement l'usage, en donnant aux postes intermédiaires la faculté de communiquer avec les postes principaux.

Quant à la *Compagnie du chemin de fer d'Orléans*, elle a décidé l'adoption générale d'un système mixte Léopolder et Siemens, c'est-à-dire qu'elle approprie la cloche de forme extérieure Siemens, à colonne, à l'emploi d'un courant continu de pile. La cloche ne donne qu'un coup par chaque déclenchement. Chaque poste pourra envoyer tous les signaux dé-

1. *Revue générale des chemins de fer*, novembre 1879.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sirables, en se servant d'un interrupteur qui rompt et rétablit le circuit. Des combinaisons simples correspondent aux signaux les plus fréquents. Un grand nombre de ces appareils sont en construction chez M. Postel-Vinay, dont l'exposition très intéressante a été distinguée par le jury.

La *Compagnie de l'Ouest*[1], enfin, exposait une cloche électrique du système Regnault, pour poste intermédiaire de voie unique. Cette cloche, qui diffère entièrement des systèmes précédents et qui n'en peut remplir qu'incomplètement l'objet, comprend un relais à pile locale, mis en jeu par l'interruption du courant continu circulant dans le fil de ligne. Un électro-aimant, placé dans le circuit local, attire directement la queue du marteau de la cloche, qui donne, par conséquent, un coup à chaque rupture du courant de ligne. Il n'y a pas de mouvement d'horlogerie pour régler l'espacement de ces coups, mais une vis permet de faire varier la position de la queue du marteau par rapport à l'électro-aimant. L'instrument est moins facile à manier, ne peut généralement donner que des signaux moins nets et ne peut que difficilement s'entendre de tous les points de la voie.

Douze cloches ainsi construites ont été essayées sur une section de quatorze kilomètres de la ligne de Pont-l'Évêque.

§ IX. — *Avertisseurs automatiques électriques par pédale.*

Les avertisseurs automatiques électriques annonçant un train en avant sont surtout employés à l'approche des passages à niveau ; leur usage est peu répandu. La difficulté de trouver des pédales mécaniques résistant à un service prolongé et présentant les garanties absolument nécessaires de fonctionnement régulier a fait jusqu'à présent reculer la pratique devant ce genre d'application. Comme exemple de cette réserve signalons que M. Jousselin a fait installer sur le réseau de Paris-Lyon-Méditerranée en quatre-vingt-cinq points différents un appareil de correspondance entre les passages à niveau fréquentés et les postes voisins ; son appareil n'est point automatique. Il se compose d'une boîte portant une aiguille mobile qui fonctionne comme l'aiguille d'un appareil Tyer, en donnant les deux indications correspondant à l'ouverture ou à la fermeture de la barrière. Les pédales qui servent à la transmission de ces deux indications sont manœuvrées à la main.

Il était évidemment séduisant de confier au train lui-même le soin

1. *Revue générale des chemins de fer,* décembre 1881.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'annoncer son arrivée au garde-barrière. C'est ce qui a été réalisé par divers procédés.

Pédales Netter, Chapart et Zeng. — M. Netter a simplement exposé une pédale mécanique qui fait office de ferme-circuit en un point donné de la ligne et actionne une sonnerie trembleuse dans la guérite du garde-barrière. Le commutateur à lame, qui fait partie de la pédale, est fort simple et la pédale est touchée par toutes les roues du train ; mais elle est de construction assez robuste pour avoir pu résister sur un point du chemin de fer de ceinture à trois mois d'essai.

Le modèle d'une pédale mécanique semblable était également exposé par MM. Chapart et Zeng.

Protecteur de passage à niveau. — Système Leblanc et Loiseau. — Le système exposé par MM. Leblanc et Loiseau pour protéger les passages à niveau est beaucoup mieux étudié que les précédents. La protection est obtenue au moyen :

1° De deux pédales à soufflet, l'une placée à une distance convenable avant le passage, l'autre immédiatement après ce passage.

2° D'un appareil optique avertisseur, placé près du passage, et donnant pour tous, au moyen d'une inscription démasquée, lors de l'approche d'un train, l'avertissement qui impose l'obligation de fermer les barrières.

La pédale paraît bien étudiée. Nous avons déjà eu l'occasion de la décrire ; étant munie d'un soufflet, elle se relève lentement et évite ainsi le choc de toutes les roues du train. Le commutateur qu'elle actionne et qui est à lame de ressort envoie le courant dans les électro-aimants de l'appareil optique avertisseur spécial à volets, dont nous avons aussi décrit le mécanisme électro-mécanique à propos du block system des mêmes inventeurs. C'est un écran portant une inscription que le mouvement de deux volets mobiles démasque sous l'action du courant. La pédale avancée a son commutateur relié d'une manière constante à deux des électro-aimants placés dans la boîte de manœuvre des volets, sur le même circuit, et dont l'office est d'ouvrir ces volets en démasquant l'inscription, tandis que la pédale de sortie, qui est au passage à niveau, est en relation électrique avec les deux autres électro-aimants qui commandent la fermeture des volets.

Pour les *voies uniques*, MM. Leblanc et Loiseau évitent l'emploi de quatre pédales et de deux fils .en se servant d'un commutateur inverseur spécial, ingénieusement combiné, quoique très délicat, et qui permet à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chaque pédale d'actionner l'un ou l'autre des électro-aimants suivant le sens de la marche du train ou plutôt suivant que les volets sont déjà ouverts ou déjà fermés au moment où le train rencontre les pédales.

On peut réduire ainsi à deux le nombre des pédales nécessaires et ne se servir que d'un fil ; mais il est évident que les deux pédales doivent être à égale distance de chaque côté du passage à niveau, ce qui double la longueur du fil et ce qui arrête inutilement la circulation sur le passage, tant que le train n'a pas parcouru une distance double de celle qui est rigoureusement nécessaire pour un avertissement efficace. Si l'on suppose que la pédale d'avertissement est placée à deux kilomètres avant le passage, la section bloquée par le passage se trouve portée à quatre kilomètres.

Ce système a été essayé sans inconvénient, pendant six mois, sur les lignes de l'État, entre Tours et Châteauroux.

Une pédale semblable est employée par MM. Leblanc et Loiseau pour inscrire la marche des trains sur le cadran qui, dans leur block system, est placé dans chaque station.

Pédale à commutateur à mercure, du système Lartigue. — Les commutateurs qui fonctionnent sous le choc de pédales mécaniques ont l'inconvénient d'exiger un entretien et une surveillance de tous les instants, surtout dans les points où la circulation est considérable. C'est un inconvénient que M. Lartigue, qui avait installé plusieurs pédales sur le réseau du chemin de fer du Nord, a voulu éviter.

Il s'est servi d'un *commutateur à mercure,* composé d'une boîte étanche à deux compartiments remplis de mercure où aboutissent les fils conducteurs et séparés par une cloison percée d'un orifice d'écoulement convenablement placé. Ce commutateur donne ou interrompt le courant par un simple mouvement de bascule. Une lame de ressort, faisant un peu saillie sur le rail, est légèrement touchée par les roues des véhicules et ce mouvement suffit pour faire basculer le commutateur, sans donner lieu à des mouvements violents, par conséquent à des ruptures.

Quelle que soit la pédale employée dans tous les appareils précédents, le courant actionne une sonnerie au passage à niveau. Un *appareil avertisseur* imaginé par MM. Lartigue et Forest et construit par MM. Digney frères, au lieu d'actionner une *trembleuse*, fait agir une sorte de *trompe,* dont le son s'entend de plus loin et peut appeler le garde absent du passage à niveau.

Le fonctionnement de cette trompe dépend d'un déclenchement obtenu par le jeu d'un électro-aimant Hughes. L'armature, abandonnée par l'électro-aimant sous l'action d'un courant de sens convenable, envoyé par le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

commutateur de la pédale, produit le mouvement d'un piston qui comprime l'air dans un petit cylindre. Cet air s'échappe à travers une anche et le son de trompe se fait entendre. On ramène à la main l'armature au contact ; le piston, en reprenant sa première position, laisse à nouveau le cylindre se remplir d'air et l'appareil est armé.

Les inconvénients des pédales mécaniques à commutateur sont évités lorsqu'on emploie des contacts métalliques fixes et des brosses attachées à la machine.

Ce genre d'appareils est employé dans plusieurs systèmes dont nous avons parlé (*Baillehache, Sauvajon*, etc., etc.) et y remplit vraiment *les fonctions d'avertisseur automatique*.

Malheureusement il exige l'application des brosses électriques à toutes les locomotives circulant sur un même réseau et la pose d'un nombre considérable de contacts.

En résumé *les avertisseurs automatiques* ont été peu employés jusqu'à présent, en raison même de la difficulté de trouver un appareil de ce genre d'une construction simple et d'un emploi assez sûr.

L'idéal serait d'en imaginer un sur lequel le passage du train pût *agir par influence, à distance ;* on éviterait ainsi tout choc et toute cause permanente de dérangements, par conséquent de non-fonctionnement.

Nous croyons savoir que le problème est étudié dans cette direction et en voie de solution, grâce à la construction d'un appareil nouveau dont les ingénieuses dispositions ont été combinées par MM. Ducousso frères et Breguet.

CHAPITRE III.

Manœuvre électrique à distance des appareils de sécurité [1].

L'idée de remplacer, par l'action de l'électricité, les fils de traction, les chaînes, les barres, les tiges de manœuvre, dont l'effet est nécessairement limité, et ne peut se propager à toute distance, a tenté depuis longtemps bien des inventeurs. Malheureusement, beaucoup cherchèrent la solution de ce problème difficile dans l'application directe de la force électrique aux manœuvres voulues ; et, comme les efforts que l'on pouvait

1. *Revue générale des chemins de fer*, décembre 1879.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

transmettre par l'électricité étaient de puissance extrêmement restreinte, les effets obtenus se trouvaient forcément fort limités.

L'*Exposition des chemins de fer de la Thuringe* renfermait un disque qui était manœuvré directement par un électro-aimant, mais qui n'a été l'objet d'aucune application durable.

Les manœuvres des signaux à distance n'ont, jusqu'à présent, réussi que lorsqu'elles ont été demandées à l'action de contrepoids remontés à la main et simplement déclenchés par l'électricité, c'est-à-dire à une action indirecte du courant électrique qui ne fait que provoquer la manœuvre à un instant donné. Dans ces conditions, ce système de transmission électrique, déjà assez largement employé en Autriche, nous paraît avoir beaucoup d'avenir.

Système Joly. — Un de ceux qui s'occupèrent les premiers de cette question a été certainement M. Joly, qui a exposé un appareil dont la construction remonte à 1858.

Le signal se compose de deux bras sémaphoriques se mettant en croix sous un angle de 45° avec l'horizontale pour la position *d'arrêt*, et se plaçant verticalement derrière le mât dans la position *voie libre*. L'action d'un contrepoids permet aux bras conjugués du sémaphore de prendre alternativement ces deux positions. C'est le déclenchement électrique d'un mécanisme d'horlogerie actionné par le contrepoids, qui commande ces deux mouvements. Ce déclenchement s'obtient par rupture de courant. Un commutateur, porté par le signal lui-même, actionne un voyant répétiteur et une sonnerie d'avertissement dans la gare.

Le jury a été frappé de ce fait, que M. Joly avait modestement réalisé, en 1858, sous une forme simple, l'objet des préoccupations qui se sont produites depuis lors dans l'esprit de bien des inventeurs, et dont l'application ne s'est vraiment perfectionnée que dans ces dernières années.

Système Tellkampf et Walter. — Dans cet ordre d'idées, la Compagnie du chemin de fer de Altona-Kiel a exposé un appareil destiné principalement à donner au chef de gare le moyen de permettre ou d'empêcher l'entrée d'un train dans la gare. Le poste central place électriquement, grâce à un contrepoids et à un mouvement d'horlogerie, le sémaphore protecteur dans la position indiquant *arrêt* aux mécaniciens; mais ce mouvement donne au signaleur local qui manœuvre le sémaphore l'auto-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

risation d'ouvrir une voie déterminée au train qui se présente. C'est le garde qui complète mécaniquement la manœuvre du sémaphore en le mettant à *voie libre*, s'il ne voit rien à son poste qui s'oppose à ce mouvement. Le signal optique est doublé par une cloche Siemens.

On voit qu'il est nécessaire, pour assurer le fonctionnement de ce genre d'appareils, de remonter le mécanisme d'horlogerie à certains moments. Une variante dans les dispositions mécaniques a pour objet d'effectuer ce remontage automatiquement, par le mouvement même qui replace le sémaphore au point neutre. Il en résulte que le mouvement d'horlogerie est toujours remonté et prêt à fonctionner.

Système Schaeffler. — La manœuvre électrique pour disques à distance exposée par M. Schaeffler, constructeur à Vienne, est une des plus complètes, et des mieux étudiées au point de vue de la mécanique. La manœuvre du disque à mouvement alternatif est commandée par un mécanisme d'horlogerie à déclenchement électrique. Le signal prend automatiquement la position d'*arrêt*, par rupture de courants, et de *voie libre* par l'action de courants continus de piles.

Le déclenchement est commandé par un électro-aimant ordinaire, dont l'armature est sollicitée par un ressort antagoniste.

Cette armature porte une ancre disposée de telle sorte que, dans chacune des positions qu'elle peut prendre, suivant que l'armature est au contact ou écartée des pôles de l'électro-aimant, elle se trouve en prise avec l'un ou l'autre des deux arrêts-butoirs qui limitent les mouvements du disque. L'arrêt-butoir, qui se trouve en prise lorsque l'armature est au contact, arrête le disque dans la position de *voie libre*; l'autre butoir n'est en prise que lorsque l'armature est éloignée des pôles par suite de la rupture du courant; il détermine la position de *danger*.

Le mouvement mécanique alternatif de rotation du signal à vue est commandé par une sorte de joint universel très ingénieusement combiné, qui transforme la rotation continue du mécanisme d'horlogerie en ce mouvement alternatif.

Un trait caractéristique du système est que les indications du disque ne peuvent être faussées par les courants atmosphériques que pendant un temps très-court : celui qu'il faut au disque pour accomplir deux quarts de révolution successifs.

(M. Schaeffler expose plusieurs mouvements d'horlogerie de disques, qui ne diffèrent que par le mécanisme donnant le mouvement alternatif à l'axe du signal. Dans une de ces dispositions, toutes fort bien étudiées du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

reste, l'arbre est commandé par un galet roulant dans la gorge d'une poulie, dont le plan fait un angle de 45° avec l'arbre du mécanisme d'horlogerie. Dans une autre, ce mouvement est obtenu par une manivelle ordinaire.)

La station est munie d'un interrupteur à manette pouvant lancer ou couper le courant. Dans la position de *danger* un commutateur porté par le mécanisme d'horlogerie ferme un circuit électrique, qui actionne la sonnerie de contrôle dans la station.

L'appareil est construit de façon à effectuer vingt-huit mouvements complets sans avoir besoin d'être remonté. Il avertit lui-même du moment où ce remontage est devenu nécessaire.

Il est en essai dans plusieurs stations du chemin de fer de l'Elisabethbahn (Autriche). On en est très satisfait.

Le même mécanisme peut s'appliquer aux mouvements alternatifs des ailes d'un sémaphore.

Une disposition analogue est présentée par le chemin de fer du prince Rodolphe (Rudolfbahn, Autriche).

La différence capitale entre ce dernier système et le précédent est que le courant électrique est obtenu par un inducteur au lieu de l'être par une pile.

Appareils pour manœuvrer les disques et barrières, système de la Staatsbahn (Autriche). — Le chemin de fer autrichien Staatsbahn a fait l'essai d'une disposition analogue étudiée par M. Pollitzer, ingénieur de cette Compagnie.

Elle s'applique non seulement à la manœuvre des disques signaux, à rotation alternative, mais aussi à la manœuvre d'une barrière de passage à niveau, à double lisse.

Un mouvement d'horlogerie, actionné par un fort contrepoids, produit, au moyen d'une manivelle, le relèvement et l'abaissement simultanés des deux lisses, suivant qu'il s'agit d'ouvrir ou de fermer le passage. Ce mouvement d'horlogerie est commandé par une ancre portée par une armature polarisée, placée entre les pôles de deux électro-aimants et engrenant au repos avec un secteur denté qui arrête le mouvement.

Des courants alternatifs d'induction envoyés par le garde éloigné communiquent à l'ancre un mouvement d'oscillation, qui lui fait abandonner le secteur, et libérer le mécanisme : la barrière effectue son mouvement. Après une demi-rotation de la manivelle le secteur se trouve de nouveau en prise avec l'ancre, et la barrière reste fixée dans une de ses deux positions extrêmes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans la position de *barrière fermée*, un commutateur complète un circuit de pile et fait résonner au poste du garde une sonnerie de contrôle.

Un autre commutateur, porté par le mouvement d'horlogerie, avertit, par une sonnerie, du moment où le contrepoids, arrivé au bas de sa course, ne peut plus fournir que quatre mouvements complets.

Enfin, par surcroît de précautions, le garde ne peut agir sur la barrière avant d'avoir fait fonctionner une sonnerie assez forte placée sur les routes d'accès, et qui avertit que le passage va être fermé, empêchant ainsi le public de s'y engager.

D'ailleurs, les bras, au lieu d'être entièrement rigides, sont articulés autour d'un axe vertical, de manière à permettre d'ouvrir la barrière de dedans en dehors, pour laisser échapper un véhicule qui se trouverait intempestivement emprisonné sur la voie entre les deux lisses. Un ressort rappelle les bras articulés dans leur position normale.

L'appareil peut effectuer quarante-huit mouvements alternatifs sans être remonté.

C'est évidemment un des mécanismes de ce genre les plus complets que l'on puisse rencontrer; et cette disposition peut être utile dans certains cas où une transmission mécanique, actionnant à distance les lisses d'une barrière, serait impossible à établir.

Ce même mécanisme a été appliqué à la manœuvre d'un disque à distance; et tandis que l'essai de la barrière s'est jusqu'ici borné à une seule application, les disques manœuvrés électriquement sont déjà, sur la Staatsbahn, au nombre de cent quatre-vingts.

Le système paraît donc entré, sur ce réseau, dans la voie d'une application très sérieuse. Le soin apporté à la construction de ces appareils a été très remarqué, et explique leur succès. Le chemin de fer de la Staatsbahn est d'ailleurs un de ceux qui ont fait, en Autriche, le plus grand nombre d'applications nouvelles de l'électricité à l'exploitation des chemins de fer.

Disque et sémaphore à serrure électro-magnétique. (État suédois.) — Le jury a enfin remarqué dans la section suédoise un *disque signal à transmission électrique* et *un sémaphore à serrure électro-magnétique*, exposés par les chemins de fer de l'État, dont le service télégraphique est sous les ordres de M. *Johan Storck*.

La manœuvre du disque est très analogue à celle qui est exposée par la Staatsbahn; il nous paraît inutile de la décrire de nouveau.

Une addition intéressante consiste dans le fonctionnement d'un con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trôleur qui, placé dans la boîte de transmission, conserve trace des mouvements opérés par le disque.

Le disque peut faire quarante-huit mouvements avant d'être remonté, et il est impossible de le manœuvrer à la main. Tout dérangement le ramène à l'arrêt, ce qui est une garantie importante.

Quant aux sémaphores à serrure électro-magnétique, ils sont destinés à protéger la traversée des canaux La serrure commande le mouvement de l'aile, qui reste enclenchée à l'arrêt, tant qu'un courant n'est pas venu faire jouer cette serrure, c'est-à-dire, tant que le pont qui livre passage sur le canal n'est pas en place et parfaitement vissé. C'est la vis de serrage du pont même, qui forme ferme-circuit, et permet au signaleur placé près du pont de prévenir, par un commutateur à sonnerie, le garde du sémaphore, et d'ouvrir la serrure électro-magnétique : alors, seulement, le garde du sémaphore peut abaisser l'aile libérée.

Quant le ferme-circuit cesse d'agir, le courant ne passant plus, le signaleur placé près du pont ne peut libérer la serrure de l'aile du sémaphore, qu'un contrepoids, du reste, a ramené à la position de *danger*.

Cette disposition qui a paru pouvoir rendre, dans certains cas, de vrais services, a reçu onze applications depuis six ou sept ans.

C'est, en définitive, une sorte d'enclenchement à distance des signaux protecteurs du passage d'un pont, déterminé par la position du pont lui-même, mais avec l'intervention d'un agent responsable.

Désengageur électrique de Tyer et Farmer (*Electric Slot*). — Nous venons de décrire des appareils manœuvrant à distance les disques, les signaux et les barrières ; nous croyons devoir en rapprocher la disposition d'un ingénieux appareil de MM. Tyer et Farmer, qui a pour objet d'empêcher électriquement leur manœuvre; c'est, à proprement parler, un *désengageur électrique* permettant à un stationnaire B de rendre impossible l'effacement, par un autre stationnaire A éloigné, d'un disque déterminé ou d'un sémaphore commandant, par exemple, l'entrée d'une section de block. Le levier de manœuvre du poste A peut saisir le fil de tirage du signal, au moyen d'un crochet articulé portant une queue, crochet dont la mise en prise avec le fil est normalement rendue impossible par l'action d'un contre poids en forme de marteau, reposant sur la queue du crochet. Dans cette position, le levier peut aller et venir sans agir sur le fil : il est *désengagé*.

L'appareil porte un électro-aimant, disposé de telle sorte que le marteau, quand il est relevé par le mouvement général du levier, qu'effectue

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le stationnaire pour tenter d'ouvrir son disque, soit amené en contact avec les pôles de cet électro-aimant.

Si aucun courant n'y passe, le marteau désengageur ne quitte point la queue du crochet, et paralyse la manœuvre du fil. Si, au contraire, le poste B, voulant permettre au stationnaire A d'ouvrir son disque, lance le courant dans l'électro-aimant, le marteau, faisant fonction d'armature, relevé par une première manœuvre du levier, reste collé contre les pôles de l'électro-aimant, le crochet est dégagé, et, dans la seconde manœuvre du levier, il peut saisir le fil et effacer le disque. Si, pendant que le signal est effacé, B interrompt le courant, l'électro-aimant abandonne le marteau qui, en tombant, dégage le crochet, et remet immédiatement le disque à l'arrêt.

Cet appareil, dont le jeu repose tout entier sur l'énergie de l'action de l'électro-aimant sur le marteau désengageur, n'a point encore été appliqué ; mais on comprend qu'il puisse être utile dans certains cas particuliers.

Il existe des *désengageurs mécaniques*, dont l'emploi est précieux, mais dont le bon fonctionnement devient plus douteux à mesure que les distances deviennent plus grandes. C'est dans ce cas que l'appareil électrique Tyer et Farmer peut trouver un emploi avantageux.

CHAPITRE IV

Appareils contrôleurs.

Si les manœuvres électriques à distance sont encore trop peu répandues, le nombre des cas dans lesquels l'électricité peut permettre le contrôle efficace de manœuvres mécaniques éloignées est considérable. Il suffit d'un simple contact entre deux corps conducteurs pour produire le tintement d'une sonnerie ou le mouvement d'un voyant, qui sont des garants irrécusables de l'effet obtenu, souvent à très grande distance, par l'agent qui vient d'effectuer une manœuvre.

Nous avons déjà signalé un grand nombre de dispositions particulières de ce genre d'appareils faisant partie de systèmes plus complets ; nous n'y reviendrons pas.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ I. — *Contrôleurs du fonctionnement des signaux de protection.*

Nous avons à peine besoin de mentionner ici les *sonneries de disques* à distance, qui ont été introduites pour la première fois sur le réseau de la Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée* par MM. Poiré et Jousselin, en 1857, et qui, depuis lors, se sont répandues partout.

Ces sonneries peuvent être doublées d'un répétiteur spécial optique, faisant paraître à un guichet, par l'action d'un électro-aimant sur une armature, une palette rouge indiquant que le disque est bien fermé.

Un appareil de ce genre était exposé par la Compagnie de *Paris-Lyon-Méditerranée.*

La forme des commutateurs employés peut varier ; les modèles sont assez différents, suivant les Compagnies.

Le modèle du *Chemin de fer du Nord* se compose d'un levier qui, dans la position de *disque ouvert*, est incliné de 45° au-dessous de l'horizontale, et laisse le circuit interrompu. Quand le disque est à *l'arrêt*, un doigt fixé sur l'axe même du signal soulève le levier, établit un contact électrique qui complète le circuit de la pile, et actionne la sonnerie de la gare. Il y a d'ailleurs plusieurs modèles suivant qu'il s'agit de disques à plusieurs transmissions, de disques répétiteurs, etc., etc.

La *Compagnie de l'Ouest* emploie un commutateur un peu différent, formé d'une pince à deux lames flexibles, fort simple d'ailleurs, dont le jeu est commandé par un doigt fixé sur le signal lui-même. Lorsqu'il s'agit de contrôler électriquement la position d'un disque à trois transmissions, M. Regnault a disposé un commutateur qui contrôle séparément la position de chacun des leviers de rappel du contre-poids de manœuvre du disque. Ce commutateur donne, par une sonnerie, à chacun des signaleurs, un avertissement permanent, qui lui rappelle qu'il a autorisé l'ouverture du signal. Le disque ne peut, d'ailleurs, s'ouvrir que par la permission simultanée des trois agents qu'il intéresse.

La Direction générale des chemins de fer d'Alsace-Lorraine expose un appareil contrôleur du fonctionnement des signaux par sonnerie et voyant. C'est une reproduction modifiée de ce qui existe au chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée. Le bras du sémaphore manœuvre un commutateur à levier, qui ferme un circuit électrique lorsqu'il est à l'arrêt.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le courant passant dans ce circuit fait apparaître, au poste central, un voyant porté par l'armature d'un électro-aimant, et actionne une trembleuse.

Dans le spécimen exposé, une boîte, formant lanterne et éclairée intérieurement, porte six voyants contrôlant les positions de six sémaphores différents. La trembleuse est commune à tous les sémaphores. A ce contrôleur est annexé un appareil permettant une correspondance par sonnerie entre le poste central et les postes extrêmes, au moyen de boutons d'appel. Les deux boutons inférieurs servent à l'échange de signaux conventionnels : le bouton supérieur arrête, pendant la conversation, la trembleuse mise en action par un signal à l'arrêt.

Cette disposition paraît bien étudiée ; elle a été appliquée dans quinze stations différentes du réseau alsacien-lorrain.

