

Titre : Rapports. Comité 31. Electricité publiés sous la direction de M. Camille Krantz ; Rapport de M. E. Mascart

Auteur : Exposition universelle. 1893. Chicago

Mots-clés : Exposition internationale (1893 ; Chicago) ; Électricité \* 19e siècle ; Moteurs électriques

Description : 47 p. ; 28 cm

Adresse : Paris : Imprimerie Nationale, 1893

Cote de l'exemplaire : CNAM 8 Xae 387

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE387>

**RAPPORTS**  
**SUR**  
**L'EXPOSITION INTERNATIONALE DE CHICAGO**  
**EN 1893**



70585

802ae 387

MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE  
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

EXPOSITION INTERNATIONALE DE CHICAGO EN 1893

# RAPPORTS

PUBLIÉS

SOUS LA DIRECTION

DE

M. CAMILLE KRANTZ

COMMISSAIRE GÉNÉRAL DU GOUVERNEMENT FRANÇAIS

COMITÉ 31

Électricité



PARIS

IMPRIMERIE NATIONALE

M DCCC XCIV



**COMITÉ 31**

**Électricité**

---

**RAPPORT DE M. E. MASCART**

**MEMBRE DE L'INSTITUT**

**DIRECTEUR DU BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE**

**COMMISSAIRE RAPPORTEUR**



## RAPPORT SUR L'ÉLECTRICITÉ.

---

Les Expositions universelles ne sont pas seulement pour les industriels une occasion de montrer la qualité de leurs produits et les progrès réalisés dans l'invention ou dans la fabrication; il est nécessaire aussi qu'elles puissent leur donner l'espoir légitime de trouver, dans l'extension de leur clientèle, une compensation des frais considérables qu'entraînent ces déplacements de personnel et de matériel.

A ce point de vue, l'Exposition de Chicago n'offrait pas un milieu avantageux. Les visiteurs étrangers aux États-Unis devaient être et ont été relativement rares, à cause de l'étendue des distances à parcourir, et ce n'est pas là qu'ils s'attendaient à trouver des renseignements bien complets sur l'industrie européenne. D'autre part, l'élévation exagérée des tarifs de douane a pratiquement exclu du marché américain les produits étrangers de grosse fabrication, de sorte que les grandes maisons de construction se trouvaient naturellement éloignées.

La situation n'est pas la même pour les produits de luxe, les beaux-arts, le costume et l'ameublement, où le goût intervient pour une part si importante, et pour les objets de fabrication spéciale dans lesquels le côté inventif, l'habileté d'exécution et l'économie de la main-d'œuvre sont des éléments de succès.

Dans ces différentes industries, que je n'ai pas à examiner, l'Exposition française avait tout l'éclat qu'on pouvait attendre, mais il faut reconnaître que l'exposition électrique ne pouvait donner qu'une idée très imparfaite de l'importance de cette industrie dans notre pays. Les conditions étaient d'ailleurs particulièrement défavorables. Les applications de l'électricité aux États-Unis se développent avec une telle rapidité, qu'elles suffisent pour absorber la production de nombreux établissements industriels, et pour exciter leurs progrès. On doit signaler encore cette circonstance toute spéciale, que les appareils s'y reproduisent en grand nombre, à cause de



l'uniformité des besoins. Dès qu'une certaine forme de construction a été reconnue satisfaisante, les fabricants organisent un outillage spécial pour la reproduire mécaniquement, sans rechercher trop de fini dans l'exécution. L'étendue du marché intérieur leur assure une vente considérable, les frais de premier établissement sont vite amortis, et l'industrie peut, s'il est nécessaire, supporter des transformations continues.

Toutefois les qualités spéciales de la construction française, et le bon marché relatif de notre main-d'œuvre permettraient encore à nos industriels d'introduire leurs produits aux États-Unis, si les barrières de douane étaient moins élevées.

Cette situation exceptionnelle suffit à expliquer pourquoi l'exposition d'électricité est restée surtout américaine. Les principales Sociétés de construction des États-Unis avaient fait des frais considérables, pour montrer la puissance et la variété de leur production. Par contre, presque toutes les nations d'Europe s'étaient abstenues, à de très rares exceptions, et la France est encore une de celles dont l'industrie électrique avait la plus sérieuse représentation.

Pour un certain nombre de nos fabricants, la présence à Chicago était considérée, pour ainsi dire, comme un acte de courtoisie internationale, sans qu'ils y fussent conduits par l'attente d'un développement de leurs affaires aux États-Unis. Si cette prévision peut être justifiée, en ce qui concerne le gros matériel, elle n'est pas exacte pour les appareils de petites dimensions, tels que les instruments de mesures et de précision. Dans cet ordre d'idées, quelques-uns de nos industriels ont un marché important aux États-Unis, et il semble qu'on ne fait pas en général assez d'efforts pour y produire les objets de construction française. Si l'on compare les prix de vente aux États-Unis d'appareils similaires, de fabrication indigène ou étrangère, en tenant compte de leurs qualités respectives, on reconnaît aisément que nos constructeurs y peuvent lutter avec avantage et qu'ils semblent trop négliger d'y faire la propagande nécessaire pour entretenir des relations commerciales en ce pays.