§ II. — *Contrôleurs de la manœuvre des aiguilles.*

Dans cette catégorie, nous croyons ne devoir citer que deux contrôleurs, exposés : l'un, par la Compagnie du chemin de fer du Nord, et étudié par M. Lartigue ; l'autre, par la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, et étudié par M. Regnault.

Le contrôleur Lartigue [1] contrôle effectivement la position des lames d'aiguilles ; c'est-à-dire qu'il est disposé de telle façon qu'une sonnerie avise l'aiguilleur qu'aucune des deux lames de l'aiguille qu'il a manœuvrée n'est en contact parfait avec le rail, et que, par conséquent, l'aiguille *baîlle*.

Le commutateur employé à cet effet est le commutateur à mercure, formé d'une boîte isolante en ébonite dans laquelle pénètrent les deux fils de platine conducteurs du courant ; le mercure contenu dans la boîte baigne les deux fils et établit la communication entre eux, quand la boîte est horizontale ; la communication est supprimée quand la boîte est inclinée par la pression de la lame d'aiguille.

Le commutateur ne se relève, dans sa position inclinée, que lorsque la lame d'aiguille est en parfait contact avec le rail ; avant ce moment, le commutateur actionne la sonnerie et l'aiguilleur est avisé de la mauvaise position de son appareil.

Ce contrôleur s'applique utilement à toutes les aiguilles distantes de plus de cinquante mètres de leurs leviers de manœuvre.

1. *Revue générale des chemins de fer,* juillet 1880.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le *contrôleur* exposé par la *Compagnie de l'Ouest* ne contrôle point précisément la position des aiguilles, mais il contrôle en réalité la position de la tringle de manœuvre.

Il se compose d'un commutateur à lame de ressort en fer à cheval, qui ferme le circuit, quand ses deux branches sont au contact avec deux butoirs fixes. Si l'aiguille est à fond de course d'un côté ou de l'autre, un doigt, dépendant de la tringle de manœuvre, écarte du butoir correspondant une des branches du ressort et, par ce mouvement, interrompt le courant et arrête la sonnerie.

Dans toute autre position, le circuit est complet et la sonnerie avertit que la manœuvre est imparfaite.

§ III. — *Contrôleurs des feux des disques.*

Avertir une gare de l'extinction des feux des signaux est encore un de ces problèmes qui ont souvent tenté les inventeurs, sans que, néanmoins, on ait trouvé jusqu'ici un appareil qui soit réellement considéré comme pratique.

Celui qu'expose la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée paraît très ingénieusement disposé. Ce *photoscope* (c'est le nom que M. Jousselin lui donne) est destiné à avertir automatiquement de l'extinction des feux de disques. Son principe rappelle le photoscope Coupan.

Il est formé d'une lame bi-métallique qui ne ferme le circuit de la sonnerie du disque que lorsqu'elle est déformée par sa dilatation sous l'action de la chaleur.

L'extinction du feu amène donc la rupture du circuit ; mais on ne s'aperçoit de cette extinction qu'au moment où le disque est mis à l'arrêt, ce qui est un léger inconvénient.

Pour qu'il en fût autrement, il faudrait qu'une sonnerie spéciale fût affectée au contrôle de l'état de la lanterne. Le contact est d'ailleurs placé à l'abri de la fumée et des produits de la combustion.

Ce photoscope a déjà reçu deux cent cinquante applications.

MM. Chapart et Zeng ont exposé un appareil destiné au même objet, et qui est composé de deux boules en verre remplies d'air, communiquant entre elles par un tube fin rempli de mercure ; l'une des boules est dans la lanterne, l'autre à l'extérieur. La différence de température dilate l'air, repousse le mercure dans le tube de jonction et interrompt ainsi un circuit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

électrique qui se trouvait complété par un fil de platine plongeant dans le mercure.

Si la lampe s'éteint, la température intérieure diminuant, le mercure remonte, et, par son contact avec le fil de platine, actionne une sonnerie d'avertissement.

Cette disposition ingénieuse a paru mériter d'être mentionnée. Elle n'a du reste jamais reçu d'applications.

§ IV. — *Contrôleurs de vitesse.*

Quatre contrôleurs de vitesse figuraient à l'Exposition.

La Direction des Chemins de fer de l'État prussien à *Hanovre* a présenté l'appareil qui a servi à la Compagnie à faire, en 1877, ses expériences comparatives de Gunsterhausen sur l'effet des freins continus.

Il se compose d'un certain nombre de pédales réparties sur la voie, à des distances régulières, et d'un récepteur analogue au Morse placé en un point central.

Les pédales ne sont attaquées que par la première roue du train.

L'enregistreur comprend un mouvement d'horlogerie déroulant un papier au-dessous de deux styles encrés, mus par deux électro-aimants imprimant à ces styles un mouvement perpendiculaire au sens de déroulement du papier. Ce mouvement produit une trace. Un des électro-aimants se trouve en relation avec les pédales et fait marquer au style le passage de la première roue du train sur chacune d'elles. L'autre électro-aimant est en relation électrique avec une horloge et fait enregistrer le temps par le style correspondant.

La Direction des chemins de fer de l'État prussien à *Elberfeld* a employé également un appareil analogue pour contrôler le service sur une section donnée. Les pédales, armées d'un commutateur électrique, sont réparties sur la ligne de kilomètre en kilomètre.

Le Chemin de fer du Nord se sert, dans quelques cas spéciaux, d'un contrôleur de vitesse ou plutôt d'un enregistreur électrique automatique de la vitesse d'un train entre deux points rapprochés.

Cet appareil, construit par M. Digney, est destiné principalement à enregistrer la vitesse à l'abord des aiguilles en pointe. Il se compose d'un récepteur Morse, muni de deux électro-aimants et de deux molettes et de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux pédales électriques placées sur la voie à une distance de 200 mètres l'une de l'autre.

Un des électro-aimants du récepteur, relié à la première pédale, enregistre l'entrée du train dans cette courte section ; l'autre, relié à la seconde pédale, inscrit la sortie sur le même papier déroulé et sur une ligne parallèle à la première ; le temps est marqué sur le papier par le cylindre rugueux qui entraîne le papier et qui est muni, dans ce but, de pointes saillantes espacées entre elles de la longueur du papier développé en une seconde (environ trois millimètres).

L'appareil s'arrête de lui-même une minute et demie après avoir été déclenché par le passage de la machine sur la première pédale et se trouve prêt à donner un second enregistrement. On lit immédiatement la vitesse par le nombre de secondes compris entre les traces indiquant l'entrée de la première roue du train dans la section et sa sortie de la section.

Le contrôleur électrique de la vitesse des trains, exposé par la *Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée*, se compose d'un enregistreur et de deux transmetteurs.

L'enregistreur est une horloge, qui peut même être celle de la station, faisant tourner un cadran de carton, divisé à l'avance en heures et minutes, devant deux électro-aimants armés de styles pouvant marquer des traces et placés sur un même rayon du cadran. Chaque transmetteur est formé d'une pédale à soufflet, abaissée par la première roue du train et maintenant un contact électrique pendant le passage du train tout entier. Il y a une de ces pédales à chaque extrémité de la section, sur le parcours de laquelle on veut mesurer la vitesse.

L'heure de l'entrée et celle de la sortie du train se trouvent enregistrées sur le cadran.

Ces différents appareils sont très analogues les uns aux autres et ils donnent des indications fort utiles dans certains cas particuliers ; mais ce ne sont vraiment que des appareils d'expériences exceptionnelles ; en un mot, ils sont destinés au contrôle et non à la mesure de la vitesse.

§ V. — *Contrôleurs divers.*

Contrôleurs de niveau d'eau dans les cuves. — Il est intéressant d'être prévenu, par des avis acoustiques, du niveau qu'occupe l'eau dans les cuves d'alimentation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La Compagnie du Nord français a exposé deux appareils disposés pour cet objet spécial :

1° Un appareil à commutateur à mercure Lartigue qui se compose d'un petit entonnoir à ouverture étroite, placé au-dessous du tuyau déversant le trop-plein de la cuve ; lorsque l'entonnoir se remplit, son poids fait incliner le commutateur à mercure et ferme le circuit d'une sonnerie. Il reprend sa position normale, relève le commutateur et arrête la sonnerie, aussitôt que le trop-plein, cessant de déverser, lui permet de se vider.

2° Une autre disposition est celle de l'appareil dit *à coup de poing*.

Un flotteur soulève un contrepoids ordinaire qui, lorsque le niveau maximum est atteint, se déclenche et tombe sur le levier d'un *excitateur électrique à coup de poing*. Cet excitateur envoie dans le circuit un courant, fait apparaître un voyant et retentir une sonnerie dans le bureau du surveillant.

L'hydrostatimètre électrique Jousselin et Vinay a été essayé en 1860 à la gare de Brunoy. L'appareil se composait de deux parties : un commutateur spécial, manœuvré par le flotteur du réservoir et un récepteur placé près de la machine d'alimentation.

Toute la course du flotteur se trouvait reproduite sur le cadran du récepteur, de sorte qu'on pouvait toujours y lire le niveau de l'eau dans la cuve. Aux deux extrémités de la course du flotteur, et, par conséquent, de l'aiguille, des contacts électriques actionnaient une sonnerie d'avertissement.

L'emploi de cet appareil n'a point été étendu.

Mentionnons, pour terminer cette longue énumération de *contrôleurs*, deux appareils combinés pour des besoins tout à fait spéciaux :

1° *Un contrôleur de ronde*, remarquablement construit par M. Napoli, et exposé par la *Compagnie des Chemins de fer de l'Est*, à laquelle cet ingénieur est attaché.

Ce système ne comporte pas de mécanisme portatif et toutes les circonstances de la ronde du veilleur s'inscrivent automatiquement sur un seul appareil fixe placé dans le bureau du chef de service. Il suffit de placer, en chaque point où la ronde doit passer, un bouton lançant dans le circuit un courant électrique.

L'appareil enregistreur se compose d'un mouvement d'horlogerie, déroulant régulièrement un papier et y marquant les heures et d'un mécanisme à déclenchement électrique présentant devant le papier et y imprimant différentes lettres de l'alphabet, dont chacune caractérise un poste de contrôle. Chaque poste a un circuit spécial.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cet ingénieux appareil permet donc d'enregistrer automatiquement, sur une bande de papier déroulée par un mouvement d'horlogerie, les heures de passage des veilleurs dans les différents postes d'ateliers étendus.

2° *Un contrôleur électrique de levier de désengageur* étudié par M. Eugène Sartiaux, de la *Compagnie du Chemin de fer du Nord*.

Le désengageur est, comme on sait, un appareil mécanique qui permet au signaleur d'un poste central de couper à distance la transmission par fil d'un ou plusieurs disques d'arrêt manœuvrés par un autre poste placé loin de lui, et d'immobiliser ces signaux à l'arrêt, pour protéger les manœuvres que ce signaleur commande.

Le contrôleur électrique a pour objet :

1° De donner au poste central la certitude que son désengageur a fonctionné ;

2° D'avertir l'agent du poste extrême, chargé de la manœuvre des signaux, que la transmission est coupée, afin qu'il ne cherche pas à ouvrir son signal à ce même moment ;

3° D'avertir le poste central quand le disque d'arrêt est effacé pour la réception d'un train, afin qu'il ne coupe pas à ce moment et indûment la transmission du signal ; le désengageur, le disque et le gril d'interverrouillage agissent automatiquement, chacun sur un commutateur, soit à mercure, soit à lames, soit à levier. Ce commutateur actionne à chacun des trois postes une sonnerie trembleuse qui donne les avis voulus. Cet appareil n'a reçu qu'un petit nombre d'applications.

CHAPITRE V.

Application de l'électricité au service intérieur des trains.

§ I. — *Intercommunication dans les trains.*

Il y a longtemps qu'il a été, pour la première fois, question de mettre entre les mains des voyageurs un moyen efficace de communiquer avec les agents des trains, et même avec le mécanicien. — Le nombre de systèmes imaginés dans ce but depuis l'année 1850 est considérable.

Vers l'année 1868, une commission spécialement nommée en Angle-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

terre, à l'effet de recommander le meilleur système d'intercommunication dans les trains, fit un grand nombre d'expériences sur les différents procédés qui lui étaients présentés.

A cette époque, l'électricité n'était point en faveur en Angleterre, et la commission s'arrêta à un moyen mécanique d'intercommunication à l'aide d'une corde courant le long du train, à partir de la vigie d'arrière, et actionnant, à la demande du voyageur, qui pouvait tirer cette corde, un timbre placé dans le fourgon du conducteur et sur la machine.

Ce procédé a eu le sort de tous les systèmes mécaniques du même genre essayés antérieurement; comme eux, il a été jugé très-insuffisant.

L'intercommunication électrique avait été essayée en France dès l'année 1861; à cette époque, M. Prudhomme apportait au *chemin de fer du Nord* le système qui s'est répandu depuis lors, qui est aujourd'hui adopté d'une façon absolue sur ce réseau, et qui y donne des résultats satisfaisants, à la condition d'être l'objet d'un entretien très soigné.

La Compagnie du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée l'a également adopté. C'est le système primitif légèrement amélioré par vingt années d'expériences que *la Compagnie du chemin de fer du Nord* a exposé; il nous suffira d'en donner une description rapide :

Système d'intercommunication Prudhomme. — Une pile est placée dans le fourgon de tête, et une seconde pile dans celui de queue du train, toutes deux munies d'une sonnerie.

Les pôles positifs des deux piles sont reliés entre eux en opposition par le fil du train; les pôles négatifs vont à la terre. Le fil du train se trouve ainsi continuellement à l'état de tension électrique.

En mettant un point quelconque de ce fil, au moyen d'un commutateur, en communication avec la terre, on ferme les circuits des deux piles, et on actionne ainsi, soit une sonnerie, soit, sur la machine, un appareil de déclenchement analogue à celui qui met en jeu le sifflet électro-automoteur Lartigue Forest et Digney, ou le frein continu.

Ainsi, se trouvent assurés :

1° La communication entre les voyageurs et les conducteurs de tête et de queue;

2° L'appel automatique des conducteurs en cas de rupture d'attelage;

3° L'application du frein à vide, ou la manœuvre du sifffet électro-automoteur sur la machine, par le conducteur de tête; si on le désirait, les voyageurs du train pourraient être mis en communication directe avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'appareil de déclenchement placé sur la locomotive. Mais *la Compagnie du chemin de fer du Nord* s'est bornée, avec raison, à mettre les voyageurs en relation avec les conducteurs.

La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a employé, jusqu'à présent, un système analogue, mais ne rendant ni permanent ni visible l'appel du voyageur, et se bornant à établir l'intercommunication entre les voyageurs et les conducteurs.

Elle expose une disposition qui diffère en quelques points des combinaisons primitives adoptées par M. Prudhomme, et dont elle poursuit l'étude. Sa variante consiste surtout dans la forme particulière donnée aux accouplements.

Pour éviter les solutions de continuité qui peuvent se produire, en cas d'entretien imparfait, par l'interposition de graisse ou de poussière entre les contacts métalliques, ces contacts sont mis à l'abri dans une boîte fermée par un couvercle avec joints à baïonnette. Sans doute, on peut être sûr ainsi de l'efficacité des contacts, mais on se prive de l'avantage de signaler automatiquement les dérangements et les ruptures d'attelage.

L'intercommunication électrique est employée en Angleterre depuis longtemps, sur le chemin de fer du *South Eastern Railway*, où elle a rendu de véritables services. C'est M. Walker, l'habile ingénieur électricien de cette Compagnie, qui en a fait l'installation : elle est un peu plus simple que l'installation précitée de Prudhomme.

Le South Western avait aussi adopté une intercommunication du même genre que M. Preece y avait introduite en s'inspirant du système Prudhomme.

Système d'intercommunication du chemin de fer Staatsbahn (Autriche). — Nous retrouvons, dans l'exposition du *Staatsbahn autrichien*, l'intercommunication *Prudhomme*, telle qu'elle est appliquée sur les deux Compagnies françaises dont nous avons parlé, et, de plus, *une intercommunication électrique par câble extérieur*, imaginée par M. Pollitzer.

Cette intercommunication est mixte ; elle se compose d'une corde métallique divisée en divers tronçons de la longueur d'une voiture, et reliés par des anneaux d'accrochage. Cette corde est portée par des poulies au-dessus des toits des voitures. Chaque tronçon est lui-même divisé en deux parties, isolées l'une de l'autre par un manchon en ébonite.

La corde peut être tirée à la main, et agir sur le sifflet du mécanicien ; mais elle est en même temps un câble conducteur électrique, à sections isolées, reliant les appareils d'appel d'une voiture à ceux de la sui-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vante, grâce aux poulies conductrices de support placées sur le parcours du circuit. Le conducteur est averti par un appel électrique du voyageur placé dans le compartiment.

Ces dispositions n'ont d'autre avantage que de permettre d'intercaler facilement dans la composition du train les voitures étrangères. C'est évidemment un avantage, qui ne paraît point, toutefois, racheter les complications et l'incertitude de fonctionnement du système, qui n'est d'ailleurs encore qu'à l'état d'essai.

Intercommunication Zwez. *La direction des chemins de fer de l'État prussien* de *Berlin* expose une intercommunication du système Zwez qui est appliquée à trente-cinq voitures, et qui, par conséquent, ne peut pas être considérée comme du domaine de la pratique générale.

La communication y est aussi établie par un câble fixé sur le toit des voitures; une sonnerie électrique d'appel est dans le courant.

Le trait caractéristique de l'appareil est l'emploi, comme source d'électricité, d'inducteurs de petite dimension placés au-dessus des cloisons des voitures, et actionnés par une poignée placée à portée du voyageur. Lorsque le voyageur tire cette poignée, un cordon enroulé sur l'axe de l'inducteur en produit la rotation, et le courant passe dans le circuit. Un ressort maintient constamment le cordon enroulé sur son tambour. De plus, la tension du cordon, sous la main du voyageur a pour premier effet de faire glisser légèrement l'inducteur sur son socle, de manière à mettre un de ses pôles, normalement isolé, en communication avec la terre, l'autre restant en communication constante avec le fil du train; de là, courant et sonnerie.

Le jury a pensé que c'était décidément, après tant d'années d'expérience, à l'électricité qu'il fallait accorder le privilège de donner les communications les plus sûres, dans le service intérieur des trains; et la persévérance avec laquelle ce système a été amené à un fonctionnement régulier, par les deux Compagnies françaises, et par la Compagnie du South Eastern Railway, est tout à fait à leur éloge. La preuve de la valeur du système est aujourd'hui incontestablement faite.

Nous devons rapprocher des sytèmes d'intercommunication dans les trains deux appareils *avertisseurs* exposés par le chemin de fer de l'État autrichien (Staatsbahn).

Indicateur des stations. — M. Pollitzer présente un indicateur montrant au voyageur, dans les compartiments, le nom des stations dont il approche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour obtenir ce résultat, le conducteur du fourgon de tête, en agissant sur un commutateur à sa portée, fait apparaître du même coup, dans un tableau placé dans chaque compartiment, un voyant sur lequel est inscrit le nom de la première station où le train devra s'arrêter.

Le circuit utilise le fil d'intercommunication Prudhomme.

Contrôleur de température. — Enfin, M. Pollitzer a placé dans le train impérial autrichien un petit appareil qui permet au gardien chargé du chauffage de constater, par une sonnerie et un voyant en communication électrique avec des thermomètres placés dans les compartiments, les variations de température en dehors d'un intervalle déterminé d'avance.

C'est une lame bi-métallique qui, en se déformant, ferme l'un ou l'autre des circuits correspondant aux deux limites entre lesquelles il faut se maintenir.

Le gardien, averti, conduit son feu en conséquence.

§ II. — *Freins électriques.*

L'Exposition ne présentait que deux exemples de *freins électriques.*

Frein Achard. — Le nom de M. Achard est intimement lié à la question des *freins électriques* et des freins continus. C'est lui qui pensa le premier à appliquer l'embrayage électrique à la manœuvre des freins. Les premiers essais remontent à l'année 1854, et depuis lors, M. Achard n a cessé de perfectionner son appareil, avec une persévérance digne de tous les éloges.

Le principe est *l'embrayage à distance, par l'électricité*, d'un mécanisme qui utilise la rotation des essieux du train lui-même, pour produire le serrage des sabots sur les roues. Chaque voiture porte un électro-aimant tubulaire entourant un arbre parallèle à l'axe des essieux de la voiture, et maintenu à très petite distance d'un de ces essieux. Les deux pôles de l'électro-aimant sont formés par des poulies en fer, prolongées par des manchons sur lesquels peuvent s'enrouler les chaînes qui manœuvrent elles-mêmes le levier de l'arbre du frein. L'arbre, qui porte l'électro-aimant, oscille parallèlement à lui-même autour de points de suspension, de telle sorte que, lorsqu'un courant électrique passe dans l'électro-aimant, le magnétisme développé amène les poulies en contact avec l'essieu, et les applique fortement contre cet essieu.

L'adhérence, ainsi créée, entraîne l'électro-aimant, et les manchons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui le prolongent, dans le mouvement de rotation de l'essieu ; les chaînes, fixées en un point de la circonférence de ces manchons, s'enroulent sur sa surface et actionnent les leviers du frein par l'intermédiaire de poulies mouflées. Quelques tours de roues suffisent donc pour produire, soit le glissement des poulies sur l'essieu, soit le calage des roues portées sur l'essieu moteur du frein. Le desserrage se fait lorsque, le courant étant interrompu, l'électro-aimant se sépare de l'essieu, et tourne en sens inverse sous l'action d'un contrepoids fixé au levier du frein.

Après avoir employé plusieurs sources d'électricité, M. Achard s'est arrêté, en dernier lieu, à *l'accumulateur Planté*, constamment chargé par des piles de Daniell. Le train est muni de deux batteries d'accumulateurs, placées dans les fourgons extrêmes et montées en opposition. Deux câbles conducteurs parcourent le train, et les électro-aimants des véhicules sont tous placés en dérivation sur le circuit. Un commutateur, placé à portée du mécanicien et de chaque garde, permet d'actionner les freins.

Le frein continu du système Achard peut être rendu *automatique* par la disposition suivante :

Indépendamment des deux piles principales servant à serrer les freins, les fourgons extrêmes portent deux piles spéciales accessoires, ayant leurs pôles de même nom en opposition, par l'intermédiaire de deux fils conducteurs parcourant tout le train. Ces deux fils sont réunis entre les voitures au moyen d'accouplements spéciaux, analogues aux accouplements de l'intercommunication Prudhomme, et fermant le circuit lorsqu'une rupture d'attelage les sépare.

La rupture d'attelage a donc pour effet de compléter le circuit sur les deux portions séparées du train. Une sorte de relais, interposé dans ce circuit spécial, est alors mis en action, lance le courant des accumulateurs Planté dans tous les électro-aimants de chacune des parties du train, ce qui serre tous les freins.

Cette disposition n'est pas sans donner à l'appareil une sérieuse complication ; aussi, les Compagnies qui ont essayé le frein Achard ont-elles reculé devant l'application de ces dernières combinaisons.

L'inventeur a imaginé aussi *un appareil de résistance*, variable à volonté, pour modérer l'intensité du serrage.

Il est formé d'un circuit de fil de fer, dont on peut introduire une longueur plus ou moins grande dans le circuit actionnant les freins.

Frein électrique de la Compagnie des chemins de fer de l'Est. (M. Regray, ingénieur en chef). — La Compagnie des chemins de fer de l'Est avait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

essayé une première fois le frein Achard et l'avait abandonné. Elle a repris, en 1878, ses premiers essais, en faisant subir à l'appareil quelques légères modifications, et tout en conservant le principe de *l'embrayage électrique*.

La partie mécanique de l'appareil est restée à peu près la même que celle du frein de M. Achard; mais la source d'électricité employée actuellement n'est plus *la pile ni l'accumulateur Planté*, mais une machine *dynamo-électrique Gramme*, dont l'anneau induit est monté directement sur l'arbre d'un moteur Brotherhood placé sur la locomotive.

De plus, M. Regray s'est affranchi des complications propres à rendre le frein automatique. Il a aussi modifié les combinaisons des leviers de frein et les dispositions des appareils de serrage.

§ III. — *Appareils d'expérience, destinés à enregistrer les conditions de marche des trains.*

Deux appareils de ce genre, qui sont très utiles pour les expériences de traction, étaient exposés, l'un par *la Compagnie des chemins de fer de l'Est*, l'autre par *la Compagnie du chemin de fer du Nord*.

Wagon dynamométrique de la Compagnie des chemins de fer de l'Est[1]. — Nous n'entreprendrons pas de décrire ici, dans tous ses détails, le wagon dynamométrique des chemins de fer de l'Est, dont l'appareil a été si remarquablement étudié et si habilement construit; il fait le plus grand honneur aux ingénieurs de la Compagnie de l'Est. Qu'il nous suffise de dire que les appareils contenus dans ce wagon sont destinés à étudier et à enregistrer, d'une part, la résistance d'un train en marche et le travail de la locomotive sur la barre d'attelage; d'autre part, le travail de la vapeur sur les pistons de la machine.

Il est caractérisé par cette particularité que toutes les observations, même le relevé des diagrammes du travail de la vapeur dans les cylindres, se font à l'intérieur du fourgon d'expériences.

L'effort de traction est mesuré au moyen d'un ressort dynamométrique fixé à la barre de traction, et il est enregistré par un crayon traçant une courbe sur un papier animé d'un mouvement proportionnel au chemin parcouru par le train.

1. Voir la *Revue générale des chemins de fer*, novembre 1878.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le travail de la vapeur sur les pistons est enregistré par un *indicateur du système Deprez*, où l'électricité joue un rôle délicat, et qui relève simultanément le diagramme de travail sur les deux faces des pistons, à distance et en éliminant toutes les erreurs dues à l'inertie.

Il enregistre le moment précis où la pression dans le cylindre équilibre une pression variable à volonté, mais qu'on règle d'avance pour chaque expérience. Une valve auto-régulatrice permet d'amener cette pression à une valeur quelconque, et la maintient automatiquement au point choisi.

Les *explorateurs* destinés à indiquer le moment précis où se produit l'équilibre entre la pression du cylindre et la pression déterminée par la valve sont de petits pistons très légers et à course très faible; ils sont pressés, d'un côté par la vapeur à pression connue, venant de la valve régulatrice, et de l'autre, par la vapeur venant du cylindre. Au moment où la pression dans le cylindre vient à dépasser la pression supportée par la seconde face de l'explorateur, celui-ci se déplace, en interrompant un courant électrique pendant son mouvement. Cette interruption marque un trait sur un papier, reproduisant exactement le mouvement du piston. En variant la pression donnée par la valve régulatrice, on obtient, par points aussi nombreux qu'on le voudra, un diagramme complet du travail de la vapeur dans les cylindres.

Le wagon est pourvu, en outre, d'un indicateur de vitesse, *système Napoli*, fondé sur la mesure de la résistance opposée par l'air à un moulinet animé d'un mouvement de rotation proportionnel à celui des roues du wagon.

L'ensemble du wagon dynamométrique de la Compagnie des chemins de fer de l'Est est un véritable observatoire, où toutes les ressources de la science ont été utilisées.

L'appareil électro-enregistreur des principales données dynamométriques d'un train en marche[1], exposé par la Compagnie du chemin de fer du Nord et étudié par M. J. de Laboriette, est plus simple et moins savant; mais l'électricité y joue un rôle vraiment plus important.

Une bande de papier se déroule d'un mouvement proportionnel aux espaces parcourus par le train, grâce à un renvoi de poulies convenablement disposées, et dont le mouvement initial est pris sur l'essieu du fourgon. Quatre styles encrés, placés sur une même perpendiculaire au sens du

1. *Revue générale des chemins de fer*, janvier 1880.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

déroulement du papier, et dont trois sont actionnés par de petits électro-aimants, y inscrivent :

1° Des intervalles de temps de dix secondes, donnés par une horloge à contacts électriques;

2° Les tours de roues du wagon, par un interrupteur qui produit un contact électrique à chaque tour de roue;

3° Le passage devant les bornes kilométriques et hectométriques (au moyen d'un interrupteur électrique à main);

4° Les efforts de traction sur la barre d'attelage sont marqués par le quatrième style, qui est solidaire des flexions successives d'un ressort dynamométrique.

Un cinquième style fixe trace une droite, origine des ordonnées qui mesurent les efforts de traction. Enfin, un indicateur électrique des pressions de M. Marcel Deprez fournit les données relatives au travail de la vapeur dans les cylindres.

Les deux appareils que nous venons de décrire ont servi à faire de nombreuses et intéressantes expériences sur les conditions de marche des trains de voyageurs et de marchandises. Ce sont des instruments dont les indications sont précieuses pour les grands services d'exploitation.

§ IV. — *Emploi du téléphone et de la lumière électrique.*

Téléphone. — Il était naturel que le *Téléphone,* dès son apparition, fût employé, sur les chemins de fer, aux communications de service entre différents points éloignés, entre lesquels le *Télégraphe* est d'un usage insuffisant ou difficile.

Aussi, le téléphone est-il aujourd'hui employé dans une infinité de cas.

Nous devons signaler, comme application spéciale, celle qui a été étudiée au chemin de fer de *Paris-Lyon-Méditerranée* par M. *Chaperon,* ingénieur-adjoint du service télégraphique, et réalisée par M. Postel-Vinay, constructeur. C'est un *appareil téléphonique portatif* qui permet la correspondance entre les ouvriers qui règlent la tension du fil de la transmission d'un disque et la gare même qui est chargée de manœuvrer ce disque. Le fil du téléphone est enroulé sur un tambour porté par un chariot très maniable.

Cet appareil peut s'appliquer dans tous les cas où une ligne téléphonique volante a besoin d'être installée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lumière électrique [1]. — Il serait impossible de terminer la revue des différentes applications de l'électricité à l'industrie des chemins de fer, dont l'Exposition nous présentait la série, sans parler des services qu'a rendus, dans ces dernières années, l'éclairage par la lumière électrique.

Les essais d'éclairage électrique appliqué aux gares ont commencé en France, au chemin de fer du Nord, vers 1875, et se poursuivent actuellement avec succès dans plusieurs gares de ce réseau, notamment à la Chapelle et à la gare maritime du port de Calais où le gaz était inapplicable.

Les lampes *Serrin et Suisse*, disposées dans des halles fermées ou au-dessus des voies de manœuvre, permettent de faire rapidement et sûrement des opérations qui étaient autrefois lentes et difficiles. L'importance de cet éclairage pour les manutentions et pour le service des gares est incontestable et a été reconnue par toutes les Compagnies de France et de l'étranger, qui en font un usage plus ou moins étendu, mais certainement fort heureux.

Fanal électrique pour locomotives. — On avait songé, dès 1875, à employer une lampe électrique, sinon comme fanal à l'avant des locomotives, au moins comme mode d'éclairage puissant, facile à transporter sur un wagon de secours en un point donné de la ligne ; mais on n'avait point réussi à trouver une lampe dont le mécanisme résistât à la dureté et aux trépidations de la marche d'un wagon.

MM. Sedlaczek et Wikulill, du chemin de fer Rudolfhahn (Autriche), ont exposé une lampe dont le régulateur est très ingénieusement fondé sur le principe des vases communiquants et qui jouit de la propriété remarquable de donner une lumière pratiquement fixe à quelque vitesse que marche le véhicule qui la porte. Ses dispositions ingénieuses avaient frappé le jury ; leur efficacité a été confirmée par une expérience qui a eu lieu sur le chemin de fer du Nord au mois de décembre 1881. Elle a démontré que si, dans l'état actuel de nos exploitations, le fanal électrique à l'avant de la machine ne saurait recevoir d'applications pratiques étendues, il existe d'ores et déjà une lampe dont le mécanisme régulateur paraît être absolument à l'abri de toute chance d'extinction dans les trains en marche.

Constatons enfin que l'éclairage des compartiments par les lampes à incandescence *Edison*, *Swan*, *Maxim*, etc., vient d'être essayé en Angleterre, et est sur le point de l'être en France, en Amérique, etc., etc., et nous aurons achevé le tableau de l'ensemble des *applications de l'électricité à l'exploitation des chemins de fer*, tel que l'Exposition d'électricité de 1881 nous l'a présenté.

1. *Revue générale des chemins de fer*, novembre 1878, avril 1881.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Conclusion.

Parvenus au terme de notre examen, il nous paraît utile de résumer en quelques mots les impressions du jury, en présence de l'importante classe de l'Exposition qu'il a été appelé à étudier et à apprécier. Les ingénieurs responsables, chargés de diriger l'exploitation des chemins de fer français et étrangers, se trouvant aux prises avec des nécessités et des difficultés croissantes, conséquences naturelles du développement du trafic et de l'accroissement des vitesses, ont dû, en vue d'assurer la sécurité, chercher à résoudre des problèmes de plus en plus compliqués, par des moyens de plus en plus ingénieux.

Sous l'impulsion de ces ingénieurs, les hommes spéciaux qui font de l'électricité une étude approfondie ont su trouver, dans la plupart des cas, d'heureuses solutions aux problèmes qui leur étaient posés.

Enfin, à côté d'eux, des constructeurs habiles ont donné une forme pratique aux inspirations qu'ils recevaient et tiré de l'emploi de l'électricité des ressources vraiment inattendues.

A la tête de ces constructeurs, nous devons citer :

MM. Siemens et Halske, de Berlin, qui ont été en même temps inventeurs et propagateurs de systèmes savants, sans cesse perfectionnés et modifiés, de manière à répondre aux exigences de programmes fort compliqués, par les combinaisons mécaniques et électriques les plus variées.

Le nombre de kilomètres de voies ferrées sur lesquelles leurs divers appareils sont employés est considérable, surtout en Allemagne ; l'importance de leurs travaux et le renom que leur maison s'est acquis nous ont paru les désigner pour la plus haute récompense.

Parmi les grandes Compagnies de chemins de fer, qui ont depuis longtemps compris le rôle important que l'électricité pouvait jouer dans l'exploitation, qui en ont fait des applications étendues et raisonnées, et qui, dans toutes les branches de leurs services, ont fait le plus de progrès à ce point de vue spécial, le jury a cru devoir distinguer la Société impériale des Chemins de fer de l'État (Staatsbahn, Autriche), les Compagnies des chemins de fer du Nord, de l'Ouest, de Paris-Lyon-Méditerranée (France).

Un certain nombre de Compagnies, surtout en Allemagne et en Autriche, n'ont exposé qu'un nombre restreint d'appareils spéciaux, choisis

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comme plus particulièrement dignes de fixer l'attention parmi les nombreux appareils électriques, certainement très employés sur leurs réseaux, mais dont elles ont préféré laisser tout l'honneur à leurs constructeurs, MM. SIEMENS et HALSKE.

En leur accordant des *diplômes de coopération*, le jury s'est surtout rappelé que les CHEMINS DE FER D'ALLEMAGNE ont été parmi les premiers à reconnaître les services que l'électricité pouvait rendre à l'exploitation des lignes ferrées, à en étendre l'emploi sous des formes variées et à faire de son intervention raisonnée une des bases principales de la sécurité de la circulation.

A la suite de ces récompenses qui peuvent être considérées comme attribuées à des mérites collectifs, les premières distinctions ont paru devoir être accordées aux personnalités qui avaient le plus aidé à l'invention et au développement des applications de l'électricité comme ingénieurs, inventeurs ou constructeurs.

Parmi eux se distingue M. ACHARD, qui a été le premier promoteur de l'idée des freins continus, réalisée par l'emploi d'un embrayage électrique, qui a consacré sa vie au développement de cette idée heureuse et qui est arrivé, de perfectionnement en perfectionnement, à en rendre l'application pratique.

Tel est aussi M. LARTIGUE, auquel on doit une série d'appareils utiles et ingénieux et qui a surtout eu le mérite, en collaboration avec MM. TESSE et PRUDHOMME, d'avoir combiné de si heureuses applications des manœuvres des signaux à distance par simples déclenchements électriques à l'aide de l'électro-aimant Hughes.

Tels sont aussi MM. POLITZER, JOUSSELIN, REGNAULT, qui ont eu le mérite de rendre les plus grands services à l'exploitation des réseaux auxquels ils sont attachés.

Parmi les constructeurs qui se sont plus spécialement consacrés à la réalisation des idées des ingénieurs et ont été leurs collaborateurs intelligents et habiles, une récompense d'ordre supérieur était due à MM. SCHAEFFLER, DIGNEY frères, MORS, POSTEL-VINAY ; à la INDIA RUBBER GUTTA PERCHA AND TELEGRAPH WORKS C°, à MM. LATIMER CLARK, MUIRHEAD et C°, etc., etc. Toutes ces récompenses s'appliquent à d'importants travaux d'ensemble dont les manifestations se trouvaient réunies sous les yeux du jury. A la suite, nous avons cru devoir classer des appareils électro-mécaniques d'un usage moins général, mais toujours d'un ordre élevé dont quelques-uns, fort ingénieux, auraient besoin de la sanction d'une pratique plus étendue pour être mis complètement en valeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Telles sont les expositions de MM. Spagnoletti, Napoli, Fritz Marti, Ceradini, Bailey et Puskas (système Sykes), Saxby et Farmer ; celles des Compagnies des Chemins de fer de l'État suédois et de l'Alsace-Lorraine.

Enfin, pour certaines expositions, dont les unes, quoique certainement originales, ne paraissent pas suffisamment étudiées, au point de vue de l'application, dont les autres, ne comprenant que des organes isolés, sans doute dignes d'attention, ou des dispositions de détails intéressants, ont une importance relativement secondaire, le jury n'a pas cru devoir proposer une récompense supérieure à la médaille de bronze.

Dans cette catégorie sont classés :

MM. Basile Tagaïtschinoff, Leduc (Belgique), Guggemos, Leblanc et Loiseau, Ducousso frères, Baillehache, Forest, Noblet, Joly, Hunebelle [1], Foxcroft.

En résumé, la partie de l'Exposition consacrée à l'exploitation des chemins de fer présentait un ensemble des plus remarquables. Tous les progrès réalisés dans ces dernières années y étaient représentés ; toutes les importantes étapes successivement franchies s'y retrouvaient, en quelque sorte, dans leur ordre chronologique. On y avait donné place aussi bien aux systèmes dont une longue épreuve a sanctionné le mérite pratique et définitif, qu'à ceux qui, encore à l'état de germe, ne sont pas sortis du domaine de l'utopie.

Pour ce qui concerne les chemins de fer, l'Exposition de 1881 a imprimé aux recherches de la science électrique une impulsion vigoureuse dont les heureux résultats ne tarderont pas à se manifester. L'élan donné va se poursuivre et, d'ici à quelques années, l'électricité, encore mieux étudiée, mieux connue et surtout mieux asservie à nos besoins, jouera, nous le croyons, dans l'exploitation des voies ferrées, un rôle tout à fait prépondérant.

D. BANDERALI.

1. M. Hunebelle a exposé un système intéressant de rails creux, contenant un fil télégraphique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 7

TÉLÉPHONIE. — MICROPHONIE. — PHOTOPHONIE.

Téléphonie. — Microphonie.

La transmission des sons à distance, avec l'aide de conducteurs métalliques et par l'intermédiaire de phénomènes électriques, a atteint en peu d'années un immense développement.

En 1854, M. Ch. Bourseul, dans une note sur le problème de la transmission de la parole à distance, faisait pressentir qu'on ne tarderait pas à obtenir de l'électricité ce précieux rôle en ne faisant usage que d'appareils relativement simples.

En 1860, M. Reiss réussit à transmettre à distance des sons musicaux (en ne leur conservant que la hauteur) au moyen d'un conducteur métallique.

Au départ, les vibrations de l'air recueillies par une membrane ébranlaient cette dernière et les déplacements de son centre produisaient des interruptions dans un circuit comprenant une pile, la ligne et l'organe récepteur placé à l'autre extrémité. A l'arrivée les interruptions du courant étaient rendues perceptibles à l'oreille par l'effet de dispositifs électromagnétiques.

Le transmetteur se composait d'une petite boîte munie, sur l'une de ses faces, d'une embouchure et, sur une autre, d'une membrane en baudruche portant au centre un contact métallique, pouvant frapper contre un butoir également métallique, placé en regard et réglable au moyen d'une vis.

Le récepteur était formé d'un fil de fer ou d'acier, légèrement tendu et placé suivant l'axe d'une bobine et libre de vibrer sous l'influence des passages de courant.

Le téléphone musical ainsi obtenu, il ne lui fallait ajouter que peu de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

choses pour obtenir la transmission des sons articulés, mais ce résultat n'a été atteint que seize ans plus tard, à la suite des travaux de MM. Bell, Elisha Gray, Edison, etc.

Notons qu'en 1869, M. Varley, observant que les charges et décharges d'un condensateur étaient accompagnées de sons très distincts, fit reproduire à des condensateurs le son du trembleur d'une bobine d'induction. C'était l'expérience de Reiss réalisée avec un récepteur de forme nouvelle.

Le même jour, 14 février 1876, le professeur Graham Bell, de Boston, et M. Elisha Gray, de Chicago, présentèrent à l'office des patentes, des demandes de brevets, renfermant un résumé de leurs travaux sur la téléphonie.

Dans le courant de la même année, à l'Exposition de Philadelphie, M. Bell exposa un premier modèle de téléphone articulant, dont les effets laissaient encore à désirer. Ce n'est que dans le courant de l'année suivante que M. Bell fit connaître la forme définitive du téléphone articulant, forme qui a peu varié depuis. Le transmetteur et le récepteur étaient identiques et formés d'un barreau aimanté droit, installé à l'intérieur d'un étui en bois ou en ébonite.

A l'une de ses extrémités, l'aimant portait une petite bobine; les bouts du fil conducteur aboutissaient à deux bornes fixées au pied de l'appareil. En face de l'extrémité de l'aimant était disposée une petite membrane métallique formée d'un disque de fer mince, découpé dans une plaque de ferro-type. Une embouchure vissée sur l'étui maintenait le disque en place en exerçant une pression sur le bord. La distance entre le centre de la membrane et l'extrémité du barreau aimanté était réglée à l'aide d'une vis logée dans le pied de l'instrument et jouant le rôle de vis de rappel.

Plusieurs appareils à doubles bobines et à aimants recourbés en fer à cheval furent également essayés dès cette époque par M. Bell. Les postes téléphoniques étaient alors munis d'appareils magnéto-électriques fournissant les courants d'appel.

Les applications de cette belle découverte se répandirent rapidement aux États-Unis; ce n'est guère qu'en septembre 1877 que les premiers essais furent entrepris en Europe.

C'est alors qu'on eut connaissance des résultats obtenus également aux États-Unis par M. Edison, mais dans une voie toute différente.

M. Edison, déjà célèbre par de nombreuses inventions touchant la télégraphie, appliqua d'une façon ingénieuse à la transmission des sons ar-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ticulés les propriétés des corps médiocrement conducteurs étudiées longtemps auparavant en France par MM. du Moncel et Clérac.

Dans des expériences antérieures destinées à l'étude de relais télégraphiques à pression variable, M. Edison avait constaté que l'influence de la pression sur la conductibilité des corps médiocrement conducteurs se manifestait de la façon la plus surprenante et que les moindres variations de pression donnaient lieu à des changements notables dans l'intensité des courants.

Il construisit alors un transmetteur téléphonique formé d'une pastille de charbon comprimée par le jeu d'une membrane vibrante et traversée par un courant électrique dont un téléphone accusait les variations en reproduisant fidèlement les sons émis devant le transmetteur.

M. Edison ne tarda pas à appliquer la bobine d'induction à ce nouveau transmetteur et à envoyer sur la ligne des courants induits au lieu d'un courant direct modulé. C'est le téléphone à pile, tel qu'il est employé aujourd'hui sur une grande échelle.

Dès cette époque, M. Edison réalisa un récepteur entièrement dépourvu, comme le transmetteur précédent, d'organes magnétiques, en mettant à profit les curieux effets de son électro-motographe appliqué jusque-là aux relais télégraphiques.

Au printemps de l'année suivante, M. Hughes étudia avec une rare sagacité les phénomènes mis en jeu dans les téléphones à compression de charbon et démontra que tout contact imparfait entre surfaces médiocrement conductives constitue un transmetteur téléphonique capable de transmettre des sons articulés et susceptible d'agir énergiquement sur l'intensité des courants qui le traversent sous l'influence du moindre ébranlement, soit de l'air, soit des solides environnants.

Le transmetteur microphonique a dès le début péché par un excès de sensibilité quand on l'a appliqué à la transmission régulière de la parole ; les perfectionnements ultérieurs ont consisté dans les moyens de réduire la sensibilité et d'accroître la régularité des effets produits.

Dès son apparition, le téléphone provoqua, entre les savants de tous les pays, des discussions pleines d'intérêt sur la théorie de son fonctionnement et qui conduisirent à la réalisation de nombreuses expériences et de dispositifs variés. C'est ainsi qu'on parvint à employer des microphones comme récepteurs articulants, des téléphones sans diaphragmes, des condensateurs, etc.

Depuis 1877, les téléphones magnétiques ont été l'objet d'améliora-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tions ayant pour but de les rendre plus énergiques comme transmetteurs et plus sonores comme récepteurs. MM. Siemens, Gower, etc., ont créé des types fort réussis et très répandus aujourd'hui.

Les transmetteurs à pile ont également subi des perfectionnements qui en ont fait les appareils les plus simples et les plus commodes pour la transmission. Aussi sont-ils, aujourd'hui, presque universellement utilisés dans les postes téléphoniques.

Dès le début de la téléphonie, on essaya les appareils sur les lignes télégraphiques de différentes longueurs. La résistance même de la ligne n'est point une cause sérieuse d'affaiblissement, car en proportionnant convenablement les circuits des téléphones et des bobines d'induction, on parvient à obtenir des instruments dont les effets sont peu affaiblis par l'introduction de grandes résistances.

Sur les câbles sous-marins ou souterrains, les phénomènes de condensation ne tardent pas, à partir d'une certaine distance, à rendre la transmission confuse. Sur les lignes aériennes on éprouve deux genres de difficultés sérieuses : d'abord le défaut d'isolement des lignes et des supports est une cause importante d'affaiblissement avec laquelle on ne peut lutter dans la construction du téléphone. D'autre part, la grande sensibilité du téléphone le rend impressionnable à des effets d'induction dont les télégraphes ordinaires ne subissent pas l'influence. Le voisinage d'une ligne télégraphique devient, à partir d'une longueur assez faible, une gêne sérieuse contre laquelle on n'a trouvé d'autre remède que d'adopter un fil de retour assez voisin du premier pour éprouver les mêmes effets d'induction ou de dérivation.

En somme, à part quelques cas particuliers, le téléphone ne s'est point substitué au télégraphe. Les expériences sur les lignes un peu longues présentent des difficultés sérieuses ; ils ont donné lieu à des tentatives fort intéressantes et fort utiles à l'extension de la téléphonie.

Les systèmes de transmission téléphonique actuellement en usage sont très nombreux.

Généralement, chaque poste comprend un transmetteur microphonique dérivé des systèmes d'Edison et de Hughes et d'un ou de deux récepteurs de petites dimensions. Une bobine d'induction, une pile, une sonnerie et des commutateurs complètent l'installation.

Aux États-Unis, on emploie le plus souvent les transmetteurs Blake et les téléphones Bell du modèle primitif, les transmetteurs Edison avec récepteurs Phelps dits Poney-crown.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces appareils magnéto-électriques, encore en usage aujourd'hui dans quelques modèles de postes téléphoniques, ne sont autre chose que de petites machines d'induction analogues à celles des trousses électro-médicales et dérivées du type connu dans les cabinets de physique sous le nom de machine de Clarke. Les courants d'induction qu'elles engendrent sont reçus par de petites sonneries constituées par des électro-aimants dont les armatures, munies de marteaux, oscillent entre deux timbres.

L'appareil de Blake se compose d'une petite boîte en bois contenant le transmetteur, la bobine d'induction et les commutateurs.

Le transmetteur est formé par une membrane vibrante disposée derrière une embouchure pratiquée dans la paroi verticale de la boîte, en regard de laquelle doit se placer l'interlocuteur.

Cette paroi est installée à charnière, en forme de battant de porte avec serrure et clef. On peut, en l'ouvrant, accéder aux divers organes et en modifier le réglage.

La membrane transmet ses vibrations à un contact médiocrement conducteur obtenu entre une pastille de charbon et une petite pointe également en charbon ou simplement métallique.

Les deux parties en contact sont légèrement pressées au moyen de ressorts à lames et de vis, et ne peuvent subir de disjonctions quelque grande que soit l'amplitude des mouvements de la membrane. Les divers organes du transmetteur sont recouverts de bandes de caoutchouc destinées à étouffer les vibrations insolites dont l'effet serait d'altérer le timbre des sons articulés.

Les téléphones Bell, munis des cordons souples à deux conducteurs, universellement adoptés, sont au repos suspendus à l'extrémité, en forme de crochet, d'un levier manœuvrant, à l'intérieur de la boîte, un commutateur dont le rôle est de substituer la sonnerie aux appareils téléphoniques sur le circuit général comprenant la ligne.

Le poste Edison est formé d'une sorte de petit pupitre incliné, muni d'une sonnerie et d'une boîte contenant la bobine d'induction et les commutateurs. A la droite du pupitre, un support métallique articulé soutient le transmetteur constitué par une petite boîte cylindrique portant une embouchure en ébonite dans laquelle il faut engager les lèvres pour converser.

La membrane vibrante influence un transmetteur microphonique formé par une pastille de charbon, obtenue en agglomérant sous pression et dans des conditions spéciales du noir de fumée.

Cette pastille est pressée entre deux disques platinés; l'un d'eux est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en contact avec la plaque vibrante, l'autre est fixé à l'extrémité de la vis de réglage et fait corps avec la boîte.

En Angleterre, les postes Gower-Bell comprennent un transmetteur microphonique et un récepteur magnétique analogue au téléphone Gower, muni de deux tuyaux acoustiques.

Ce transmetteur microphonique dérive, comme ceux dont il est question plus loin (Crossley, Ader), du microphone de Hughes, formé d'une tige de charbon cylindrique, terminée à ses deux extrémités par deux tourillons s'engageant librement dans des cavités ménagées dans deux blocs de charbon. Ces blocs sont fixés sur un support en bois et reçoivent des communications électriques; la tige servant de conducteur intermédiaire entre les deux contacts imparfaits est verticale et presque en équilibre instable, de telle sorte que le contact inférieur subit une certaine pression résultant du poids de la tige et le contact supérieur une pression extrêmement faible.

L'appareil ainsi constitué est d'une grande sensibilité et éminemment propre à accuser l'influence, sur le passage du courant, d'ébranlements inappréciables par les procédés ordinaires et produits dans le support par les effets extérieurs les plus délicats.

Les mouvements un peu violents communiqués au support, les ondes sonores un peu intenses font osciller la tige verticale; aussi le circuit est-il fréquemment interrompu à la partie supérieure de la tige. L'instrument n'est pas, à cause de cela, susceptible, sous cette forme, d'applications bien étendues pour la transmission des sons dont l'intensité est trop irrégulière.

En disposant la tige horizontalement, les deux contacts se trouvent dans des conditions identiques, et la pression correspond à la moitié du poids de la tige; en donnant à celle-ci des dimensions convenables, on réalise un microphone moins sensible, il est vrai, que le précédent, mais beaucoup mieux approprié à la transmission des sons, sans toutefois éviter complètement les ruptures causées par des secousses un peu intenses.

On améliore notablement la transmission en groupant côte à côte sur une même planchette, servant de support, un certain nombre d'appareils semblables et en bifurquant dans chacun d'eux le courant de la pile.

Dans ces conditions, le circuit général ne peut être complètement interrompu qu'à la condition que tous les microphones disposés en dérivation éprouvent eux-mêmes, au même instant, des ruptures de contact. Cette circonstance est extrêmement rare; aussi ce type de transmetteur est-il très précieux pour la transmission des sons articulés et des auditions musicales auxquelles on veut conserver toute la pureté de timbre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le type créé par M. Crossley, les microphones sont au nombre de quatre, disposés en losange; les blocs de charbon sont fixés sous une planchette mince en sapin formant le couvercle d'une petite boîte contenant bobine et commutateurs.

L'ensemble constitue en dérivation deux séries comportant chacune deux microphones placés bout à bout.

Le transmetteur microphonique du poste Gower-Bell comprend, à la suite l'un de l'autre, deux groupes formés chacun de trois microphones disposés en dérivation.