L'espace occupé par les appareils électriques était d'environ 16,000 mètres carrés dans le Palais de l'Électricité. En outre, huit compagnies américaines utilisaient, dans le Palais des Machines, de 400 à 800 mètres carrés. En y ajoutant plusieurs expositions moins importantes, on arrive au total de 21,300 mètres carrés, c'est-à-dire à une surface de plus de 2 hectares.

Le but de ce rapport ne peut être d'examiner dans tous leurs détails les objets que renfermait une aussi vaste collection, mais seulement d'en indiquer le caractère et la tendance générale.

Nous passerons d'abord en revue les exposants français; leur concours a été très méritoire, entièrement désintéressé pour la plupart d'entre eux, et il n'est que juste de citer au moins ceux qui ont donné cette preuve de dévouement à la bonne renommée de notre industrie. Pour les expositions étrangères et surtout celle des États-Unis, nous essayerons de donner une idée du développement de l'industrie électrique, en dehors même de l'Exposition, des progrès accomplis depuis quelques années et des efforts tentés dans des voies nouvelles.

## EXPOSITION FRANÇAISE.

### TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE.

La plus grande étendue des emplacements réservés à l'exposition française était occupée par la DIRECTION GÉNÉRALE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES. Une collection remarquable des appareils anciens et récents employés par l'Administration était installée dans les conditions mêmes du service, de manière que les visiteurs pouvaient les mettre en fonction et apprécier leurs qualités respectives.

La partie rétrospective de cette exposition, complétée par celle du CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS, présentait une véritable histoire de la télégraphie. On y trouvait, à côté des signaux primitifs de Chappe, la traduction du même système par le télégraphe électrique de Bréguet, les appareils à aiguilles ou à cadran, une série d'appareils à signaux conventionnels, des appareils imprimeurs, en particulier ceux de Hughes, les appareils multiples de Meyer et de Baudot, l'appareil autographique de Caselli et différentes solutions du même problème, des instruments de mesure, plusieurs systèmes de relais, différents modèles de téléphones et de postes centraux, en particulier le rappel de Coincy, intéressant au point de vue des antécédents du télégraphe harmonique, le matériel des lignes aériennes, souterraines ou sous-marines, et celui des lignes pneumatiques, etc.

Il ne peut entrer dans notre programme de passer en revue cette collection, si instructive qu'elle fut, et nous devons nous borner à quelques-uns des appareils présentant un caractère de nouveauté.

Les appareils de M. BAUDOT, si remarquables dans les différentes expositions, ont subi de nouveaux perfectionnements. Les systèmes de disques manipulateurs et récepteurs avec le régulateur isochrone, exposés en 1889, sont maintenant d'un emploi général et se substituent progressivement aux dispositions primitives. Outre les appareils à transmission quadruple, on construit aujourd'hui sur le même modèle, pour les lignes de trafic moyen, des appareils triples ou doubles, ou même des appareils qui fonctionnent en double ou en triple, à la volonté des opérateurs, et les inter-

valles de temps affectés aux différentes dépêches peuvent être utilisés pour des postes différents situés sur la même ligne.

L'une des plus graves difficultés que l'on rencontre dans les transmissions rapides à grande distance, surtout pour les lignes souterraines, consiste dans l'allongement des signaux dû à la capacité et aux effets d'induction. Un courant de durée infiniment courte au départ se transforme sur la ligne en une onde adoucie, dont l'allongement est à peu près proportionnel au carré de la distance, de sorte que les signaux à l'arrivée manquent de netteté et finissent par empiéter les uns sur les autres. On peut y remédier en partie par l'emploi de relais échelonnés; chacune des sections de la ligne est caractérisée par une durée propre de propagation, et la déformation finale des signaux n'est plus que proportionnelle à la simple distance. Le défaut persiste cependant, puisque chacun des relais transmet les ondes avec leur durée, et le signal recueilli dans l'appareil récepteur par le balai qui rencontre l'une des touches peut encore se prolonger sur la touche suivante.

M. Baudot y obvie par deux méthodes. Le relais du récepteur, actionné par la ligne, commande, à l'aide d'un balai spécial, un second relais, qui n'agit que pendant un temps très court, à l'époque moyenne du signal de ligne, et fait alors fonctionner le récepteur avec autant de netteté que si la dépêche était expédiée par le poste lui-même.

Si la ligne est trop longue pour que les signaux successifs ne puissent arriver sans confusion, malgré