Les blocs de communication sont également fixés sous une planchette en bois horizontale et formant le dessus d'une boîte renfermant les autres organes. Au centre de la planchette, un disque de charbon reçoit les tourillons des six tiges de charbon et forme la jonction entre les deux groupes de microphones. Les tiges rayonnent autour du centre et leurs extrémités aboutissent à des disques isolés de plus faibles dimensions et recevant les communications extérieures.

Dans ce poste, le récepteur est un puissant téléphone magnétique du type Gower, disposé au fond de la boîte : son embouchure, placée à la partie inférieure, se bifurque en deux tuyaux acoustiques munis de pavillons que l'on applique contre les oreilles.

Avec ce transmetteur, ainsi qu'avec les similaires (Crossley et Ader), il suffit de parler devant le couvercle de la boîte, à distance de la planchette, pour que le son soit transmis avec intensité et une grande netteté.

En France, les postes les plus répandus sont formés d'un transmetteur microphonique et de deux récepteurs magnétiques. Les transmetteurs sont des systèmes Ader ou Crossley; les récepteurs du type Bell ordinaire ou du type Ader. On fait aussi usage des postes Edison.

Le transmetteur Ader appartient à la même famille que les Crossley ou les Gower-Bell; les dispositions en sont très heureusement calculées pour réaliser une grande uniformité de pression et par suite de résistance entre tous les contacts et éviter les ruptures de circuit.

Les microphones sont placés également sous une planchette mince, en bois, disposée horizontalement ou légèrement inclinée sur l'horizon. Les tiges, au nombre de dix, sont toutes horizontales, parallèles, et ont leurs extrémités engagées dans des barres prismatiques en charbon. L'ensemble constitue deux groupes bout à bout, formés chacun de cinq microphones simples en dérivation.

La barre, placée au centre perpendiculairement à la direction générale

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des tiges, sert de jonction entre les deux groupes, les deux autres barres placées parallèlement de chaque côté reçoivent les communications extérieures.

Chaque poste Ader est muni d'une paire de récepteurs magnétiques de petites dimensions et d'un fonctionnement excellent.

Ces récepteurs sont entièrement métalliques, à part le pavillon ou embouchure, qui est en ébonite.

Le couvercle portant le pavillon se visse sur une petite boîte métallique circulaire contenant une membrane vibrante en fer-blanc de 4 à 5 centimètres de diamètre et de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{3}$ de millimètre d'épaisseur. Les bobines sont au nombre de deux, aplaties et juxtaposées comme dans les téléphones Siemens et Gower : leurs noyaux sont fixés au moyen de vis sur les extrémités polaires d'un aimant énergique en forme d'anneau. Au-dessus de la plaque et dans l'épaisseur du couvercle est logé un anneau en fer doux percé d'une ouverture centrale correspondant à l'axe du pavillon : cette masse de fer provoque le phénomène d'excitation magnétique dont M. Ader a tiré un si heureux parti.

Dans ces trois postes micro-téléphoniques, les récepteurs sont suspendus, au repos, à des crochets fixés sur la boîte, l'un d'eux servant à actionner un commutateur. Un manipulateur à touche sert à envoyer le courant d'appel.

En Belgique, le poste de M. de Locht-Labye se compose d'un microphone transmetteur et de récepteurs magnétiques ordinaires.

Le transmetteur se compose essentiellement d'un contact microphonique établi entre une pièce métallique et une pastille de charbon. Le contact a lieu suivant une ligne horizontale, grâce à la forme en couteau du butoir métallique monté à charnière autour d'un axe horizontal et susceptible d'être orienté à la main.

La pastille de charbon est portée par une petite planchette verticale en liège suspendue à sa partie supérieure à l'aide de petits ressorts à lame servant en même temps au passage des communications électriques.

La planchette peut ainsi osciller autour d'un axe horizontal situé un peu au-dessus de son arête supérieure. Les ondes sonores ne viennent la frapper qu'après avoir été amorties par un voile en drap tendu sur un cadre placé devant l'instrument et formant la face verticale de la boîte, en regard de l'interlocuteur.

Les diverses parties de ce transmetteur, qui a reçu de son auteur la dénomination de pantéléphone, ont été calculées et établies d'après les principes de la mécanique rationnelle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans quelques pays on fait usage de téléphones magnétiques comme transmetteurs ; les appareils sont alors plus puissants ; le type en a été créé par la maison Siemens. On peut y rattacher les systèmes Nigra, en Italie, Gower, en France, Fein et Naglo, en Allemagne, etc.

Ces divers modèles constituent des appareils puissants, fonctionnant comme transmetteurs et récepteurs : les premiers en date sont incontestablement les Siemens, qui tiennent la tête et dont le type et les détails de construction se sont peu modifiés depuis 1878. Ce sont d'excellents instruments qui peuvent, dans certains cas, être employés isolément sans pile ni sonnerie ; ils sont susceptibles de produire des sons assez intenses pour être perçus à quelque distance du récepteur et constituer ainsi un mode d'avertissement magnétique inhérent au téléphone.

Les téléphones Siemens sont composés essentiellement d'un système électro-magnétique énergique formé d'un aimant à deux branches en forme de diapason et portant à ses extrémités deux bobines méplates placées en regard et aussi près que possible du centre d'une plaque en fer-blanc de grandes dimensions : 9 à 10 centimètres de diamètre et $\frac{3}{4}$ de millimètre d'épaisseur.

Le corps de l'aimant était encastré, dans les premiers téléphones, dans un étui en bois; une sorte de came, actionnée latéralement, permettait de déplacer légèrement l'aimant dans son logement et de régler ainsi la distance des extrémités des noyaux des bobines à la plaque vibrante.

Dans les appareils plus récents, l'étui est entièrement métallique, l'embouchure seule est en bois : les dimensions sont à peu près les mêmes ; le réglage est obtenu à l'aide d'une vis de rappel à deux filetages en sens opposés.

Ce type de téléphone magnétique fournit d'excellents résultats; c'est, sans contredit, l'un des plus puissants que l'on connaisse. Il est très répandu en Allemagne, soit dans les postes téléphoniques, soit dans les services militaires.

Tous les téléphones Siemens sont munis d'un avertisseur consistant en un fort sifflet que l'on adapte sur l'embouchure. Sous l'influence des sons émis par cet instrument la plaque vibre énergiquement et donne naissance à l'autre extrémité de la ligne à un son intense que l'on rend plus strident en laissant reposer sur la plaque l'extrémité d'une petite tige en laiton logée dans le corps du sifflet et parfaitement libre de se déplacer verticalement.

Les téléphones Gower sont formés d'un système électro-magnétique analogue, c'est-à-dire à deux bobines méplates juxtaposées; mais l'aimant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en demi-cercle est logé à plat dans une boîte métallique cylindrique de peu de hauteur.

La plaque vibrante est de grandes dimensions, 10 centimètres environ de diamètre et $\frac{3}{4}$ de millimètre d'épaisseur. L'embouchure est munie d'un tuyau acoustique dont l'emploi évite le maniement de l'instrument lui-même dont le poids est assez élevé.

L'appareil comporte un signal d'avertissement fort original constitué par une sorte d'anche vibrante logée dans la plaque elle-même. Lorsqu'on souffle dans l'embouchure, l'air comprimé traverse l'anche en ébranlant fortement la plaque.

Les vibrations donnent naissance à des courants énergiques qu'accuse la plaque du téléphone récepteur en rendant un son intense perceptible à distance.

Les téléphones Nigra, employés en Italie, ressemblent beaucoup aux Siemens comme disposition des aimants et des bobines; l'étui et l'embouchure sont complètement métalliques et cette dernière est entourée d'une sorte de compartiment annulaire, augmentant la sonorité, mais un peu aux dépens de la netteté.

Les téléphones Fein (Allemagne) ont des aimants en fer à cheval avec doubles bobines dont les noyaux ont la forme de segments de cercle.

Les téléphones Naglo-Gebruder (Allemagne) ont l'aspect extérieur des Siemens, mais la disposition intérieure les rapproche des Bell ordinaires; l'aimant est droit, formé de plusieurs lames accolées et surmontées d'un noyau cylindrique en fer doux, muni d'une bobine circulaire.

M. Ader a réussi à obtenir un signal optique permanent sous l'influence des courants induits produits par un téléphone magnétique Siemens ou Gower au moyen de déclenchements très petits et successifs.

Dans quelques cas on a conservé les dispositions des premiers types de postes téléphoniques importés d'Amérique, dans lesquels les transmetteurs et récepteurs sont des téléphones magnétiques plus ou moins énergiques, mais dans lesquels l'appel se fait au moyen de petites machines magnéto-électriques.

On peut affirmer, néanmoins, que, dans la plupart des cas, aucun système d'avertisseur ne peut remplacer les sonneries électriques et qu'il faut munir les postes téléphoniques de cet engin peu dispendieux. Comme il en résulte l'emploi de piles, rien ne s'oppose à l'usage si avantageux des transmetteurs microphoniques qui produisent des effets intenses avec des dispositifs simples et peu coûteux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'addition d'un ou de deux téléphones récepteurs, d'un modèle simple et léger et qui ne constitueraient que des transmetteurs d'intensité médiocre, forme un ensemble très satisfaisant, tant au point de vue de la sûreté des communications que de la facilité du maniement.

L'expérience a prouvé, en effet, que le public préfère parler devant une boîte microphonique au lieu d'engager ses lèvres dans une embouchure. L'usage simultané de deux téléphones récepteurs est indispensable dans la plupart des cas, surtout pour les personnes peu exercées ne maniant que rarement les instruments et placées dans des endroits bruyants. Dans ces conditions les récepteurs peuvent être légers, de construction plus simple et moins dispendieux.

Les types remarquables de téléphones magnétiques dont nous avons parlé sont très utiles comme appareils d'expérience à cause de l'intensité des effets produits.

A côté des téléphones que nous venons de passer en revue, il faut mentionner les modèles spéciaux qui présentent un grand intérêt scientifique.

En première ligne l'électro-motographe d'Edison et les condensateurs articulants de MM. Herz, Dunand et Dolbear.

Le premier de ces appareils constitue un récepteur bien curieux et des plus énergiques ; quant aux condensateurs, ils ne parlent pas à haute voix et sont même, à ce point de vue, inférieurs à la plupart des récepteurs magnétiques, mais leur application à la téléphonie à grande distance donne beaucoup d'espoir.

L'électro-motographe d'Edison est un récepteur téléphonique à friction dérivant directement du relais du même inventeur et fondé comme lui sur l'influence exercée par le passage d'un courant sur l'adhérence qui s'exerce entre les métaux et certaines substances alcalino-terreuses.

Si on dispose sur une plaque métallique une bande de papier humectée d'un sel de potasse, par exemple, et qu'on vienne à frotter la surface avec une bande métallique platinée, le passage du courant, produit par quelques éléments de pile, entre les deux métaux à travers la feuille humide, a pour effet de lubréfier en quelque sorte cette dernière et de rendre le glissement beaucoup plus doux. Les variations subies par le frottement suivent fidèlement les changements de l'intensité du courant et permettent ainsi de transformer en ébranlements mécaniques les courants ondulatoires provenant d'un transmetteur téléphonique.

Le récepteur d'Edison est formé d'un cylindre de chaux préparé d'une façon spéciale à l'aide de la chaleur et d'une forte compression.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il est monté sur un arbre mis en mouvement à la main; un petit ressort de platine, fixé par l'une de ses extrémités au centre d'une membrane vibrante, appuie par l'autre sur la surface du cylindre, sa direction étant perpendiculaire aux génératrices, de sorte que le frottement dû à la pression exercée sur le ressort tend à l'entraîner dans le sens du mouvement communiqué à la surface du cylindre; la plaque vibrante joue le rôle de ressort antagoniste et accuse, par sa courbure, l'intensité de la traction subie par le ressort.

Le transmetteur doit produire des courants alternatifs : on pourrait faire usage de téléphones électro-magnétiques énergiques, comme les Siemens et les Gower. On emploie plus généralement les transmetteurs microphoniques munis de bobines d'induction. La parole est alors reproduite avec intensité et une netteté suffisante; le chant et les sons musicaux le sont avec une grande énergie.

Les condensateurs récepteurs n'ont été d'abord qu'un simple objet de curiosité; on ne les employait qu'à reproduire des sons musicaux à la manière du téléphone de Reiss, c'est-à-dire sans la conservation du timbre. Comme tous les autres récepteurs, ils donnaient lieu à des sons intenses lorsqu'on les actionnait avec un transmetteur à interruption muni d'une bobine d'induction.

Dans ces dernières années, MM. Herz, Dunand et Dolbear sont parvenus à leur faire reproduire avec une grande netteté les sons articulés à la façon des téléphones ordinaires.

M. Herz fait usage, comme transmetteur, d'un appareil microphonique à contacts multiples disposé en dérivation avec une pile et le condensateur récepteur.

Les variations de résistance produites dans le microphone agissent pour faire varier la différence de potentiel aux deux armatures de condensateur et, par suite, la charge de ce dernier.

M. Dunand a procédé différemment en actionnant le condensateur comme un récepteur téléphonique ordinaire avec un transmetteur microphonique muni d'une bobine d'induction; mais en prenant la précaution d'opérer une polarisation préventive des armatures du condensateur par l'intercalation dans le circuit d'une pile composée de plusieurs éléments.

M. Dolbear a présenté à l'Exposition des petits récepteurs formés par deux plaques métalliques placées en regard l'une de l'autre à une très petite distance et constituant une sorte de condensateur à petite surface. Ces récepteurs étaient actionnés par des transmetteurs microphoniques à contacts métalliques et munis de bobines d'induction dont les circuits induits

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

étaient formés d'un très grand nombre de spires d'un fil extrêmement fin.

La presque totalité des transmetteurs microphoniques est munie de bobines d'induction dont le rôle est bien intéressant puisqu'il permet de proportionner les divers éléments, piles, transmetteurs, circuits inducteurs, circuits induits, lignes et récepteurs. Dans ces conditions, les courants parcourant la ligne sont analogues à ceux engendrés par des transmetteurs magnétiques.

On a quelques exemples isolés, il est vrai, d'essais de transmission sans interposition de bobine d'induction; c'est le cas de l'appareil de M. Machalski composé d'un transmetteur à charbon établi dans des conditions spéciales et de récepteurs Siemens. Il a pu fonctionner convenablement sur des lignes assez longues.

L'Exposition présentait aussi quelques modèles d'appareils téléphoniques intéressants au point de vue de la théorie des phénomènes téléphoniques et microphoniques ; nous citerons les transmetteurs à liquide de MM. Breguet et Salet, à flamme de M. Amsler, les récepteurs microphoniques de MM. Hughes, Bright, Boudet de Paris, les téléphones électro-capillaires de M. Antoine Breguet, les nombreuses formes de téléphones imaginées par M. Ader, le rotophone de M. Dolbear, qui n'est autre chose qu'une sorte d'électro-motographe magnétique,

On peut d'une façon générale et succincte exposer le fonctionnement des appareils téléphoniques de la manière suivante :

Les corps de toute forme et de toute nature, recevant les ondes sonores transmises par l'air ambiant, éprouvent des ébranlements moléculaires indépendamment des mouvements d'ensemble et sont par là susceptibles de constituer des transmetteurs téléphoniques si, grâce à des dispositifs convenables, leurs déplacements peuvent engendrer des courants électriques ou modifier la résistance d'une portion d'un circuit traversé par un courant.

C'est ainsi qu'un transmetteur magnétique peut fonctionner, à la rigueur, avec une plaque de fer de plusieurs millimètres d'épaisseur ; que les contacts imparfaits de tous genres, les transmetteurs à liquide ou à flamme, peuvent être rangés dans les microphones et rentrer dans la définition générale. Les actions mécaniques, telles que chocs, frottements, sans l'intervention de sources spéciales d'électricité, exercées sur une portion du circuit ou des organes magnétiques, donnent lieu à la production de sons dans le téléphone récepteur. (Expériences de MM. Ader, Trève, des Portes).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il va sans dire que les dispositifs peuvent être plus ou moins avantageux au point de vue de l'intensité des effets produits.

De même, toute substance susceptible d'éprouver mécaniquement des ébranlements moléculaires sous l'influence des variations d'intensité de courants constitue un récepteur téléphonique plus ou moins parfait. C'est ainsi qu'à côté des types bien connus, il faut citer les effets obtenus par M. Hughes avec le microphone récepteur ; entre les deux portions en contact d'un microphone traversé par un courant, il doit s'exercer une réaction fonction de l'intensité du courant, et par suite, si cette intensité est variable sous l'action d'un transmetteur téléphonique, la boîte même du microphone éprouve des ébranlements correspondants reproduisant les sons émis près du transmetteur.

Les actions moléculaires produites dans une masse de fer par des courants circulant autour ont permis à M. Ader de construire des récepteurs fort curieux ; il en est de même des effets mécaniques et thermiques développés dans un conducteur par le passage des courants.

Les réactions qui se développent entre deux corps chargés d'électricité permettent d'employer les condensateurs comme récepteurs.

La propriété curieuse découverte par M. Edison et concernant l'influence du passage d'un courant électrique sur le frottement de métaux contre certaines subtances lui a permis de constituer le récepteur téléphonique, le plus étrange de tous peut-être et sans contredit l'un des plus énergiques.

Il y a une remarque d'une grande importance à faire sur tous les récepteurs téléphoniques, c'est la nécessité de placer les organes qui les composent dans un certain état de tension ou de polarité. Autrement dit, les variations des courants électriques ne doivent point créer des réactions de toutes pièces, mais seulement faire varier l'intensité de réactions préexistantes.

Ainsi, les téléphones ordinaires doivent avoir leurs noyaux aimantés s'ils sont destinés à recevoir des courants induits ; si la ligne est parcourue par un courant de pile, modifié seulement par le jeu du transmetteur, l'effet de ce courant est de produire naturellement une réaction dans le récepteur même à noyau de fer doux ; le fonctionnement est assuré dans ce cas.

Le microphone peut servir de récepteur à circuit direct parcouru par un courant, mais cesse de fonctionner sous l'influence de courants induits ; dans ce cas il faut le faire traverser par un courant auxiliaire.

Les condensateurs n'ont pu servir de récepteurs pour les sons arti-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

culés que lorsqu'on eut pris la précaution de leur communiquer une charge préventive.

Les appareils de transmission les plus employés et doués de la plus grande sensibilité sont les transmetteurs à pile dans lesquels la résistance d'une portion du circuit est influencée par les ébranlements dus aux ondes sonores. Cette portion est constituée par des corps médiocrement conducteurs ayant pour base le carbone sous divers états et préparés de diverses manières. M. Edison, auquel on doit le premier type de téléphone à charbon a donné, dans le début, les formes les plus diverses à ce genre de transmetteur, mais il conserve encore aujourd'hui la forme primitive qui consiste à faire comprimer entre deux disques, par les mouvements d'une membrane vibrante, une sorte de pastille de suie de pétrole agglomérée.

Dans d'autres appareils, on fait traverser au courant électrique un contact de dimensions réduites établi entre deux morceaux de charbon très légèrement pressés l'un sur l'autre. Les transmetteurs Blake, de Locht-Labye, etc., sont dans ce cas.

Dans tous ces appareils, le réglage joue un rôle important et demande à être effectué avec soin et précision.

Le professeur Hughes, par ses remarquables travaux publiés au printemps de 1878, a montré tout le parti merveilleux que l'on pouvait tirer des transmetteurs à charbon, bien qu'en leur donnant les dispositions en apparence les plus grossières et les moins propres à des expériences d'acoustique : plus d'embouchure, plus de membrane vibrante recueillant les ondes sonores et agissant sur des organes spéciaux.

Le microphone se résume en un simple contact de deux corps médiocrement conducteurs tels que des fragments de charbon, de fer oxydé, etc., et de formes quelconques.

Si la pression exercée entre les deux portions est faible, la sensibilité de l'instrument est très grande; les moindres ébranlements peuvent alors produire des ruptures de contact donnant naissance à des ruptures de courant se traduisant dans les récepteurs par des bruits intenses.

Le microphone, considéré d'abord comme un instrument de curiosité, devint rapidement un transmetteur téléphonique des plus utiles. Pour arriver à ce résultat on dut prendre toutes sortes de précautions pour éviter les ruptures de contact et les bruits intenses et discordants qui en sont la conséquence. On y est arrivé en diminuant la sensibilité par une augmentation de la pression en contact et en associant un certain nombre de microphones en circuits dérivés.

Les appareils très répandus aujourd'hui et dus à MM. Crossley, Ader,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Gower, Paterson, Boudet de Paris, Maiche, d'Arsonval, sont des combinaisons du microphone de Hughes, disposées de bien des manières différentes. Ils ont le grand avantage de ne pas nécessiter de réglage, ce qui en fait des organes de transmission précieux pour les postes téléphoniques.

La substance employée dans leur fabrication est presque exclusivement composée de charbon artificiel pour lumière électrique. En France, la plupart des constructeurs font usage de charbons préparés par la maison Carré.

L'étude raisonnée des transmetteurs à pile a montré que l'on devait faire usage de bobines d'induction, dont le fil inducteur est dans un circuit local de peu de résistance comprenant le microphone et la pile ; cette dernière doit avoir une résistance intérieure aussi faible que possible. L'emploi de piles Leclanché à agglomérés est presque général ; trois ou quatre de ces éléments suffisent ordinairement. Le fil induit de la bobine d'induction doit être proportionné à la ligne et aux récepteurs.

Les téléphones magnétiques ont reçu les formes les plus diverses. Le modèle primitif créé par M. Bell et comportant un aimant droit placé en regard du centre d'un disque de fer et muni d'une bobine circulaire est encore un des plus répandus ; les dimensions admises il y a quatre ans n'ont pas sensiblement varié. Ces instruments fonctionnent très bien, surtout comme récepteurs ; les effets produits sont d'une intensité modérée.

On obtient des résultats plus marqués en faisant usage d'aimants puissants droits ou recourbés en fer à cheval, munis de deux bobines méplates en regard de plaques vibrantes et atteignant parfois d'assez grandes dimensions.

L'expérience a prouvé que ces dispositions étaient avantageuses et permettaient de constituer des transmetteurs énergiques. L'intensité magnétique de l'instrument semble avoir plus d'influence dans la transmission que dans la réception.

Les plaques vibrantes sont toujours aujourd'hui en fer-blanc nu ou verni. Les diamètres et épaisseurs varient avec les types et les dimensions des autres parties.

On observe généralement que les plaques de diamètres réduits sont moins sonores, les sons produits sont moins éclatants, mais plus nets, plus purs, plus agréables à percevoir. Ces plaques sont mieux appropriées aux instruments destinés à la réception et que l'on doit appliquer contre l'oreille.

Les instruments à grandes plaques et à aimants puissants sont des transmetteurs énergiques et des récepteurs sonores, avantageux lorsqu'on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

veut les employer seuls et leur faire rendre des sons intenses comme signaux d'appel.

L'épaisseur la plus convenable varie d'ailleurs avec le diamètre et a une grande importance pour le réglage, opération d'autant plus délicate qu'on fait usage de plus grandes plaques et d'aimants plus puissants.

Les diamètres de plaques varient en général entre 45 et 100 millimètres ; les épaisseurs entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ de millimètre. On peut donner comme règle approximative qu'une plaque est bien calculée quand le rapport du diamètre à l'épaisseur est compris entre 160 et 200.

Les téléphones magnétiques doivent toujours pouvoir être réglés, c'est-à-dire qu'on doit pouvoir faire varier la distance de la plaque aux extrémités des pôles de l'aimant ; la plupart des téléphones sont dans ce but munis de dispositifs spéciaux.

Dans les téléphones à aimants droits, les bobines uniques sont, bien entendu, circulaires, mais dans les téléphones à aimants recourbés dont les bobines sont voisines on a trouvé plus avantageux de leur donner une forme rectangulaire aplatie. Les appareils de MM. Bell, Trouvé, Naglo, etc., sont dans le premier cas ; ceux de MM. Siemens, Gower, Ader, Fein, Nigra, etc., sont dans le second.

On s'attache presque toujours à constituer les bobines avec un grand nombre de spires et dans ce but on fait usage de fil fin (10 à 15 centièmes de millimètre) ; les résistances des circuits des téléphones varient de 100 à 300 ohms suivant les types.

Les étuis des téléphones sont en bois, bois durci, ébonite ou entièrement en métal. Ce dernier genre semble prévaloir et présente de grands avantages au point de vue de la fixité du réglage et de la fabrication.

Lorsqu'on veut produire un son énergique à l'aide du téléphone lui-même, pour constituer un signal sonore tenant lieu d'avertissement, on ébranle violemment la plaque soit à l'aide d'un fort sifflet (Siemens, Naglo, etc.), soit en munissant la plaque elle-même d'une anche et en la faisant traverser par un courant d'air (Gower). Il en résulte la formation d'ondes électriques relativement intenses, donnant naissance dans des récepteurs à grandes plaques à des vibrations énergiques très sensibles au toucher et produisant des sons intenses que l'on rend plus stridents et par suite perceptibles à une plus grande distance en faisant frapper la plaque vibrante contre un butoir convenablement réglé ou un corps pesant libre de sauter sur la plaque (Siemens, Naglo, etc.).

M. Ader a réussi à obtenir un signal optique permanent sous l'effet

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des courants ondulatoires produits par des transmetteurs magnétiques à l'aide de son relais à déclanchement progressif. Cet appareil a été utilisé pendant quelque temps dans les postes de la société fondée pour exploiter les appareils Gower sans sonnerie ni pile.

La transmission téléphonique exige des lignes bien isolées (c'est-à-dire sans mélanges, ni dérivations à la terre), des terres excellentes, car la délicatesse du téléphone le rend très sensible aux effets nuisibles. D'autre part, les phénomènes d'induction sont très gênants et doivent être évités d'une façon absolue, aussi bien pour assurer le bon fonctionnement que pour garantir le secret des correspondances.

Les circuits des lignes aériennes sont en général simples, avec terre à chaque extrémité : on évite dans leur établissement les parcours parallèles sur une grande longueur. Dans les grandes villes, on fait souvent usage de lignes souterraines pour lesquelles les circuits uniques, nécessairement voisins, seraient inadmissibles. On emploie alors des circuits doubles, formés de deux conducteurs tordus ensemble. Ce système, qui a l'avantage de supprimer la terre dont l'influence n'est jamais négligeable au point de vue des dérivations, semble préférable à celui des conducteurs simples enveloppés d'une gaine ou d'une hélice métalliques en communication avec la terre.

L'installation des bureaux et des postes des sociétés de correspondance téléphonique présente un grand intérêt et l'on pouvait, à l'Exposition, examiner les modèles d'un certain nombre de dispositifs.

La Société générale des téléphones avait établi un modèle en grand de bureau central desservant en réalité un certain nombre de postes établis dans des guérites ou cabines sourdes réparties en différents points du Palais et constituant pour le public une vive attraction. Les sociétés américaines (Western Electric, Bell, etc.), les sociétés anglaises (Paterson, etc.), allemandes (Reichs Postamt, Siemens, Naglo) exposaient également des modèles de tableaux et des commutateurs destinés à fournir la communication entre les postes d'abonnés.

Le problème à résoudre est le suivant :

Les postes installés chez les divers abonnés d'une région sont groupés autour d'un bureau central d'où rayonnent toutes les lignes. Les bureaux centraux des diverses régions sont reliés les uns aux autres de toutes les manières possibles par un nombre convenable de lignes.

Chaque ligne d'abonné aboutit au bureau central à un organe produisant un appel sonore fugitif et un signal optique permanent en indi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quant l'origine. Il faut donc autant de relais que de lignes; ces relais mettent en action le circuit d'une sonnerie locale et produisent un déclenchement permettant de les distinguer les uns des autres.

Les employés du bureau central ont à leur disposition un poste téléphonique fixe ou portatif qu'ils peuvent aisément et rapidement mettre en relation avec l'une quelconque des lignes. Après l'échange de renseignements convenables, il faut mettre en relation directe deux abonnés, mais en se réservant le moyen d'apprécier la fin de leur conversation.

Jusqu'ici le procédé le plus généralement employé consiste à établir à la jonction de deux lignes une dérivation à la terre, à travers le circuit résistant d'un relais spécial appelé *annonciateur*. Les piles des divers abonnés ayant tous leurs pôles disposés de la même façon, il suffira qu'à la fin de la conversation, et après une entente préalable, ils envoient les courants de leurs piles sur la ligne et par suite à travers les relais de l'annonciateur dont le déclenchement servira d'avertissement pour l'employé du bureau central chargé de remettre aussitôt les choses en état.

Ce système a l'inconvénient de nécessiter l'établissement d'une dérivation dont l'effet est d'affaiblir dans une certaine mesure le fonctionnement des téléphones.

La Société générale des téléphones se propose d'employer désormais un relais doué d'une grande sensibilité, imaginé par M. Ader. Ce relais, dont la résistance est aussi faible que possible, est intercalé sur le circuit même de deux abonnés en correspondance. Les dérivations sont ainsi supprimées.

Les communications sont établies et rompues par le jeu d'un petit commutateur à ressort et à cheville auquel les Américains ont donné le nom de Jack-Knife. Une seule manœuvre, faite avec une cheville, produit deux effets : séparation de la ligne du relais correspondant du tableau et mise en communication avec le téléphone de l'employé lui-même.

Dans le cas des circuits souterrains à double conducteur, on fait usage de Jack-Knife à double effet.

Le bureau central du Palais de l'Exposition installé par M. Berthon, ingénieur de la société, et M. Gilquin, chef d'atelier, sur le modèle de celui de l'avenue de l'Opéra, montre l'habileté et le soin avec lesquels a été établie cette partie si importante du réseau téléphonique. La société, dirigée par M. Lartigue, a parfaitement résolu le problème de la correspondance téléphonique, rendu de jour en jour plus complexe par l'augmentation incessante du nombre des abonnés et l'accroissement encore plus grand du nombre des communications à leur donner journellement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Plusieurs inventeurs, en Amérique MM. Connoly et Mac Tighe, en Belgique M Leduc, se sont proposé de réaliser des appareils automatiques remplaçant les employés des bureaux centraux; ils ont mis en usage, pour obtenir ce résultat, les dispositions mécaniques et électriques les plus ingénieuses, mais il faut bien le dire, les dispositifs sont nécessairement compliqués et délicats. L'expérience décidera des services que l'on peut en attendre.

Une des innovations les plus intéressantes de l'Exposition a été l'audition téléphonique de l'Opéra et du Théâtre-Français. Cette expérience a été couronnée d'un plein succès et a vivement frappé le public dont l'empressement n'a pas diminué un seul instant.

Les dispositions prises par MM. Ader et Antoine Breguet, tant à la transmission qu'à la réception, étaient des plus heureuses; les appareils construits dans les ateliers de la maison Breguet sur les indications de M. Ader ne différaient pas sensiblement des types adoptés pour les postes téléphoniques.

Dans les théâtres, les transmetteurs étaient placés sur la rampe, des deux côtés du souffleur; les récepteurs disposés dans quatre salles de l'Exposition convenablement garnies de tentures et de tapis pour amortir les bruits insolites. Les transmetteurs étaient placés dans des boîtes lestées de plomb et reposant sur des plaques de caoutchouc.

Chaque transmetteur placé à gauche du souffleur actionnait une série de récepteurs destinés au côté gauche de quatre paires consécutives. Le transmetteur du même rang du côté droit de la rampe desservait les quatre autres récepteurs, de telle sorte que pour chaque auditeur l'oreille gauche était influencée par un transmetteur de gauche et la droite par le transmetteur de même ordre à droite. Ce dispositif permettait d'apprécier nettement les positions relatives des acteurs et leurs déplacements d'un côté à l'autre de la scène.

Les lignes étaient formées de conducteurs tordus ensemble et constituant des circuits doubles complètement à l'abri des effets d'induction.

En Italie, M. Mugna a appliqué le microphone à l'étude des mouvements du sol; au fond d'un puits, un petit poids suspendu à un long fil comme une sorte de pendule vient buter légèrement contre un fragment de charbon; l'ensemble est parcouru par un courant dont un téléphone accuse les variations. On entend ainsi les moindres mouvements du sol et on peut espérer de la sorte prévoir quelque temps à l'avance les trembles-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ments de terrre. M. Mugna a donné à son appareil le nom de microphone sismique.

Les applications les plus complètes du microphone à l'art médical et aux études physiologiques sont dues à MM. d'Arsonval et Boudet de Paris. L'exposition de ce dernier était des plus complètes et des plus intéressantes.

Photophonie.

La photophonie a été créée comme la téléphonie par M. Graham Bell; la publication des premiers travaux sur cette question a été faite dans le courant de l'année 1880, dans un mémoire fort étendu résumant les expériences faites en collaboration avec M. Tainter.

Depuis, plusieurs savants, en Angleterre sir W. Thomson, MM. Preece et Bidwell, en France M. Mercadier, ont répété les expériences sous les formes les plus variées et ont, par leurs travaux du plus haut intérêt, fait progresser la théorie des phénomènes mis en jeu dans le photophone.

Les expériences fondamentales de MM. Graham Bell et Tainter sont les suivantes :

Utilisant la propriété curieuse du sélénium, qui consiste dans l'influence que les rayons lumineux exercent sur sa conductibilité électrique, ces savants ont formé avec cette substance une sorte de transmetteur microphonique dont les variations de résistance sont perçues au moyen d'une pile et d'un téléphone.

Dans les appareils présentés par MM. Graham Bell et Tainter et appartenant au Conservatoire des arts et métiers, le transmetteur est une sorte de roue dentée jouant le rôle de sirène optique, lorsqu'il s'agit de produire des interruptions rapides et régulières du rayon lumineux et de provoquer dans les appareils récepteurs un son intense dont la hauteur est fonction des dimensions de la sirène et de sa vitesse de rotation. Pour transmettre les sons articulés, on fait usage de miroirs en verre mince argenté faisant l'office de membranes vibrantes. Ces miroirs, plans au repos, deviennent concaves ou convexes en vibrant et les rayons lumineux qu'ils réfléchissent subissent constamment des divergences ou des convergences dont l'effet est de faire varier l'intensité de son action sur le récepteur à sélénium.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La transmission des sons articulés exige des conditions toutes particulières qui en font une expérience délicate : il n'en est pas de même de la production des sons musicaux.

MM. Bell et Tainter ont poursuivi leurs expériences dans une autre voie où l'électricité n'est plus en jeu, en écoutant les vibrations moléculaires produites sur certaines substances par les changements d'intensité du rayon lumineux qui les frappe. Leurs études ont prouvé que presque tous les corps produisaient des effets perceptibles à divers degrés.

M. Mercadier a entrepris, dès l'apparition des premières découvertes de MM. Bell et Tainter, une série d'expériences dont les résultats mettent hors de doute que les causes des phénomènes photophoniques sont dues aux radiations thermiques et a proposé de substituer la dénomination de radiophonie, universellement adoptée aujourd'hui.

Les travaux de M. Mercadier ont fait l'objet de nombreuses et intéressantes communications à l'Académie des sciences et publiées dans les comptes rendus.

L'exposition du Ministère des Postes et Télégraphes était très complète et fort fréquentée par le public, qui prenait le plus vif intérêt aux expériences radiophoniques répétées sans cesse avec une complaisance sans limite par M. Mercadier auquel on doit ces expériences, par M. Seligman Lui, MM. les jeunes élèves de l'École supérieure de Télégraphie et M. Humblot. Le public pouvait percevoir les sons musicaux provoqués par des sirènes optiques interceptant le faisceau d'un foyer électrique et reçu soit sur des récepteurs à sélénium munis de téléphones, soit sur de simples fragments de clinquant recouverts de noir de fumée et renfermés dans des tubes de verre. Ces derniers appareils ont pu également faire entendre les sons articulés, dans les expériences de M. Mercadier.

J. POLLARD.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

GROUPE III

CLASSES 2, 10 ET 11

CLASSE 2

PILES ET ACCESSOIRES.

L'importance des piles au point de vue des industries qui emploient l'électricité a considérablement diminué depuis les développements qu'ont pris les machines dynamo-électriques, développements qui se sont manifestés d'une manière si nette à cette Exposition. Ce ne sera plus à l'avenir que pour des circonstances où le courant électrique agit par intervalle et où il est utilisé avec une très faible intensité que les piles, pensons-nous, continueront à être employées : dans les grandes usines, on les a déjà remplacées par des machines et leur suppression sera à peu près complète le jour où les grandes villes posséderont une distribution d'électricité à domicile. Ces conditions montrent que, au point de vue industriel, la question des piles a perdu la plus grande partie de son importance : est-ce pour cette raison que l'on rencontre, en ce qui concerne les piles proprement dites, si peu de progrès sérieux, les chercheurs, les constructeurs ayant porté tous leurs efforts vers une autre source d'électricité ? est-ce parce que les modèles actuels ont atteint la perfection la plus grande que l'on puisse attendre de ces appareils ? c'est ce que nous ne voudrions pas décider ; nous nous bornons seulement à constater le fait.

Les modèles de piles diverses ne manquent pas au Palais de l'Industrie et même, en faisant abstraction des piles thermo-électriques et des accumulateurs ou piles secondaires, il n'y a pas moins de 75 exposants qui ont présenté des piles hydro-électriques. Nous ne saurions nous proposer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de passer en revue tous les modèles exposés : ce serait nous exposer à décrire des éléments connus depuis longtemps. Le jury a pensé qu'il convenait de s'arrêter seulement à signaler les appareils présentant quelques particularités nouvelles dont l'emploi semble un progrès réel sur les appareils précédents.

Sans chercher à vouloir établir une classification qui n'aurait d'intérêt que si nous voulions insister sur des modèles classiques ou au moins déjà souvent décrits, nous nous efforcerons d'apporter un certain ordre dans le résumé des observations qui ont été émises au sein du 3e groupe du jury.

I. — Nous dirons dès l'abord que le jury n'a point voulu s'ériger en juge de la valeur purement scientifique des appareils qui ont été employés par divers savants pour des recherches spéciales ou comme exemple d'actions particulières : nous citerons, par exemple, les éléments au sélénium de M. Sabine (Londres) et les couples de M. le professeur Pacinotti de Cagliari. Seules, les piles qui ont été construites pour des usages industriels ou qui sont présentées par des constructeurs ont été examinées au point de vue de la valeur relative qu'on peut leur attribuer.

Pour des raisons qu'il est facile de concevoir, le 3e groupe du jury n'a pas cru devoir faire entrer en ligne de compte, au même titre que les autres exposants, les grandes administrations, les ministères, etc., dont quelques-uns avaient réuni de très intéressantes collections. Aussi a-t-il pensé qu'il y avait lieu de grouper à part ces administrations dont la liste suit :

FRANCE.	Ministère de l'Agriculture et du Commerce.
	Ministère des Postes et Télégraphes.
	Ville de Paris.
ALLEMAGNE.	Direction der Thuringischen Eisenbahn-Gesellschaft. (Erfürt.)
	Kœnigliche Akademie Physikalisches Kabinet. (Münster.)
	Reichs Postamt. (Berlin.)
ÉTATS-UNIS.	United States signal office.
BELGIQUE.	Administration des Télégraphes de l'État.
JAPON.	Ministère des Travaux Publics.
RUSSIE.	Département des Télégraphes.
SUÈDE.	Administration des Télégraphes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II. — Les piles à un liquide, ou mieux sans dépolarisation, ne figuraient à l'Exposition que dans la partie historique et les modèles pratiques ou à courant constant dont le premier type a été la pile de Daniell, étaient seules représentées par de nombreux modèles.

La pile Daniell était représentée à l'Exposition par un très grand nombre de constructeurs et d'exposants : elle est trop connue dans sa forme principale et dans ses formes dérivées, pour qu'il soit nécessaire d'en faire une mention spéciale. Le jury croit cependant devoir signaler tout particulièrement la pile CALLAUD, qui est employée sur une grande échelle par des administrations télégraphiques qui la trouvent d'un emploi avantageux. On sait d'ailleurs que cette pile a de grandes analogies avec la pile Meidinger.

L'inconvénient que présentent ces piles, c'est que le sulfate de cuivre pénétrant par diffusion dans l'autre liquide, du cuivre se dépose sur le zinc et nuit au fonctionnement ultérieur. Des dispositions diverses ont été imaginées pour parer à cet inconvénient ; nous signalerons en particulier le modèle présenté par M. GAIFFE : le vase poreux est remplacé par un vase cylindrique imperméable dans sa partie inférieure et poreux dans sa partie supérieure seulement. De plus un anneau de fil de cuivre relié par un fil du même métal à la lame de cuivre qui est l'électrode positive est plongé au fond du liquide extérieur alors que, comme dans la pile Callaud, le zinc occupe seulement la partie supérieure. Lorsque le sulfate de cuivre diffuse à travers le vase poreux, il tombe au fond du vase extérieur en dehors de la sphère d'action du zinc et ne produit aucun effet tant que le circuit reste ouvert. Mais si le circuit est fermé, l'action du courant réduit ce sulfate de cuivre, le cuivre se déposant sur l'anneau du même métal le liquide reprend sa pureté et l'action continue comme dans un couple de Daniell ordinaire.

La pile SIEMENS ET HALSKE doit être rattachée à la pile Daniell : le vase poreux y est remplacé par une couche de pâte de papier. Cette pile, qui donne un courant d'une constance notable, est d'un entretien assez délicat.

Dans presque toutes les piles, dans celles au moins qui sont entrées dans la pratique, le zinc est le métal dont l'attaque par divers corps est la cause de production du courant, et l'emploi d'autres métaux n'a pas été jusqu'à présent sanctionné par l'expérience. Ce qui distingue en réalité les divers types des piles, c'est la nature de la substance employée pour produire la dépolarisation. Nous ne nous arrêterons pas à indiquer même sommairement les modèles connus et nous insisterons seulement sur ceux qui présentent des particularités qui n'avaient pas été précédemment signalées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le modèle qu'il a imaginé, M. Beaufils prend pour dépolarisateur un mélange fait à chaud de sulfate de mercure, charbon ou plombagine en poudre fine et paraffine. Par le refroidissement le mélange se prend en masse. La pile se monte avec de l'eau ordinaire; d'après les renseignements fournis par l'inventeur cette pile a une force électro-motrice de 1,5 volts et sa résistance est de 2 à 3 ohms. Le dépolarisateur ainsi rendu solide est facilement transportable et peut se garder sans détérioration ; l'élément ne s'use pas lorsque le circuit n'est pas fermé et paraît pouvoir servir avantageusement pour l'exploitation des lignes télégraphiques.

La pile Leclanché, sous sa forme primitive, a rendu de nombreux services et est un des modèles les plus répandus pour les usages où l'action du courant est intermittente et ne doit pas se prolonger: elle est construite en grand par la maison Barbier (Paris). Une importante modification vient de lui être apportée et a attiré spécialement l'attention du jury : elle consiste dans l'emploi de plaques agglomérées mobiles servant de dépolarisateur et obtenues en comprimant, à chaud et sous une forte pression, la poudre de charbon et le bioxyde de manganèse. Le vase poreux est alors supprimé : il en résulte que le montage est beaucoup plus facile et que la résistance est notablement diminuée (elle ne serait que $\frac{1}{5}$ de celle de l'élément Leclanché à vase poreux) sans que les avantages de l'ancien modèle aient été modifiés. Ajoutons enfin que le prix est un peu moindre. Cette modification correspond à un progrès réel et désignait naturellement la maison Barbier, dont l'importance commerciale est bien connue, pour une récompense élevée.

M. Gaiffe, qui a exposé d'intéressants appareils dans diverses sections, a présenté au jury un modèle de pile du système Leclanché dans lequel les matières dépolarisantes, charbon et bioxyde de manganèse, au lieu d'être grossièrement mélangées, sont distribuées par couches alternatives dans le vase poreux, le charbon étant conservé en fragments assez gros au lieu d'être pulvérisé ce qui, paraît-il, évite une polarisation rapide.

La maison Latimer-Clarke, avait exposé des modèles nombreux d'éléments connus et appréciés, sur lesquels il n'y a pas lieu d'insister, et une pile relativement nouvelle : la pile *Howel,* qui présente une certaine complication provenant de l'emploi d'un vase spécial percé d'ouvertures multiples. Dans cette pile, qui paraît donner de bons résultats, le zinc est mis au contact d'une dissolution de sulfate d'ammoniaque; au fond du vase se trouve un peu de mercure qui assure l'amalgamation du zinc; en dehors du vase poreux se trouve une dissolution d'acide sulfurique qui baigne un mélange de fragments de graphite, de bioxyde de manganèse et de sulfate de manganèse (manganèse blanc du commerce) qui a pour effet de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diminuer la résistance. D'après les indications fournies, la force électromotrice de cette pile serait de $2^{volts},14$ et sa résistance de 5 à 6 ohms.

L'exposition de la maison BREGUET, qui doit être justement signalée à divers points de vue, comprenait des modèles d'un grand nombre de piles déjà appréciées à différents titres et sur lesquelles il est inutile de nous arrêter : le jury a pensé cependant que l'on devait faire spécialement mention du modèle dû à un électricien distingué, M. NIAUDET, pile à vase poreux comprenant, d'une part, du zinc dans une dissolution de sel marin, et de l'autre des fragments de charbon mélangés de chlorure de chaux et entourant une lame de charbon servant d'électrode : le dépolarisateur est ici l'acide hypochloreux.

M. MAICHE a cherché à obtenir la dépolarisation à meilleur compte, en utilisant l'action oxydante de l'air. La pile, bien disposée pratiquement d'ailleurs, comprend d'une part du zinc plongeant dans une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque placée dans un bocal en verre dans lequel on introduit, d'autre part, un vase poreux contenant des fragments de charbon platiné plongeant en partie dans le liquide qui a traversé le vase poreux : l'hydrogène, qui prend naissance par l'action du zinc et qui tendrait à se déposer sur le charbon et à polariser la pile, est brûlé par l'oxygène de l'air, ce qui revient à dire que, sauf le prix du matériel, la dépolarisation ne coûte rien. Nous l'avons dit d'ailleurs, la disposition pratique semble bien comprise ; le zinc est mis en contact continuel avec du mercure et s'amalgame constamment et spontanément : c'est une pile qui peut rendre de réels services pour la télégraphie et les sonneries.

Les modèles de piles au bichromate de potasse étaient nombreux et il n'y a rien de particulier à signaler sur les types présentés par la plupart des constructeurs. Quelques modifications méritent cependant d'être citées. Ainsi la « ELECTRO DYNAMIC COMPANY » a exposé, pour faire mouvoir les moteurs Griscom, une pile au bichromate de potasse ingénieusement disposée dans laquelle les zincs et les charbons peuvent être aisément sortis du liquide et dont les zincs sont moulés spécialement avec une épaisseur plus grande à la partie inférieure qu'à la partie supérieure, parce que l'expérience a montré que c'est à la partie inférieure que se produit toujours la plus grande usure.

M. CHUTAUX a exposé divers modèles de piles qui sont des modifications de la pile au bichromate et qui, sans posséder aucune propriété spéciale, présentent quelques détails ingénieux. Dans l'un, les électrodes, zinc et charbon, sont entourés respectivement de sable et de poussière de charbon et ces matières pulvérulentes sont humectées par une dissolution de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bichromate de potasse et d'acide sulfurique qui s'écoulant d'un réservoir supérieur traverse l'élément pour sortir par une ouverture placée à la partie inférieure du vase et tomber dans un autre élément situé au-dessous. Nous rapprocherons de ce modèle une autre pile exposée par M. Chutaux, et dans laquelle le liquide chromique placé dans un vase poreux peut être remplacé par dégorgement au fur et à mesure de son usure : ce liquide est formé de 100 gr. de bichromate de potasse et 200 gr. d'acide sulfurique par litre d'eau : le liquide extérieur est une dissolution de sel de cuisine et de sel de mercure.

L'usage des piles au bichromate est rendu plus facile par l'emploi du sel excitateur que MM. Voisin et Dronier semblent avoir obtenu les premiers sous une forme satisfaisante, qui présente à l'état solide l'acide et le sel et qu'il suffit dès lors de jeter dans l'eau pour obtenir le liquide prêt à agir. M. Loiseau a exposé des échantillons de ce sel qui est fréquemment utilisé et dont le prix ne semble pas trop élevé.

M. Partz a modifié la pile au bichromate en prenant pour liquide excitateur une dissolution de bichromate d'ammoniaque et de chlorure de zinc qui aurait pour effet, d'après l'inventeur, d'éviter les dépôts solides qui tendent à se produire sur les charbons. La force électro-motrice de cette pile serait de $2^{volts},1$ au début et décroîtrait pour se maintenir à $1^{volt},45$; sa résistance serait de 2 ohms.

III. — Parmi les modifications qui affectent la construction des éléments sans influer sur leur mode d'action, il en est un petit nombre qui méritent d'être citées. Parmi celles-ci nous indiquerons l'ingénieux emploi que M. Samson a fait de tiges en fer émaillé qui remplacent avantageusement les conducteurs isolés de cuivre recouvert de gutta-percha, que l'on a quelquefois l'occasion d'employer.

M. Giesbers s'est proposé de réduire la dépense occasionnée par l'emploi des piles, au moins en tant que cette dépense est inutile : il a cherché à éviter le contact du zinc avec l'acide qui l'attaque lors même que le circuit est ouvert, et en même temps à empêcher la diffusion qui s'opère entre les liquides à travers les vases poreux. A cet effet, ces derniers sont imperméables dans leur partie inférieure, et perméable dans leur moitié supérieure seulement: le zinc se trouve au niveau de cette dernière partie tandis que, à l'état de repos, le liquide acide occupe seulement la partie inférieure. Des plongeurs en gutta-percha pénètrent dans chacun des vases lorsque la pile doit fonctionner et élèvent le niveau du liquide acide jusqu'à l'amener au contact du zinc et de la partie perméable. Cette disposition est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ingénieuse, bien qu'il soit à craindre que, pratiquement, les avantages qu'elle produit ne compensent pas la complication qu'elle entraîne.

L'emploi des piles électriques est limité dans un certain nombre de cas par la présence des liquides qui s'opposent au transport et aux déplacements fréquents. Cet inconvénient avait frappé plusieurs constructeurs et l'on peut citer parmi eux M. Trouvé qui, en vue spécialement des appareils médicaux, a depuis longtemps déjà construit des piles genre Daniell, dans lesquelles les liquides servent à imbiber des rondelles de papier buvard : ces modèles déjà connus figuraient à l'Exposition, mais il n'y a pas lieu de nous y arrêter spécialement.

MM. Desruelles et Bourdoncle se sont proposé de construire des piles de tout système dans lesquelles le renversement des liquides ne soit pas à craindre : ils ont imaginé de remplir les vases à acides ou à dissolutions salines avec de l'amiante, réduit en filaments, qui s'imbibe facilement et qui n'occupe effectivement qu'un volume restreint pour un volume apparent notable. Ces piles peuvent être transportées sans inconvénient aucun puisqu'il n'y a pas de liquide libre ; malgré la présence de l'amiante, la résistance ne serait, paraît-il, que faiblement augmentée et la force électromotrice ne serait pas changée. Des éléments de ce genre ont été appliqués dans diverses circonstances et, notamment, la Compagnie du chemin de fer du Nord en possède 8,000, qui sont utilisés dans les fourgons qui accompagnent les trains. Ce procédé a paru au jury susceptible de permettre la généralisation de l'emploi des piles et digne de recevoir une récompense élevée.

La pile de M. Skrivano (Russie) est également une pile sans liquide ; les substances employées sont solides et l'action chimique se produit exclusivement par suite de l'humidité atmosphérique. La pile comprend une lame de charbon qui sert d'électrode positive et sur laquelle est déposée une couche de chloro-mercurate de potasse qui agit sur le zinc servant d'électrode négative. Cette pile fonctionne bien, surtout pour un service intermittent, comme celui des sonnettes électriques ; le zinc est alors porté par le bouton de la sonnette et écarté du sel de potasse par l'action d'un ressort : le circuit est fermé et la pile constituée lorsque l'on appuie sur le bouton. Ce modèle est intéressant, mais il est nécessaire pour le juger définitivement qu'il ait subi l'épreuve d'une pratique prolongée.

IV. — Les appareils les plus dignes d'intérêt qui figuraient dans la classe 2 étaient incontestablement les *piles secondaires* ou *accumulateurs* qui, bien que connues en principe depuis 1843 (pile à gaz de Grove) et même

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sous une forme pratique depuis près de vingt ans (pile Planté), paraissent seulement depuis un an environ avoir été appréciées à leur juste valeur au point de vue pratique et semblent maintenant appelées à jouer un rôle important dans l'industrie.

La pile PLANTÉ est trop connue maintenant pour qu'il soit nécessaire de la décrire : on sait qu'elle consiste en lames de plomb plongées dans l'eau acidulée et qui pendant un certain temps sont mises en communication avec les pôles d'une pile ou d'une machine à courants continus, les résidus de la décomposition chimique s'accumulant sur les lames de plomb, l'oxygène se combinant avec ce métal et, lorsque le courant primitif aura cessé, la pile secondaire sera chargée et pourra à son tour donner naissance à un courant lorsqu'elle fera partie d'un circuit.

Nous n'avons pas l'intention d'examiner les propriétés et les usages de cette pile qui, ingénieusement disposée par M. Planté, se prête à de nombreuses applications : M. Planté et d'autres expérimentateurs ont, à diverses reprises, traité la question. Il paraît bien établi par les essais divers qui ont été faits et par les discussions auxquelles il ont donné lieu que cet appareil est appelé à jouer le rôle important d'un accumulateur d'énergie. Sans qu'il soit nécessaire d'insister, on comprend que le jury ait proposé pour M. G. Planté une très haute récompense.

La pile Planté, dont le fonctionnement est excellent lorsqu'elle a été bien formée et qui s'améliore par l'usage, ainsi que l'a montré l'expérience, présente l'inconvénient qu'elle est lente à se former. On peut se demander s'il ne serait pas possible de hâter cette période préparatoire par l'emploi de substances convenablement choisies que l'on joindrait au plomb. C'est ce que M. C. FAURE a cherché à réaliser dans les piles ou accumulateurs exposés par la Société « FORCE ET LUMIÈRE » ; une couche d'oxyde de plomb est déposée à l'avance sur l'une des lames de plomb, ce qui évite la période destinée à transformer celle-ci par l'action des courants de formation qui doivent agir dans la pile Planté. L'application de cette idée peut être une amélioration de la pile Planté, à ce point de vue : mais il y a lieu de se demander, les essais ne durant pas depuis un temps assez long, si la pile Faure ne se détériorera pas par l'usage, si cette couche d'oxyde déposée à l'avance se comportera à tous égards comme celle qui se produit et se détruit au fur et à mesure dans la pile Planté. Ajoutons que, *a priori*, les chiffres fournis pour évaluer l'effet utile de la pile Faure (travail rapporté à l'unité de poids) ont paru exagérés eu égard à ceux que donne la pile Planté, les différences de construction n'expliquant pas la différence des résultats et la question demandant à être étudiée avec soin. Quoi qu'il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en soit, la pile Faure paraît être une ingénieuse modification de la pile secondaire Planté, modification qui semble susceptible d'applications industrielles nombreuses et le jury a proposé pour elle une récompense élevée.

Le jury n'a pas cru devoir s'arrêter à quelques autres modifications proposées pour la pile Planté, modifications ingénieuses, mais auxquelles manque absolument la sanction de la pratique.

V. — Le jury a eu à examiner quelques produits destinés aux piles et exposés par des fabricants spéciaux qui ne présentaient pas de piles complètes.

La fabrication des charbons n'est pas bornée maintenant aux charbons des piles, mais s'étend aux charbons pour la lumière électrique; nous n'avons pas à nous occuper de ce dernier côté de la question. Bien qu'il existe encore quelques fabricants qui fournissent du charbon de cornue taillé ou scié, c'est presque toujours aux agglomérés que l'on a recours. Les produits, lorsqu'ils sont fabriqués avec soin, peuvent présenter plus d'homogénéité que les charbons naturels et l'on peut, dans une certaine mesure au moins, faire varier leurs propriétés. Il nous paraît impossible de décrire les divers produits exposés et nous croyons devoir nous borner à signaler les noms des fabricants qui ont paru dignes au jury de recevoir des récompenses :

MM. L'Hote, de Paris.
Ballat.
Blouzon.
Gersabeck et Zeller.
Mourlon.
Keiser et Schmidt.

La fabrication des vases en grès destinés à former les éléments et celle des vases poreux n'est pas en général exclusive et n'entre que pour une part plus ou moins importante dans la fabrication des produits céramiques de diverses usines. Parmi celles qui ont paru au jury dignes de devoir être signalées spécialement tant par l'importance de leur fabrication que par la valeur des produits exposés, nous citerons :

MM. Barluet, de Creil et Montereau.
Bourne.
Richard.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le jury a également examiné avec intérêt l'exposition de MM. Le Tellier et Verstraet, de Paris, qui ont présenté de nombreux objets en caoutchouc durci dont quelques-uns sont applicables au montage des piles.

La maison Billaudot, de Paris, avait exposé des échantillons des divers produits qui sont utilisés pour le montage des piles, et tant à ce point de vue qu'à celui de l'électro-chimie, elle a appelé l'attention du jury qui a cru devoir la proposer pour une récompense.

Le jury n'a pas cru, par contre, devoir s'occuper particulièrement des exposants qui présentaient seulement du zinc destiné à la construction des piles ; outre que, sauf la forme, le zinc destiné aux piles ne doit posséder aucune propriété particulière, le jury n'avait pas les éléments d'appréciation qui auraient permis d'établir entre les divers exposants une juste distinction. En conséquence, il n'a pas cru pouvoir juger les produits de MM. Hubin, Letrange et Tournade.

De même le jury n'a pas cru devoir donner son appréciation sur les produits exposés par M. Sainte (Amiante), bien que les échantillons lui parussent intéressants, ce produit n'ayant pas jusqu'à présent une application directe dans la construction des piles.

VI. — Les piles thermo-électriques ont été pendant longtemps employées uniquement comme thermomètres pour des recherches délicates de physique ou de physiologie dans lesquelles il était nécessaire de mettre en évidence de petites différences de températures. C'est encore dans ces circonstances qu'elles sont le plus fréquemment employées : on commence cependant depuis quelques années à les utiliser comme source de courants électriques ; la pile notamment de Noë est fréquemment employée dans les laboratoires et était représentée à l'Exposition.

La pile thermo-électrique appliquée en grand est-elle susceptible de produire les courants électriques à bas prix ? c'est ce que certains constructeurs ont pensé, et le jury a regretté que rien des essais qui ont été tentés depuis quelques années n'ait figuré à l'Exposition. Parmi les appareils exposés, il n'a point distingué d'idées nouvelles ou nouvellement appliquées et la seule différence entre les divers appareils a paru résider dans le soin apporté à la construction (pour l'une des piles exposées (n° 49) l'exposant dûment convoqué à plusieurs reprises ne s'est point présenté et le jury n'a pu avoir aucun renseignement).

La plupart des constructeurs d'appareils électriques avaient exposé des piles thermo-électriques; le jury n'a pas cru devoir signaler spé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cialement ces expositions qui se recommandaient à d'autres titres et s'est bornéà indiquer les expositions qui présentaient à ce point de vue une spécialité. Il a cité à cet égard les noms suivants :

MM. Lenczewski, de Paris.
Noé de Paris.
Doerfel.
Rebicek.

C.-M. GARIEL.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 10

ÉLECTRICITÉ MÉDICALE

La classe 10, sous le titre d'*électricité médicale*, renferme en réalité des appareils correspondant à deux ordres différents d'idées : tantôt l'électricité est considérée comme un agent thérapeutique, soit qu'on l'emploie à l'état statique ou sous forme de courants continus ou de courants induits; tantôt l'électricité est un auxiliaire précieux pour les recherches physiologiques aussi bien comme constituant un agent d'excitation, que comme permettant dans des conditions déterminées l'enregistrement des phénomènes que l'on étudie. Malgré cette division naturelle, nous examinerons ensemble tous les instruments catalogués dans la classe 10, ainsi que ceux qu'on a cru devoir y rattacher; ce sont en effet, sauf de rares exceptions, les mêmes constructeurs qui exécutent les appareils de l'une et l'autre catégorie, et nous serions conduits, en agissant autrement à de continuelles redites.

Les appareils présentés par M. GAIFFE (506) ont appelé spécialement l'attention du jury, tant par le soin qui a été apporté à leur construction, que par l'ingéniosité pratique des dispositions qui ont été adoptées : nous citerons, par exemple, les appareils destinés à l'application des courants continus, les machines d'induction magnéto-électriques et spécialement les machines volta-électriques. Parmi ces dernières, il est à peine nécessaire d'indiquer le modèle portatif qui est d'un usage si général dans la pratique médicale pour laquelle il suffit parfaitement, ainsi que les divers appareils destinés aux recherches physiologiques dont plusieurs se distinguent par d'ingénieuses dispositions destinées à modifier dans des proportions très étendues la rapidité des interruptions. Il convient d'ajouter que, malgré le soin apporté à la construction des appareils, leur prix n'est pas très élevé, ce qui s'explique tant par les procédés spéciaux imaginés par M. Gaiffe pour certaines parties de la fabrication, que par le grand nombre d'appareils vendus au commerce.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. G. Trouvé (515) est un ingénieux chercheur et un habile constructeur et il a apporté à l'Exposition d'intéressants appareils. Nous n'insisterons pas sur la pile qu'il a disposée principalement en vue de la galvano-caustique, et dans laquelle le nettoyage et les réparations se font très facilement, grâce au démontage qui est fort simple ; mais nous signalerons des appareils à courants continus qui sont bien disposés et dans lesquels il emploie la pile dite *Callaud-Trouvé*. Il a également des modèles portatifs d'appareils d'induction qui présentent un dispositif spécial inventé par lui et qui permet de régler très aisément et entre des limites fort étendues la rapidité de succession des interruptions.

Dans le même ordre d'idées, il expose un interrupteur spécial de courants, dit interrupteur Trouvé-Onimus, qui permet d'obtenir par seconde un nombre déterminé d'interruptions qui doivent être identiques entre elles : cet appareil peut rendre des services dans un laboratoire de physiologie.

Le *polyscope* est un appareil destiné à éclairer les cavités de l'organisme : il se compose d'un manche isolant traversé par deux conducteurs qui sont reliés aux pôles d'une pile ou d'une batterie secondaire. Sur ce manche on implante une petite armature, présentant à l'extrémité opposée un fil fin de platine qui sera amené à l'incandescence par le passage du courant : ce fil de platine est logé dans un réflecteur émaillé, de forme variable suivant les cas, qui, d'une part, projette un faisceau lumineux sur le point à examiner et, d'autre part, protège les parties voisines. L'expérience a prouvé que, bien que l'éclairage soit très satisfaisant, l'échauffement direct est peu sensible même après une ou deux minutes. M. Trouvé est parvenu par l'emploi de ce polyscope à pouvoir examiner et éclairer les cavités profondes, la vessie, l'estomac, etc. : pour y arriver, le polyscope est introduit dans une sonde qui porte latéralement vers son extrémité une ouverture garnie d'un prisme à réflexion totale et à face courbe. Grâce à ce prisme la lumière du fil de platine est projetée latéralement sur le point à examiner et, en regardant par l'extrémité supérieure de la sonde qui naturellement doit être rectiligne, on voit la partie éclairée, et même avec un certain grossissement.

Enfin, nous signalerons encore l'*explorateur électrique* Trouvé qui permet de reconnaître la nature d'un corps étranger existant au fond d'une blessure : si le corps est métallique, il ferme un circuit qui ne présentait qu'une interruption correspondant précisément à l'extrémité du stylet ; comme le circuit comprend une pile et une sonnerie, on est averti aussitôt du passage du courant. Une disposition analogue a été appliquée à l'ex-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tracteur, ce qui permet de s'assurer si l'on a bien saisi entre les mors de la pince seulement le projectile métallique qu'il s'agit d'extraire.

Tout autre est l'exposition du docteur BOUDET DE PÂRIS (493) : il s'agit ici, exclusivement on peut dire, d'appareils destinés à des recherches scientifiques dans lesquels, avec une parfaite connaissance du sujet, l'exposant a appliqué les intéressantes propriétés du téléphone (auquel il a même apporté des modifications que nous n'avons pas à juger ici). Par l'emploi judicieux de cet organe, M. Boudet de Pâris parvient à faire entendre des bruits presque insaisissables dans l'économie ou que, du moins, l'on ne peut pas analyser aisément par une étude directe ; grâce à lui, on peut se rendre compte nettement par l'oreille des bruits du cœur d'une grenouille ou d'une tortue par exemple, cet organe étant mis à nu. Le téléphone combiné à un smygmophone construit spécialement permet de saisir le bruit de souffle carotidien beaucoup plus nettement qu'avec le stéthoscope. Nous ne voulons point insister sur les modifications dont est susceptible cet appareil et nous tenons seulement à signaler, pour terminer, les applications que M. Boudet de Pâris a faites de la balance d'induction, notamment à l'étude de l'acuité auditive. L'ensemble des appareils de M. BOUDET DE PARIS constitue une très intéressante exposition.

M. CH. CHÂRDIN a exposé dans la classe 10 une série d'appareils dont les uns se rapportent exclusivement aux applications médicales de l'électricité et dont un autre d'un modèle tout récent peut en outre servir à réaliser un grand nombre d'expériences classiques. Ce dernier appareil, qui est appelé l'*étincelle*, est un appareil d'induction magnéto-électrique qui paraît ingénieusement disposé ; l'intensité moyenne du courant produit serait de deux Bunsen ; sans insister sur ce chiffre que nous n'avons pu vérifier, mais qui nous semble acceptable d'après les effets produits, nous pensons que ce modèle pourra être utilisé avantageusement. Mais nous considérons comme au moins aussi intéressants les autres appareils exposés par M. Chardin parce qu'ils ont la sanction du temps ; nous voulons parler de ces piles à usage médical qui fonctionnent depuis plusieurs années dans les hôpitaux de Paris, de ces appareils d'induction où il emploie le modèle de pile à renversement qu'il a avantageusement modifié. Nous citerons aussi l'explorateur téléphonique, dans lequel l'extrémité d'une sonde étant déplacée dans une cavité inaccessible fera naître des bruits très distincts dans un téléphone avec lequel elle communique lorsqu'elle éprouvera des chocs sur des corps durs, etc. L'exposition très pratique de M. CHARDIN mérite une mention spéciale.

L'exposition de MM. STOHRER UND SOHN (1016) contient un certain

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nombre d'appareils de bonne fabrication et commodément disposés ; nous citerons par exemple les piles à courants continus, les appareils d'induction destinés spécialement à la médecine et ceux destinés aux recherches physiologiques, appareils de Dubois-Reymond, interrupteur à métronome; piles disposées spécialement en vue de la galvano-caustique, etc. Sans présenter rien d'absolument exceptionnel, les appareils de MM. Stohrer und Sohn sont bien disposés pour la pratique.

La maison Biloret et Morat (491), qui n'a pas de spécialité médicale, a exposé cependant comme fabrication courante des machines d'induction volta-électrique portatives, d'un petit volume, d'une construction satisfaisante et d'un prix très bas, qui peuvent être employées avantageusement pour les usages médicaux.

M. Blix (1740) expose un *myographe,* appareil enregistreur dans lequel, pour diminuer le frottement, le stylet enregistreur ne touche pas le papier d'une manière continue, mais seulement par intermittences très rapprochées, ces intermittences étant produites par l'action d'un électro-aimant.

L'attention spéciale du jury a été appelée sur l'exposition de M. de Combettes (499) par le bon marché extrême des appareils qu'il expose, bon marché qui aide puissamment à la diffusion des connaissances électriques.

M. Fein, de Stuttgart (non classé au catalogue), a exposé des appareils médicaux, piles à courants continus, appareils d'induction qui sont d'une bonne construction.

M. le professeur Holmgren (1741) a envoyé à l'exposition un *spirographe* dans lequel l'électricité est mise en jeu pour ouvrir des soupapes qui, en temps opportun, font communiquer l'intérieur de l'appareil avec l'air extérieur. L'action de l'électricité est provoquée par l'artifice suivant : à l'endroit où viennent se terminer de larges tubes servant à l'inspiration et à l'expiration, aboutit un fin tube de caoutchouc qui par son autre extrémité arrive dans un petit tambour analogue aux tambours enregistreurs : c'est le déplacement de la paroi au moment de l'expiration qui ferme le circuit traversé par le courant électrique.

MM. Oré et Chagnoleau (510) ont eu l'idée de recouvrir d'une mince couche de cuivre les divers viscères après que ceux-ci ont subi une préparation convenable ; ils exposent notamment des cerveaux, un cœur, des muscles, etc., qui pourront dès lors être conservés indéfiniment. Ces pièces peuvent dans une certaine mesure faciliter l'étude de l'anatomie.

M. Ragosine (1713) a envoyé le dessin d'un *polygraphe,* appareil

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

destiné à l'enregistrement des divers phénomènes physiologiques et dans lequel le tracé s'obtient par une action chimique, provenant du passage d'un courant sur une feuille de papier humide, contenant un mélange d'iodure de potassium et d'amidon. Cet appareil, plus compliqué que les appareils enregistreurs ordinaires, ne pourrait leur être supérieur que sur ce point que le frottement doit être moindre ; on sait, il est vrai, que le frottement n'est jamais suffisant pour empêcher l'enregistrement. Cependant il y a une idée ingénieuse qui mérite d'être signalée spécialement.

M. le docteur SEURE (514) a exposé un modèle de pile de Daniell, d'une construction très simple et qu'il destine aux usages médicaux. Cette disposition, qui se rapproche beaucoup d'un type employé par Becquerel pourrait rendre des services : elle a d'ailleurs été bien étudiée par M. le docteur Seure qui a résumé dans une brochure de quelques pages, en même temps que ce qui se rattache au modèle qu'il préconise, les connaissances fondamentales sur les piles et les courants qu'un médecin doit posséder lorsqu'il veut appliquer l'électricité.

Le jury a remarqué encore dans cette classe les appareils électromédicaux de MM. COXETER AND SON (1447) et de MM. KEISER UND SCHMIDT (1011), qui ont paru bien combinés pour l'usage auquel ils sont destinés, ainsi que les applications faites aux appareils médicaux, par MM. DESRUELLES ET BOURDONCLE (494), de leur procédé pour rendre sèches les diverses piles ; ce dernier procédé a été examiné déjà dans le rapport de la classe 2 ; il n'y a pas lieu d'insister.

En résumé, l'examen des appareils exposés dans la classe 10 nous paraît montrer clairement que, en ce qui concerne les applications médicales, les constructeurs sont à même de satisfaire à tous les besoins de la thérapeutique électrique et que ce n'est pas faute d'appareils convenables si les progrès de celle-ci ne sont pas aussi rapides qu'on pourrait le désirer. En ce qui touche les applications physiologiques, l'électricité est apte à servir dans maintes circonstances et, là encore, les moyens dont on peut disposer ne manquent pas en général ; sur un point seulement, les appareils précis font défaut : c'est en ce qui concerne la mesure des excitations électriques. Mais ce n'est pas ici le lieu de traiter incidemment une question qui d'ailleurs a été le sujet d'une étude spéciale de la part du Congrès international des électriciens, étude à laquelle nous ne pouvons que renvoyer.

Le jury n'a pas cru devoir mentionner au même titre que les autres l'exposition de MM. VIGOUROUX ET ANDRIVEAU qui présentaient seulement des appareils connus et fournis par divers constructeurs. L'intérêt réel de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cette exposition est de rappeler la part que ces savants ont prise à l'installation du laboratoire de la Salpétrière et aux travaux qui s'y exécutent. Ces recherches ont paru en dehors de la compétence du jury qui n'a pas cru avoir qualité pour juger des questions absolument scientifiques. C'est pour la même raison qu'il a cru devoir signaler à part et sans insister les recherches de M. Rossetti sur les températures animales à l'aide de couples thermo-électriques. De même, il n'a pas pensé pouvoir s'arrêter aux observations du docteur Burq sur la métalloscopie et la métallothérapie qui sont jugées dignes d'un grand intérêt par de savants médecins. Outre qu'il s'agit là de pures recherches scientifiques, le jury a été arrêté par le doute où il s'est trouvé de l'existence de phénomènes *électriques* dans les actions signalées.

Enfin, le jury a cru devoir aussi présenter à part, pour d'autres raisons faciles à concevoir, quelques expositions collectives émanant d'universités étrangères. Ce sont les suivantes :

Instrumenten und Bandagen Cabinet der Königlichen Universitat, Berlin.

Königlich Sächsisches Polytechnikum, Dresde.

Physiologisches Institut der Königlichen Universität, Berlin.

Physiologisches Institut der Universität, Rostock.

C.-M. GARIEL.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 11

ÉLECTRO-CHIMIE.

Les relations qui existent entre les actions électriques et les actions chimiques sont réciproques ; tandis que, dans les piles, on utilise l'action chimique pour produire un courant électrique, l'application de l'électricité à la production d'actions chimiques déterminées est entrée dans la pratique industrielle, et ce sont les produits et les méthodes se rapportant à cette application qui constituaient la classe 11 de l'Exposition.

Il importe de diviser en deux parties les industries électro-chimiques que nous avons à examiner : non que, au fond, les propriétés appliquées présentent de sérieuses différences, mais, par suite de l'inégal développement des diverses industries ; tandis que les unes sont arrivées à un degré de perfectionnement qu'il semble difficile de dépasser, les autres sont encore au début, et il y aurait injustice à ne pas tenir compte de ces différences.

Les industries qui ont pour objet la formation de dépôts métalliques cohérents dérivent toutes, en somme, des expériences faites d'abord par Brugnatelli (1803) et répétées plus tard par Jacobi (1837) ; c'est à la suite de ces dernières recherches que les procédés de dépôt électro-chimiques entrèrent dans l'industrie. Ce n'est point ici le lieu de retracer l'historique du développement de cette industrie, ni d'entrer dans le détail de toutes les opérations qu'elle comporte : il doit nous suffire de signaler les progrès les plus récents, les améliorations qui nous ont paru les plus notables.

Avant d'aborder cette énumération, nous pouvons indiquer comme tendance générale de cette industrie la disparition progressive des piles hydro-électriques, qui, dans la presque totalité des maisons importantes, sont maintenant remplacées par des machines dynamo-électriques ; cette substitution est d'ailleurs trop générale dans les diverses branches de l'industrie qui utilisent l'électricité pour qu'il y ait lieu d'insister. On a fait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

usage également de piles thermo-électriques puissantes de grandes dimensions, mais aucune des maisons qui avaient exposé leurs produits ne fait usage actuellement de ce procédé.

A un autre point de vue, nous devons signaler l'extension des procédés électrolytiques à un plus grand nombre de métaux ; tandis qu'on ne pouvait obtenir d'abord que le dépôt de l'or, de l'argent et du cuivre, on réussit maintenant à déposer du fer, du nickel, du cobalt, de l'étain, du plomb, et, point non moins important, on obtient également le dépôt de certains alliages. On n'est pas arrivé cependant à produire des couches cohérentes de tous les métaux, et, malgré quelques affirmations non justifiées qui se sont produites à l'Exposition, il y a encore des substances métalliques que l'on n'est point parvenu à obtenir.

Les industries que nous avons à étudier comprennent des opérations qui, basées sur le même principe, fournissent des résultats différents. Tantôt on dépose une couche très mince de métal adhérent sur une pièce métallique, c'est la dorure, l'argenture, le cuivrage, l'aciérage, le nickelage, etc.; tantôt, au contraire, le métal est déposé à épaisseur dans un moule dont il peut être séparé et possède une résistance suffisante pour conserver la forme qu'il a reçue : c'est la galvanoplastie. Dans la plupart des maisons, on utilise également les deux modes d'opérer.

L'exposition la plus importante au Palais de l'Industrie était celle de la maison CHRISTOFLE ET C^ie^, qui, outre ses produits, avait installé et fait fonctionner un certain nombre de cuves où se produisaient des dépôts divers, permettant ainsi aux visiteurs de se rendre compte des opérations principales de cette intéressante industrie. Nous n'insisterons pas ici sur la valeur artistique des modèles de la maison Christofle, bien que cette constatation ne soit pas absolument sans intérêt. Mais nous croyons que ce n'est point ce côté de la question qu'il y a lieu de mettre en évidence dans ce rapport. Nous signalerons rapidement aussi les produits argentés, tels que couverts, etc., qui ne constituent pas une des parties les moins importantes de cette industrie ; mais ils sont trop avantageusement connus depuis longtemps et trop universellement répandus pour qu'il y ait lieu de nous y arrêter.

Parmi les parties présentant des progrès plus récents, nous signalerons le dépôt galvanique des alliages, qui a ouvert un vaste champ au développement de l'ornementation : on obtient aisément le dépôt du laiton, de l'or rouge (alliage de cuivre et d'or), de l'or vert (alliage d'argent et d'or), dont on peut, entre certaines limites, faire varier la composition, et par suite la coloration. La réussite de ces dépôts dépend de toutes les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

conditions dans lesquelles se fait l'opération, mais plus spécialement de la température et de la composition du bain : le bain doit contenir évidemment dans des proportions convenables des sels des métaux dont on veut obtenir l'alliage. Par une ingénieuse idée, on ne détermine pas *a priori* cette composition, mais on essaye directement d'obtenir cette composition par la dissolution progressive de l'un des métaux dans une dissolution contenant un sel de l'autre métal, jusqu'à ce que le dépôt ait l'apparence désirée correspondant à une composition connue; on remplace alors au pôle positif la lame métallique précédemment employée par une lame d'alliage qui sert d'anode soluble et maintient constante la composition du bain. Il est facile de concevoir que l'on peut déposer sur un objet d'une certaine coloration, et à l'aide de réserves, des métaux ou des alliages d'autres couleurs, de manière à produire des effets originaux et décoratifs.

Le plus souvent, les objets que l'on décore ainsi ont été obtenus par la galvanoplastie, c'est-à-dire qu'ils sont la reproduction en cuivre d'un modèle dont on a pris le moulage à l'aide de la gutta-percha, substance qui est à peu près exclusivement employée maintenant. Si le moule ne présente pas de fortes saillies, des creux accentués, il suffit de le placer dans le bain de sulfate de cuivre après l'avoir enduit de plombagine en le mettant en communication avec le pôle négatif, tandis qu'à l'autre extrémité de la cuve se trouve une lame de cuivre, anode soluble, en communication avec le pôle positif. Mais si le relief est très accentué, s'il s'agit d'un objet en ronde bosse, des difficultés particulières se présentent, et à moins de précautions spéciales, le dépôt se fait très irrégulièrement, formant une couche d'épaisseur très variable; pour parer à cet inconvénient, on eut l'idée d'employer une anode insoluble, et l'on fit usage d'abord de fils de platine, à l'aide desquels on construisait une sorte de carcasse qui suivait à petite distance la surface du moule, sans la toucher en aucun point : l'action électrique, et par suite l'action chimique, se produit alors avec la même intensité dans tous les points, et le dépôt acquiert partout la même épaisseur ou à peu près. Quand le dépôt est terminé, on ouvre le moule, et, d'autre part, on fait sortir la carcasse de fils de platine, qui se déforme de manière à pouvoir passer par l'orifice réservé dans l'objet produit. Mais on conçoit que, le platine étant cher, ce procédé est coûteux, surtout s'il s'agit d'objets de grandes dimensions; aussi maintenant remplace-t-on le platine comme anode insoluble par le plomb, dont le prix est minime et qui, réduit en feuilles minces, prend toutes les formes et qui se déforme aisément pour être extrait de l'objet fabriqué. Cette disposition de l'anode insoluble qui permet à la maison Christofle d'obtenir de remarquables re-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

productions de rondes bosses, est due à M. Lenoir, inventeur distingué, connu d'ailleurs par d'autres idées originales, dont quelques-unes, notamment la machine à gaz, sont entrées dans l'industrie.

Comme résultats galvanoplastiques, nous citerons quelques beaux échantillons de galvanoplastie de nickel; pour les obtenir, on dépose d'abord sur le moule une couche extrêmement mince, un *voile* de cuivre que l'on recouvre ensuite de nickel à épaisseur; après le démoulage, on dissout la mince couche de cuivre, et le nickel subsiste. Enfin, nous signalerons, pour terminer, la disposition adoptée pour obtenir des clichés nickelés : au lieu de prendre, comme d'habitude, le cliché en cuivre et de le recouvrir de nickel, ce qui diminue un peu (bien peu, il est vrai) la finesse de la gravure, on dépose sur le moule une couche de nickel; puis on transporte le tout dans un bain de cuivre qui se dépose alors, servant de support à la mince couche de nickel et lui donnant une résistance que celle-ci ne saurait avoir que sous une épaisseur qui élèverait considérablement le prix du cliché.

Bien que nous n'ayons pas passé en revue dans ce résumé toute l'exposition de la maison Christofle et C^ie^, en ce qui concerne la classe 11, nous n'avons rien omis d'essentiel; le développement que nous avons donné à ces explications est justifié par l'importance de l'exposant et aussi parce que les détails dans lesquels nous sommes entrés nous permettent de passer plus rapidement par la suite.

La Société des usines métallurgiques d'Auteuil a présenté une belle collection de produits : d'une part, des objets d'art, et, de l'autre, des pièces en fonte cuivrée de grandes dimensions. En ce qui concerne les objets d'art proprement dits, nous aurions à répéter ce que nous avons expliqué précédemment relativement aux dépôts des divers métaux et des alliages et aux effets satisfaisants, au point de vue de l'ornementation, qui peuvent résulter des diverses colorations que l'on obtient et des patines différentes qui se manifestent. Mais nous devons signaler le procédé particulier à l'aide duquel les objets en ronde bosse sont obtenus, procédé différent de celui que nous avons décrit précédemment : le moule étant placé dans le bain de cuivre, on introduit dans le moule une poche flexible, une vessie par exemple, contenant le zinc et l'eau acidulée. Les parois flexibles épousent la forme du moule, et la poche est alors fermée; l'opération se poursuit naturellement, et l'on obtient par ce procédé une couche de cuivre d'épaisseur à peu près uniforme. Les produits exposés montrent que le procédé est satisfaisant. Les usines d'Auteuil ont, d'autre part, la spécialité des grandes pièces de fonte cuivrées, et notamment sont les fournisseurs de la ville de Paris pour les candélabres et réverbères des voies publiques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le dépôt du cuivre directement sur le fer, dépôt qu'il est possible de réaliser, présente des inconvénients dans le cas où des pièces sont soumises aux agents atmosphériques ; s'il se produit dans le cuivre une solution de continuité, les deux métaux en contact sous l'influence de l'humidité forment un couple électrique dont l'action a pour résultat de hâter les progrès de l'oxydation qui amène la détérioration rapide de la pièce métallique. Pour éviter cet inconvénient grave, dans les produits des usines d'Auteuil le cuivre n'est pas déposé directement sur le fer, mais une couche d'un enduit spécial est appliquée sur les objets à cuivrer avant leur immersion dans le bain de sel de cuivre. Le cuivre, qui est alors déposé galvaniquement, n'est nulle part en contact avec le fer. Il est certain que les produits obtenus par ce procédé fournissent un bon service, ainsi qu'en témoignent les candélabres de la ville de Paris et les fontaines de la place de la Concorde.

Parmi les applications de métaux par l'action galvanique, il convient de citer d'une manière toute spéciale le nickelage, opération qui, rarement employée il y a quelques années, est devenue tout à fait courante et donne des résultats qui sont absolument satisfaisants. Bien que le dépôt du nickel ait pu être obtenu dans les laboratoires dès 1841, il paraît prouvé que c'est Isaac Adams qui, le premier, établit à Boston un établissement industriel de nickelage. Dès 1870, M. Gaiffe, après avoir installé une usine à Paris, était en mesure de répondre aux besoins du commerce, et depuis, cette branche d'industrie s'est étendue et répandue. Les procédés sont les mêmes que pour les autres dépôts métalliques ; les dissolutions employées contiennent presque toujours du sulfate double de nickel et d'ammonium ; on a pu réussir cependant, paraît-il, avec du sulfate de nickel seul ; dans la pratique, certains détails, comme il arrive toujours, prennent une grande importance : par exemple l'intensité du courant, qu'il faut faire varier suivant les circonstances et même suivant la période de l'opération.

Le nickelage est un précieux moyen de protection, car la couche déposée résiste très bien aux agents atmosphériques ; comme, d'un autre côte, grâce à la découverte de nouveaux minerais en Nouvelle-Calédonie, l'industrie peut fournir les composés de nickel en proportion suffisante, cette industrie se développe rapidement. Disons que, parmi les applications intéressantes de ce procédé, il convient de citer le nickelage des planches gravées et des clichés de cuivre, qui permet un tirage à très grand nombre sans altération appréciable.

Nous ne devons pas omettre de signaler les dépôts de cobalt obtenus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

également par M. GAIFFE, grâce à l'emploi du courant électrique. Les résultats du cobaltage seraient encore supérieurs à ceux du nickelage, notamment pour les clichés, les procédés étant d'ailleurs très analogues. Seulement le cobalt est beaucoup plus rare que le nickel, et, jusqu'à présent au moins, ne paraît pas appelé à se substituer à ce dernier métal. Nous dirons cependant que M. Gaiffe a obtenu des échantillons de cobalt pur à épaisseur : notamment il exposait des fers à cheval en nickel et en cobalt, qui, quoique ne contenant pas de substances étrangères, possédaient une aimantation fort appréciable, bien que notablement inférieure à celle de l'acier.

L'aciérage des planches gravées, qui était représenté à l'Exposition par de belles planches présentées par M. H. GARNIER, a donné, depuis son invention en 1855, par MM. Salmon et Garnier, d'excellents résultats : les planches aciérées résistent aux tirages sans subir de détérioration, beaucoup mieux que ne peuvent le faire des planches de cuivre, le cuivre étant un métal relativement mou. L'aciérage, qui consiste en un dépôt de fer en couche assez mince pour ne point modifier les entailles du métal, s'obtient en immergeant la planche dans un bain de chlorure double de fer et d'ammonium. Ce bain lui-même s'obtient en faisant passer dans une dissolution de 1 de sel ammoniac dans 5 d'eau un courant à l'aide d'électrodes de fer; après un certain temps, qui dépend de l'intensité du courant, le bain est prêt. Ainsi que nous l'avons dit, la résistance de la planche ainsi préparée est considérable; et, dans le cas où la mince couche de fer vient à disparaître en partie, on peut, en dissolvant ce métal, retrouver la planche de cuivre identique à ce qu'elle était au début, et on peut, en l'aciérant de nouveau, la placer dans les mêmes conditions de résistance. Les résultats extrêmement satisfaisants obtenus par ce procédé sont trop connus et trop universellement employés pour qu'il y ait lieu d'insister plus longuement.

Le cuivrage direct de la fonte et du fer ne peut s'obtenir avec les bains ordinaires de cuivre que si l'objet est décapé avec un soin spécial, et, d'autre part, le décapage de la fonte n'est pas sans présenter de réelles difficultés. M. FR. WEIL a proposé d'obtenir le dépôt du cuivre par l'emploi d'un sel à acide organique; par exemple, il forme un bain par le mélange de sulfate de cuivre, ou mieux d'oxyde de cuivre hydraté avec une dissolution de sel de Seignette. Ce bain alcalino-organique achève le décapage et donne un bon dépôt de cuivre adhérent. M. Fr. Weil, par l'emploi d'une pile ou d'une machine dynamo-électrique, a pu obtenir ainsi un dépôt de cuivre à épaisseur. Par des procédés analogues et en variant les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dissolutions, il a pu également obtenir le plombage et l'étamage ; enfin il est parvenu, en mélangeant de bichlorure d'étain le bain alcalino-organique de cuivre, à déposer des couches de bronze. Les résultats obtenus déjà depuis plusieurs années semblent satisfaisants. D'autre part, M. Fr. Weil dépose sur des objets métalliques divers, à l'aide de bains analogues, des couches minces de cuivre. Le dépôt se produit dès que l'objet métallique considéré est mis en contact avec un fil de zinc, le tout étant plongé dans le bain ; il y a alors, à vrai dire, production d'un véritable couple électrique et dépôt d'une couche de cuivre adhérente, couche présentant des couleurs variées suivant son épaisseur. Cette épaisseur, d'autre part, dépend de la durée de l'opération et de la distance qui sépare le zinc de l'objet à cuivrer. La couche ainsi déposée résiste au frottement. Quoique jusqu'à présent ce procédé n'ait pas été appliqué industriellement, il n'est pas sans intérêt, quoique ne présentant pas l'importance des dépôts à épaisseur de cuivre et de bronze sur le fer.

C'est encore le dépôt des métaux les uns sur les autres, et notamment le dépôt du cuivre et de l'étain sur le fer et la fonte, que présente l'exposition de MM. MIGNON et ROUART : ils emploient les procédés de M. Gauduin, qui a adopté des sels à acides organiques, tels que l'oxalate de fer. Bien que cette idée semble se rattacher aux indications fournies antérieurement par M. Weil, il importe de signaler les résultats satisfaisants au point de vue industriel obtenus par MM. Mignon et Rouart et par la Société du Val d'Osne qui emploie les mêmes procédés. L'adhérence entre le fer et le cuivre est assez considérable pour que l'on ait pu, sans produire la séparation des métaux, laminer des plaques et étirer des tubes où le fer et le cuivre étaient superposés ; ces procédés ont trouvé d'utiles applications dans la mécanique industrielle, ainsi que l'étamage du fer et notamment des tubes en fer pour les fabricants de sucre. Par une opération analogue, l'étamage est obtenu directement sous l'influence du courant électrique ; on conçoit, sans qu'il soit nécessaire d'insister, l'intérêt pratique que peut présenter cette nouvelle branche de l'électro-chimie. Ajoutons que MM. Mignon et Rouart ont également exposé des pièces de fer ou de fonte recouvertes d'une couche de zinc de manière à obtenir la galvanisation que ne peut fournir dans ce cas l'immersion dans un bain de zinc fondu. Enfin ils présentent également des objets d'art en fonte recouverts de plomb à épaisseur.

MM. DUPONT et ALKER, de Haeren, près Bruxelles, ont exposé de nombreuses reproductions galvanoplastiques d'objets d'art de diverses époques, et notamment une Vénus de Milo, obtenue d'une seule pièce et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du poids de 170 kilogrammes. Ils présentent également des dépôts métalliques, principalement du cuivre et de l'or ; les objets recouverts sont de nature diverse, bois, plâtre, fonte, etc. Les objets de fonte exposés ne sont pas recouverts directement de cuivre, mais bien après interposition d'une couche de peinture au minium. Les résultats sont satisfaisants et dénotent un grand soin apporté aux opérations électro-chimiques, mais ne présentent l'application d'aucun procédé spécial ou nouveau.

Le cuivrage à épaisseur de tous les objets constitue la spécialité de MM. Renaudot et Magniny ; ils obtiennent le dépôt métallique sur le bois, le plâtre, et même sur toute autre substance, telle que le papier, les tissus ; ils peuvent obtenir le cuivrage sur une face seulement. Les résultats obtenus en déposant le cuivre sur des objets très délicats, comme des branches d'arbre, des feuilles, des fleurs, ne permettent pas de supposer que c'est à l'aide d'une couche de plombagine que tous ces corps ont été rendus conducteurs ; il est à supposer que, à l'aide d'une action chimique au sein d'un bain réducteur, les objets sont recouverts d'une couche très mince d'un premier métal sur lequel par la suite se dépose le cuivre sous l'influence du courant. Les résultats sont satisfaisants, et, d'après les indications fournies, le prix de revient serait peu élevé. Le cuivre permettant, d'une part, de donner de la solidité aux objets qu'il recouvre, et pouvant, d'autre part, être recouvert au besoin d'or, d'argent, il semble qu'il y ait là une application intéressante qu'il convenait de signaler spécialement.

Dans le même ordre d'idées d'une forme nouvelle des applications électro-chimiques, nous indiquerons le procédé employé par M. Taverdon pour assurer la fixation des diamants noirs dans les scies, mèches, fraises, employées au travail des roches dures, et remplacer le sertissage ordinaire, qui n'était pas sans présenter des inconvénients. Les diamants en petits fragments sont préalablement recouverts d'une couche d'argent, sans doute par simple réduction d'un sel de ce métal; puis, soumis à l'action du courant dans un bain de cuivre, ils se recouvrent d'une couche de cuivre. Ils peuvent alors être soudés ou brasés à la place qu'ils doivent occuper; lorsque l'outil fonctionne, le cuivre qui recouvrait la partie aiguë active est détruit par le frottement, et le diamant est mis à nu.

Un certain nombre d'exposants présentent des produits intéressants à divers titres, mais qui ne correspondent pas à un progrès effectif, à une application nouvelle; il convient de citer à ce point de vue, en France, M. Frenais, qui produit en grand la dorure et l'argenture électro-chimiques; M. Lionnet, qui a présenté des pièces d'art d'un bon effet, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

notamment des objets en fer obtenu à épaisseur; M. PERILLE, pour ses opérations industrielles de nickelage appliqué aux objets de coutellerie.

M. NEUJEAN (Belgique) a présenté une collection détaillée de produits et d'appareils à l'usage de la galvanoplastie : il a également exposé quelques résultats de dépôts métalliques obtenus à l'aide de ces produits. La Commission ne croit pas d'ailleurs que M. Neujean soit arrivé, comme il le pense, à déposer certains métaux pour lesquels, jusqu'à présent, les essais ont échoué, comme l'aluminium, et pense que, comme cela est déjà arrivé à plusieurs reprises, la composition complexe des bains a donné des résultats imprévus.

Nous signalerons en passant, mais sans nous arrêter, les expositions de M. VANDEVELDE (Belgique), de MM. WISSE et PICALUGA (Pays-Bas), de la COMPAGNIE DES BRONZES (Belgique), M. KOVAKO (Russie), qui, à divers titres, méritent d'attirer l'attention.

L'application de la galvanoplastie aux clichés est devenue absolument industrielle : aussi le nombre des exposants qui présentaient des objets d'une réelle valeur était-il assez notable ; mais il importe d'ajouter que la Commission n'a rien trouvé, dans l'indication des moyens employés, qui pût donner lieu à une mention spéciale, si ce n'est toutefois la substitution du nickel au cuivre qui caractérise l'exposition de MM. BOUDREAUX ET FILS (France). Cette substitution présente le double avantage que le métal, plus dur, résiste mieux à l'action de la presse d'une part, et que, d'autre part, il n'est pas attaqué par les encres de couleur. Cette dernière propriété nous paraît seule avoir quelque intérêt, car on sait que, dans la pratique, la résistance du cuivre est suffisante dans l'immense majorité des cas. Parmi les autres exposants qui ont appliqué la galvanoplastie à la production des clichés ou des planches gravées, nous citerons spécialement M. COTTENS, MM. MANTELET ET JOLY, M. ROSE, M. STŒSSER (France), M. EVELY (Belgique), M. TOSTRUP (Norvège).

Le dépôt de métal, sans être le but même d'une industrie, peut être un des moyens employés pour la fabrication des produits qui rentrent ainsi indirectement dans le domaine de l'électro-chimie. Dans cet ordre d'idées, nous citerons des bas-reliefs en cuivre obtenus par la PHOTO-RELIEVO-COMPANY (États-Unis) : une épreuve photographique est obtenue à l'aide de gélatine bichromatée conservée presque à l'état liquide; cette gélatine, traitée par le procédé inventé par Poitevin, présente des dénivellations assez considérables qui peuvent dépasser, paraît-il, un demi-centimètre ; on prend un moulage de cette planche et sur ce moulage on dépose une couche galvanique de cuivre qui présente des parties en relief, bien

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que faiblement ; grâce à un repoussage du métal, on exagère les reliefs en leur donnant un cachet artistique.

M. Leclère (France) emploie le dépôt des divers métaux sur la glace ou sur d'autres métaux pour produire des effets d'ornementation ; il limite les parties sur lesquelles les dépôts doivent s'effectuer en appliquant les modifications que subit le bitume de Judée sous l'influence de la lumière.

Indépendamment des expositions des particuliers ou des compagnies industrielles, il convient de signaler celles des sociétés savantes ou des services ministériels qui, à divers titres, ont présenté des objets se rapportant à l'électro-chimie, mais qui n'ont pas été considérés comme devant concourir pour l'obtention des médailles. Nous citerons les établissements suivants :

Le Cabinet de physique de l'Académie royale à Munster, qui a exposé divers appareils pour l'électrolyse construits par Hittorf ;

L'établissement de l'État pour la fabrication des cartes-valeurs (Italie) : reproductions galvanoplastiques de divers diplômes ;

L'Institut royal topographique militaire (Italie) : plans en relief, obtenus galvaniquement, reproduction de gravures en cuivre ;

L'Institut topographique (Norvège), reproductions galvanoplastiques ;

La section topographique de l'état-major (Russie), des reproductions de cartes gravées et des planches obtenues par l'héliogravure.

L'Expédition pour la confection des papiers de l'État (Russie) avait exposé une très intéressante collection de reproductions galvanoplastiques, qui appelait l'attention autant par le goût qui avait présidé au choix des modèles que par la perfection de l'exécution. On remarquait spécialement des médaillons obtenus par le dépôt galvanique du fer, dans lequel le métal se présente sous une couleur gris clair et avec un éclat satiné qui ne lui sont pas ordinaires et qui sont d'un très bel effet.

La Commission a examiné avec un intérêt tout spécial les magnifiques échantillons de sélénium exposés par M. Billaudot, grâce aux recherches duquel le prix de revient de cette substance a considérablement baissé. On ne saurait prévoir quelle extension prendra dans les applications électriques l'emploi de ce corps, dont on commence à peine à mettre à profit les curieuses propriétés, et, par ce côté, l'exposition de M. Billaudot méritait une mention particulière. C'est là un nouvel élément mis à la portée des savants et des chercheurs.

La société le Nickel avait exposé une collection complète de ses produits : minerais de nickel, fontes de nickel, nickel pur, alliages divers

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de nickel, sels de nickel, etc. Nous n'avons pas besoin de dire l'importance industrielle de cette collection, les produits de la société « Le Nickel » ayant eu de hautes récompenses aux diverses expositions précédentes, tant pour la valeur de ces produits que pour le développement qu'elle a donné à une industrie qui prend chaque jour une plus grande importance.

La Commission n'a pas pensé qu'elle pût accorder à une industrie qui fournit accessoirement des produits destinés à servir à des dépôts galvaniques une récompense de même valeur que celles qu'elle proposait pour des appareils ou pour des procédés directement relatifs à l'électricité, et n'a pas cru devoir attribuer une récompense d'ordre inférieur à une industrie réellement importante : elle a décidé que, dans ces conditions, une mention spéciale serait faite de la société « Le Nickel » dans le présent rapport.

L'action de l'électricité commence à être utilisée industriellement autrement que pour déposer certains métaux en couches minces sur des objets quelconques ou en couches épaisses dans des moules ; bien qu'il n'y ait au Palais de l'Industrie qu'un petit nombre d'applications, on peut espérer, croyons-nous, que divers genres d'industries pourraient appliquer fructueusement cet agent, qui semble devoir prendre une place importante parmi les moyens dont dispose l'homme.

Une industrie qui se rapproche beaucoup de celles dont nous venons de parler comme procédés, mais qui se propose un tout autre but, est celle de l'affinage électrique des métaux : cette industrie est représentée à l'Exposition par les produits envoyés par la Norddeutsche Affinerie (Hambourg), d'une part, et, d'autre part, par le Kœniglich-Preussisches und Herzoglich-Braunschweigisches Communion-Hüttenamt. Nous parlerons plus spécialement de la première société, sur laquelle nous avons pu réunir plus de renseignements. Le cuivre sur lequel on opère contient jusqu'à 6 pour 100 d'impuretés et d'autres métaux étrangers, parmi lesquels se trouvent en petites proportions de l'or et de l'argent. Dans un bain de sulfate de cuivre, on place à l'anode le métal impur, et l'on fait passer le courant ; dans des conditions convenables d'intensité de courant, le cuivre pur se dépose au pôle négatif. Le courant est produit par des machines Gramme actionnées par une machine à vapeur de 40 chevaux. Le liquide du bain peut servir pendant une année sans subir dans sa composition de modifications assez notables pour cesser de pouvoir fonctionner utilement et pour qu'il y ait nécessité de renouveler le bain ; pendant tout cet intervalle de temps, une cuve peut fournir environ 1,700 kilogrammes de cuivre que l'on peut considérer comme chimiquement pur. Cette pureté presque absolue donne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

au métal des propriétés qui le rendent particulièrement propre à être travaillé mécaniquement; il paraît présenter également une grande conductibilité électrique et mérite d'être signalé spécialement à ce point de vue. La production annuelle s'élève à 550 tonnes.

Nous ne nous arrêterons pas à décrire les procédés à l'aide desquels on peut retirer des divers bains et à divers états les métaux dont les combinaisons peuvent être utilisées; les réactions que l'on met en jeu n'ont rien d'électrique. Nous devons signaler cependant du sulfate de nickel et du sulfate double de nickel et d'ammonium qui sont préparés en assez grandes quantités pour l'industrie du nickelage.

La méthode électrolytique a été employée également pour retirer les métaux précieux qui peuvent entrer dans la composition de quelques alliages complexes. Voici, par exemple, comment on opère pour l'extraction de l'or : l'alliage est traité par de l'acide sulfurique qui dissout tous les métaux, sauf l'or et le platine, qu'il s'agit de séparer. L'alliage d'or et de platine est fondu et coulé en plaque pour servir d'anode soluble dans un bain dont nous n'avons pu avoir la composition, mais que nous pensons devoir présenter quelque analogie avec les bains de dorure. Sous l'action du courant qui traverse le liquide, de l'or se dépose au pôle négatif, tandis qu'à l'anode l'or et le platine se dissolvent simultanément; mais tant que la quantité de ce dernier métal n'atteint pas une valeur déterminée, il n'est pas déposé, et l'or seul est recueilli. Le liquide du bain est ultérieurement utilisé pour fournir des composés de platine.

Le résultat des opérations pratiquées par cette méthode est de fournir les métaux précieux à l'état de pureté absolue. (Des échantillons analysés à la Monnaie, à Paris, ont donné des titres de $\frac{1000}{1060}$ pour l'or, et de $\frac{999,7}{1000}$ pour l'argent.) Ces procédés ont été appliqués notamment à la séparation du cuivre et de l'argent dans l'opération de la démonétisation des petites monnaies en Allemagne, et on a pu recueillir ainsi 23 kilogrammes d'or.

Cette méthode est intéressante, d'autant qu'elle a déjà reçu la consécration de la pratique; peut-être, comme il a été déjà indiqué, sommes-nous sur le point de voir appliquer l'électricité à la métallurgie, bien que jusqu'à présent aucun essai en grand ne permette d'évaluer les avantages que ce procédé pourrait présenter.

Mais, par contre, dans une autre voie, l'application de l'électricité a été essayée sur une assez grande échelle pour qu'il puisse sembler, d'après les renseignements fournis, que la méthode est susceptible de se développer; nous voulons parler de la désinfection des flegmes, alcools mauvais goût, par l'électrolyse. Les alcools qui peuvent être extraits d'un grand

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nombre de substances et particulièrement, en France, des grains, de la pomme de terre, du marc, des betteraves, des mélasses de betteraves, etc., contiennent des substances étrangères, dont la composition n'est pas encore bien déterminée absolument, éthers, alcools supérieurs ou aldéhydes, et qui en rendent la consommation impossible; il faut les soumettre à une rectification qui peut être obtenue par des actions physiques, la distillation, ou par des actions chimiques dont plusieurs ont été proposées. MM. NAUDIN et SCHNEIDER ont imaginé de donner naissance à des actions chimiques bien déterminées prenant naissance sous l'influence de l'électricité. Reprenant d'abord une idée précédemment émise, ils font agir sur l'alcool mauvais goût un couple zinc-cuivre obtenu en déposant directement du cuivre sur le zinc par l'action d'une dissolution de sulfate de cuivre ; ce couple, au contact de l'eau, donne naissance à de l'hydrogène et à de l'oxyde de zinc. Cette action se produit lorsque l'alcool est mis en contact avec le couple, et l'hydrogène, agissant probablement sur des aldéhydes, les transforme ; aussi, après cette action, la distillation donne-t-elle une plus-value en rendement d'alcool bon goût de premier jet qui atteindrait 25 à 30 pour 100. Le prix du traitement ne dépasserait pas 15 à 20 centimes par hectolitre d'alcool.

Il importe de remarquer que cette hydrogénation dans un liquide neutre, sous l'influence du couple zinc-cuivre, donne des résultats supérieurs à ceux que produit l'hydrogénation dans un milieu alcalin ou acide. Cette méthode, qui suffit pour certains alcools, est insuffisante pour l'eau-de-vie de betteraves, que l'on soumet alors à une autre action : l'électrolyse directe. Les flegmes de betteraves, après avoir passé deux jours dans les cuves à hydrogénation par le couple zinc-cuivre, sont acidulés de 0,001 d'acide sulfurique et envoyés dans une série de 12 voltamètres, que, à l'aide de dispositions faciles à concevoir, ils parcourent successivement de bas en haut. Dans chacun des voltamètres, ils lèchent deux lames de platine communiquant avec les deux pôles d'une machine dynamo-électrique à courant continu ; sous l'influence du courant, ils sont décomposés, et il se produit des actions mal définies, mais qui paraissent être une oxydation suivie d'une hydrogénation. Tous les flegmes traversent les 12 voltamètres; mais, à l'aide de commutateurs, le courant peut être supprimé dans un ou plusieurs, de telle sorte que l'on puisse proportionner toujours l'action électrique à la composition du liquide. A la sortie des voltamètres, le liquide est mis en contact avec du fer ou du zinc pour amener la désacidulation et peut-être encore compléter l'action chimique. Ainsi que nous le disions en commençant, cette méthode est entrée dans la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pratique ; elle est appliquée à l'usine de M. Boutet, à Bapaume-lez-Rouen, et depuis six mois, deux appareils, fournissant un débit de 45 hectolitres par jour chacun, fonctionnent avec des résultats assez satisfaisants pour que M. Boutet ait décidé la construction d'appareils permettant d'augmenter considérablement la quantité de flegmes désinfectés par vingt-quatre heures.

M. Goppelsrœder, de Bâle, a présenté à l'Exposition un ensemble de produits divers, de matières colorantes obtenues par l'électrolyse de composés organiques. Il a opéré sur le chlorhydrate, le sulfate, le nitrate d'aniline, le chlorhydrate, le sulfate de pseudo-toluidine, les chlorhydrates de méthylaniline, celui de diphénylaniline, etc., et a obtenu, suivant les conditions, la nature du dissolvant, la durée de l'action, des composés très variés. Il expose également des échantillons de soie teints avec des colorants produits par des électrolyses du même genre. Bien qu'il ne se dégage encore rien de bien net des expériences de M. Goppelsrœder, il y a là une étude qu'il est à désirer de voir continuer et qui peut-être conduira à d'intéressantes conclusions.

L'ozone, par les conditions les plus ordinaires de sa production, se trouve rattaché à l'électricité ; on voit au Palais des Champs-Élysées des appareils producteurs d'ozone, comme celui de M. de Wilde, qui présente d'ingénieux appareils de laboratoire, rappelant les modèles déjà connus et destinés soit à produire l'ozone par l'action de l'effluve électrique, soit à soumettre des gaz ou des mélanges gazeux à la même influence. MM. Brin frères ont établi un four à préparer l'oxygène et destiné à alimenter des appareils à produire l'ozone ; nous n'avons pas à insister ici sur la disposition de l'appareil à oxygène. Quant à l'ozoniseur, il ne présente aucune disposition spéciale, si ce n'est que le gaz qui le traverse est à une pression inférieure à la pression atmosphérique, ce qui, d'après MM. Brin, favoriserait l'ozonisation. L'ensemble des appareils était bien disposé, sans présenter aucune nouveauté, et, d'autre part, l'application n'en a pas encore été faite industriellement ; on ne peut donc savoir si la pratique réelle ne présenterait pas des inconvénients que l'expérience en petit ne permet pas de prévoir.

M. Eisenmann, de Berlin, expose le modèle réduit d'un appareil de rectification des alcools mauvais goût sous l'influence de l'ozone agissant pour compléter l'action des appareils de distillation ordinaire. La description de l'appareil complet est inutile ; il suffit de savoir que l'on insuffle dans l'alcool, déjà purifié par les procédés habituels, un courant d'air ozonisé. L'ozonisation se produit par la méthode ordinaire d'une part, et, d'autre part, nous n'avons pu avoir aucun renseignement complet sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'importance des applications déjà faites de ce procédé, non plus que sur le rôle effectif de l'ozone, par lequel seulement cette industrie se rattache à l'électricité.

Des remarques analogues doivent être présentées au sujet de bois préparés par M. René, de Stettin. Ces bois, destinés principalement à la fabrication des pianos, sont soumis à diverses opérations, parmi lesquelles se trouve l'action de l'air ozonisé. Nous n'avons pu savoir ni quelle était l'importance industrielle de la fabrication, d'une part, ni, d'autre part, les preuves de l'influence effective de l'ozonisation de l'air. Aussi, sans nier cette influence, nous devons nous borner à cette simple mention.

La Commission a examiné avec intérêt les recherches de M. Sabine (1522) relatives à l'étude des mouvements produits sur les surfaces de mercure par l'action électro-chimique, ainsi que celles de M. Slouguinow (Russie) sur les effets lumineux accompagnant l'électrolyse des liquides. Mais elle a pensé qu'il n'était pas de sa compétence de porter un jugement sur des recherches purement scientifiques, comme pourrait le faire à juste titre une société savante, et elle s'est bornée à décider qu'il serait fait mention de ces recherches dans le présent rapport.

Enfin la Commission a décidé que le nom de la maison Breguet figurerait également dans ce rapport pour la part que cette maison a prise à toutes les époques aux progrès de l'électricité, notamment en facilitant la substitution des machines aux piles dans l'électro-chimie; mais c'est à d'autres titres et d'une manière plus complète que les appareils exposés par cette maison doivent être jugés, et ce soin incombait naturellement aux autres commissions du jury.

C.-M. Gariel.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

GROUPE IV

CLASSES 1 ET 5

Le jury du groupe 4 avait à examiner les objets exposés dans les classes 1 et 5, comprenant les instruments d'électricité statique et ceux qui servent aux mesures électriques.

CLASSE 1

ÉLECTRICITÉ STATIQUE.

L'exposition de la classe 1, c'est-à-dire des instruments d'électricité statique, ne présentait qu'un petit nombre d'objets intéressants. A part une ou deux exceptions mentionnées plus loin, il n'y avait aucun appareil qui parût indiquer dans cette branche de l'électricité un progrès marqué sur ce qui était connu depuis bien des années, rien, en particulier, qui pût se comparer à l'admirable collection d'instruments exposés dans l'exposition rétrospective du cabinet de physique de l'Institution Teyler de Harlem, quoique la construction remonte à l'année 1785. Presque tous les objets placés dans la classe 1 se composaient d'instruments d'un type ordinaire, destinés aux écoles et aux cours publics pour expliquer les phénomènes fondamentaux de l'électricité statique; telles sont les machines électriques à frottement, les bouteilles de Leyde, etc., etc. Dans la plupart

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des cas, la construction n'indiquait pas de progrès sur les méthodes primitives ; nous devons même ajouter que les fabricants avaient souvent négligé quelques-unes des principales conditions qui assurent un isolement convenable et le bon fonctionnement des machines.

Nous citerons seulement les principaux objets compris dans cette classe.

M. A. Toepler (945) a exposé des machines du type qui porte son nom, et qui présentent beaucoup d'analogies avec la machine bien connue de Holtz. Une de ces machines avait 60 disques et une autre 20. Ce genre de machines mérite d'être recommandé d'une manière toute spéciale, parce qu'elles sont presque absolument indépendantes de l'état de l'atmosphère, et que la manière dont elles se chargent permet d'obtenir des résultats pour ainsi dire infaillibles.

Les nos 946 et 947, exposés par MM. Voss et Wilk, comprenaient d'autres modifications de la machine de Holtz, comparables comme construction et comme effets à celle de M. Toepler.

MM. Edmond Carré (4) et Ferdinand Carré (6) ont exposé des machines électriques de la forme inventée par ce dernier, dans laquelle une grande plaque de verre ou d'ébonite, agissant par induction, est combinée avec une plaque plus petite agissant par frottement, qui sert à charger la première et à la maintenir fortement électrisée. Les machines exposées n'étaient cependant remarquables ni par leur grandeur ni par aucun autre caractère, et ressemblaient à toutes celles qu'on emploie communément depuis quelque temps.

MM. Ducretet et Cie (8) ont exposé une machine de Holtz de grandes dimensions, qui est capable, comme on l'a montré, de percer des plaques de verre épaisses. Elle était bien construite, mais sans aucun détail qui dût la faire remarquer.

M. Humblot (9) a exposé une ingénieuse petite machine électrique d'un nouveau type, dans laquelle la plaque tournante se composait d'un disque métallique, recouvert de deux feuilles minces d'ébonite et traversée par des boutons de métal placés à intervalles égaux autour du disque et près du bord. Lorsqu'on fait tourner le disque, des contacts immobiles frottent contre ces feuilles, réunissant ainsi l'action des machines à frottement et des machines d'induction, d'une façon qui rend la machine indépendante des conditions atmosphériques et très propre au but auquel son inventeur la destine, c'est-à-dire pour servir à charger l'électromètre de sir W. Thomson.

MM. Solignac et Cie (15) ont exposé une machine statique à plateaux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

multiples et à frottement de mercure : les frottoirs ordinaires sont remplacés par un bain de mercure sec, ce qui diminue considérablement les résistances inutiles.

A côté de ces machines destinées à produire l'électricité de haute tension, l'appareil le plus remarquable dans cette classe est probablement la grande bobine d'induction exposée par M. Apps (1435) de Londres, et construite par lui pour M. Spottiswoode, président de la Société Royale, en Angleterre. Cette bobine d'induction a été construite pour les expériences dans lesquelles on a besoin de grandes quantités d'électricité de très haute tension ; elle est de beaucoup la plus puissante qui existe dans le monde entier, et pèse en tout 750 kilogrammes. Le fil du courant induit a une longueur de 450 kilomètres, tandis que le fil du courant inducteur le plus souvent employé a 600 mètres. Les résistances de ces fils sont pour le premier, 110,200 ohms, et pour le second, 2,3 ohms ; on a obtenu avec cette bobine une étincelle de 138 centimètres de longueur.

M. Closset (1203) a exposé un appareil destiné par M. Melsens à démontrer l'effet de grandes décharges d'électricité statique à travers un système de conducteurs présentant alternativement des résistances très différentes. Il montre ainsi que l'électricité se divise encore d'une manière analogue, mais non identique à celle qu'indique la loi de Ohm : ceux de ces conducteurs qui présentent des solutions de continuité donnent des étincelles même lorsqu'il existe des conducteurs continus, offrant un chemin de résistance beaucoup moindre au passage de la décharge.

M. Breguet (2), et M. Gaston Planté (14) ont exposé des spécimens de la machine rhéostatique si remarquable de ce dernier. Le jury a pensé cependant qu'elle se rattachait d'une manière trop intime à sa batterie secondaire, pour qu'on pût juger cet instrument comme appartenant à la classse 1 ; il en a donc renvoyé l'examen au jury de la classe 2.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 5

ÉLECTROMÉTRIE.

Le caractère de l'exposition, dans cette classe, est digne des plus grands éloges, surtout à cause des objets présentés par les maisons qui sont les plus renommées pour leurs instruments scientifiques. Tous ces exposants ont montré une collection remarquable d'appareils très délicats et très bien construits.

Sir WILLIAM THOMSON (1475) a exposé les électromètres absolus et à quadrants qu'il a imaginés et qui sont aujourd'hui si répandus. Les détails de la construction n'offrent pas de particularités nouvelles, et comme ils laissent très peu à désirer, il est probable que la même forme continuera à être employée pendant quelque temps.

L'exposition de M. le docteur WERNER SIEMENS (975) mérite l'approbation la plus élevée, pour la variété et en même temps pour la perfection des instruments présentés; elle renfermait d'excellents spécimens de tous les genres d'appareils employés pour les mesures électriques. Les galvanomètres ont la forme et les dispositions générales maintenant en usage pour ces instruments; de plus ils présentent de nombreux détails originaux dus aux constructeurs. Par une disposition très ingénieuse des galvanomètres astatiques, les aimants directeurs sont au nombre de 2 et peuvent être placés de manière à faire entre eux un angle quelconque dans l'azimuth que l'on veut; de sorte que l'on peut fixer à volonté l'intensité et la direction de la force magnétique résultante. L'amortissement préféré par cette maison s'obtient en suspendant un aimant en forme de cloche au-dessous du miroir, et en l'entourant complètement d'une enveloppe de cuivre très voisine qui ne le touche pas. Les courants induits produits par un mouvement de cet aimant amènent rapidement le système au repos.

Le galvanomètre astatique étalon à disposition différentielle, présenté par cette maison, est l'instrument le plus complet de l'Exposition comme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

type sensible. Nous indiquerons encore un galvanomètre, construit de manière à servir comme boussole de sinus ou de tangentes, ainsi qu'un galvanomètre différentiel, dont la construction est irréprochable, mais qui ne diffèrent pas d'une manière remarquable des combinaisons déjà connues.

Un instrument des plus complets, des plus utiles et des plus délicats de cette exposition est ce qu'on appelle le galvanomètre universel; il se compose d'un galvanomètre astatique garni d'un disque gradué sur son bord et portant un fil de platine avec lequel on peut établir des contacts successifs, de manière à varier la résistance dans les deux branches d'un *pont de Wheatstone*, lorsqu'on s'en sert pour déterminer les résistances. Avec cet instrument, on peut mesurer toutes les quantités électriques, les résistances des fils ou des piles, les forces électromotrices, les courants et les capacités.

Parmi les électro-dynamomètres exposés par cette maison, le plus remarquable est un électro-dynamomètre pour des courants très faibles. Dans cet instrument la bobine mobile est de forme sphérique ; celle-ci est comprise entre deux bobines fixes, et suspendue par un fil de platine très fin ; les oscillations sont affaiblies par deux volants trempant dans l'eau. La délicatesse de cet instrument est telle qu'il peut très bien indiquer et même mesurer les courants téléphoniques produits par les sons musicaux. Il y avait aussi des spécimens de l'électro-dynamomètre de Siemens pour les courants très intenses : ici le circuit mobile se compose d'un seul fil dont le mouvement enroule et déroule une spirale de cuivre qui fait mouvoir l'aiguille ; cette disposition présente de grands avantages.

Si nous passons aux instruments qui servent à mesurer les résistances, nous trouvons que la même maison a exposé plusieurs boîtes de bobines de résistance bien disposées et plusieurs *ponts de Wheatstone;* parmi ces derniers un des meilleurs est combiné avec le galvanomètre universel que nous avons signalé plus haut ; cet ensemble constitue ainsi un des instruments les plus précieux pour les mesures électriques. Néanmoins, le plus bel instrument de cette classe est un grand pont de Wheatstone avec un fil en platine iridié de plus de 2 mètres de long, dont un mètre est tendu parallèlement à une échelle; le contact est établi au moyen de deux petits cylindres de platine. Dans la construction de cet instrument on a pris toutes les précautions possibles pour obtenir une très grande précision, y compris une ventilation spéciale du fil, afin de lui conserver une température uniforme. Cet instrument est construit spécialement dans le but de comparer les étalons de résistance de la maison.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Siemens ont exposé une série de très grandes résistances (megohms), formées par une spirale dessinée à la plombagine à la surface d'un cylindre de caoutchouc durci; ces résistances étaient bien graduées et en bon état de conservation.

Un autre appareil remarquable est destiné à mesurer les résistances extrêmement petites, jusqu'à un millionième d'unité; il est basé sur le principe du pont de Thomson.

Outre ces instruments, on a aussi exposé plusieurs spécimens des étalons de l'unité de Siemens et de ses multiples.

La même maison a exposé des appareils très dignes d'attention pour mesurer les grandes vitesses et les intervalles de temps très courts; la mesure se fait au moyen d'étincelles électriques sur le bord d'une roue à rotation très rapide.

Un autre appareil ingénieux permet, au moyen d'une pile thermo-électrique, d'évaluer facilement des différences de température, particulièrement à mesurer la chaleur des différentes parties du soleil. Cependant ces instruments, quoique rangés dans la classe 5, ne semblaient pas devoir y figurer, puisqu'ils ne sont pas destinés à des mesures électriques.

La maison Carpentier (180), successeur de Ruhmkorff, a aussi exposé une collection remarquable d'instruments. Parmi ceux-ci, nous signalerons une série d'appareils magnétométriques pour observer l'intensité et les variations des éléments du magnétisme terrestre : ces instruments ont été imaginés par M. Mascart, professeur au collège de France, et construits d'après ses indications; ils présentent sous beaucoup de rapports des avantages sur ceux dont on se sert généralement. La même maison a aussi exposé différentes formes de galvanomètres inventés par M. Deprez. Ces instruments peuvent mesurer à la fois de petits et de grands courants, et ont l'avantage de donner des mesures exactes et très rapides, grâce à cette circonstance que l'aiguille se meut dans un champ magnétique très intense; le principe sur lequel ils reposent est aujourd'hui bien connu et il n'est pas nécessaire d'y insister. Il y a aussi du même inventeur un instrument pour mesurer la vitesse : on fait tourner un cylindre d'acier creux dans un champ magnétique, et la vitesse est indiquée par la déviation produite sur l'aiguille aimantée par les courants d'induction qui s'y développent. Les autres instruments exposés par la même maison dans cette classe reproduisent les types ordinaires construits avec beaucoup de délicatesse, mais ne présentant que de petites particularités de détail. Le seul que nous mentionnerons est une modification de l'électromètre à quadrants de Sir William Thomson, due aussi à M. Mascart.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La maison ELLIOTT frères (1469) a aussi exposé une admirable collection d'appareils de précision, parmi lesquels se trouvent un électromètre de Thomson modifié (avec replenisher), d'une très grande délicatesse, un galvanomètre astatique avec ajustement différentiel, et un instrument pour déterminer avec une grande exactitude le potentiel d'un câble. Ce dernier instrument se compose de deux boîtes de bobines de résistance dont l'une contient 100 bobines de 20 ohms de résistance chacune, et l'autre 101 bobines de 1,000 ohms de résistance chacune. Ces séries sont disposées en cadran et on établit un contact mobile en glissant un doigt sur chaque cadran, le doigt qui est sur le premier cadran communiquant avec l'électromètre et touchant seulement une des bobines, tandis que celui qui est sur l'autre touche deux bobines ; les parties en sont assez rapprochées l'une de l'autre. Les deux parties du doigt qui forment ainsi le contact sont isolées l'une de l'autre et communiquent respectivement avec le commencement et la fin de la série de bobines de l'autre boîte, tandis que la terre est mise en communication avec le commencement des bobines de la première boîte et que la pile communique avec la fin de ces mêmes bobines. On peut ainsi mesurer rapidement et avec précision le potentiel du câble. La même maison a exposé un excellent magnétomètre, sur le modèle de celui de Kew, avec une suspension à un seul fil pour déterminer la force horizontale absolue du magnétisme terrestre, par l'observation de la déviation, des oscillations et de la déclinaison. Il y a aussi un galvanomètre différentiel de faible résistance pour les grands courants : dans cet instrument, des bandes de cuivre remplacent le fil de cuivre, et les bobines ont un mouvement indépendant qui permet d'ajuster et de faire varier la sensibilité. Outre ces instruments, il y a un grand nombre de *ponts de Wheatstone* de formes variées, des bobines de résistance de constructions différentes, une bobine étalon construite d'après le principe imaginé par M. Chrystal et dans laquelle le fil est enroulé autour d'un des points de communication d'un couple thermo-électrique, dont l'autre point de communication s'avance hors de la bobine et est plongée dans l'huile ou dans l'eau, lorsqu'on s'en sert ; de cette manière, on peut constater de très légères différences de température entre le fil et le liquide au moyen d'un galvanomètre placé dans le circuit du thermocouple.

Les principaux instruments exposés par la maison BREGUET (179) sont : l'électromètre imaginé par M. Lippmann, dans lequel le potentiel est déterminé par l'effet produit sur la hauteur de mercure dans un tube capillaire dont le reste est rempli d'acide sulfurique étendu d'eau. La sensibilité de cet électromètre est extraordinaire, et dans la section suédoise, M. Nis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tröm a exposé son application à des recherches électro-physiologiques. Outre cet instrument, la maison en a exposé une grande collection d'autres pour les mesures électriques; cet instruments sont très bien construits, mais ils se rapprochent plus ou moins du type ordinaire, et ne diffèrent des modèles dont on se sert généralement que par des points de détail. La maison a aussi exposé le galvanomètre de M. Deprez, dont il a déjà été fait mention.

Parmi les autres exposants, ceux qui méritent le plus d'être cités sont les maisons LATIMER CLARK, MUIRHEAD et C^ie (1381), SCHUBART (1238) et DUCRETET et C^ie (184). Les instruments les plus remarquables exposés par M. Schubart sont un électromètre de Kohlrausch et une balance de Coulomb, tous deux très délicats et très bien construits. Les deux autres maisons dont nous venons de parler ont exposé des galvanomètres variés, et des séries de bobines de résistance, etc., etc. En outre, MM. Latimer Clarke et Muirhead ont exposé les condensateurs si parfaits, pour lesquels leur réputation est faite depuis longtemps, et les résistances d'induction avec lesquelles ils ont réussi à reproduire une imitation du câble transatlantique.

M. GAIFFE (187) a exposé un galvanomètre pour servir dans la pratique lorsqu'on n'a pas besoin d'une grande exactitude; dans cet instrument, l'enroulement est combiné de manière à obtenir une graduation uniforme entre des limites très étendues pour intensité du courant.

M. HARTMANN (970) a exposé divers appareils imaginés par M. Kohlrausch, en particulier pour déterminer la résistance des électrolytes.

M. WILLIAM SIEMENS a exposé des spécimens de l'électro-dynamomètre Siemens, et une disposition commode du galvanomètre à miroir pour essayer les câbles. Il a exposé aussi un pyromètre électrique, basé sur le changement de résistance produit par la chaleur dans les conducteurs. Cette maison, ainsi que la Compagnie du caoutchouc, de la Gutta-Percha et des télégraphes (1470), et M. Golfarelli (1588) ont exposé également une grande collection d'instruments de précision construits d'après les types généralement en usage.

L'objet le plus intéressant de l'exposition J.-A. EDISON (1114) est le microtasimètre, dans lequel les moindres variations dans la pression exercée sur un disque de carbone se manifestent par les variations qu'elles produisent dans sa résistance à un courant passant à travers ce disque. On peut ainsi observer de très petites différences de température, aussi bien que des changements minimes de toutes sortes, tels que ceux produits par l'humidité dans les corps poreux. M. Edison a exposé aussi des inventions

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diverses pour mesurer le courant total qui passe à travers un conducteur pendant un long espace de temps; elles sont destinées à évaluer l'électricité fournie pour la lumière électrique; le principe de ces instruments est la mesure de la quantité de cuivre déposée dans un élément mis en communication avec le fil par lequel passe le courant.

M. Bandieri (1587) a exposé un électromètre de M. Palmieri et M. Pierucci (1589) un instrument très bien imaginé, dû à M. Felici et servant à interrompre le courant juste aux intervalles de temps voulus.

M. Fröhlich (1558) a exposé un électro-dynamomètre astatique très compliqué avec une série de bobines coniques imaginées conformément à la théorie; mais le jury n'a pu déterminer le degré de succès réservé à cette méthode.

MM. Ayrton et Perry (1466) ont exposé un galvanomètre pratique pouvant servir avec des courants très forts et dont les indications se lisent immédiatement.

En somme, le jury a été fortement impressionné par le grand nombre de bons instruments exposés dans cette classe par les principales maisons. Outre ceux qui ont été mentionnés plus haut, l'Exposition en comprenait beaucoup d'autres destinés aux mesures pratiques, bien construits et appropriés au but auquel on les destine ; mais ils ne présentaient pas de caractères saillants qui pussent motiver une mention spéciale.

Plusieurs savants distingués, tels que MM. Paalzow, Wiedemann, Kohlrausch, Stoletow, etc., ont exposé les instruments avec lesquels ils ont fait leurs importantes recherches. Le jury n'avait pas à les apprécier.

Afin de s'éclairer sur la valeur des appareils délicats qui lui étaient soumis, le jury du groupe 4 a établi des expériences comparatives. Les galvanomètres d'un même type, construits par les maisons Siemens, Elliott et Breguet, présentent des sensibilités à peu près égales. Quelques-uns des galvanomètres de MM. Siemens se distinguent par la rapidité de leur amortissement. Les boîtes de résistances et de capacités étalonnées, présentées par les principaux constructeurs, ont été trouvées également satisfaisantes. MM. Latimer Clark et Muirhead paraissent cependant l'emporter pour la construction de grandes capacités : leurs séries de 1 à 20 microfarads possèdent un pouvoir isolant tout à fait surprenant.

MOULTON.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES

DU PREMIER VOLUME

RAPPORT ADMINISTRATIF

PREMIÈRE PARTIE. — DOCUMENTS OFFICIELS ET PIÈCES

	Pages.
Rapport au Président de la République	1
Association de garantie	5
Liste des Membres de la Commission d'organisation	8
Règlement général	11
Liste des Membres du Comité techniqne	17
Liste des Membres du Comité des finances	18
Loi portant ouverture d'un crédit de 300,000 francs	20
Loi portant emploi du droit de statistique	22
Loi portant dérogation à la loi du 5 juillet 1844 sur les brevets d'invention	23
Jury international des récompenses	33
Liste des récompenses	62

RAPPORTS DU JURY

GROUPE I

CLASSE 3. — Machines magnéto-électriques et dynamo-électriques. — *Rapport de M. Potier*	78
CLASSE 9. — Moteurs électriques, transport des forces. — *Rapport de M. Potier*	78
CLASSE 8. — Lumière électrique. — *Rapport de M. Violle*	106
CLASSE 14. — Générateurs, moteurs à vapeur, à gaz et hydraulique. — *Rapport de M. Luuyt*	118

GROUPE II

CLASSE 4. — Transmission de l'électricité. Fils, câbles et accessoires. Paratonnerres. — *Rapport de M. Raynaud*	141
CLASSE 6. — Télégraphes, signaux. — *Rapport de M. Blavier*	223

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

CLASSE 6. — Application de l'électricité à l'exploitation des chemins de fer. — *Rapport de M. Bandérali* 326
CLASSE 7. — Téléphonie, microphonie. — *Rapport de M. Pollard*. 414

GROUPE III

CLASSE 2. — Piles et accessoires. — *Rapport de M. Gariel* 437
CLASSE 10. — Électricité médicale. — *Rapport de M. Gariel* 448
CLASSE 11. — Électro-chimie. — *Rapport de M. Gariel*. 454

GROUPE IV.

CLASSE 1. — Électricité statique. — *Rapport de M. Moulton*. 469
CLASSE 5. — Électrométrie. — *Rapport de M. Moulton* 478

Paris. — Imp. A. Quantin, 7, rue Saint-Benoît. [477]

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires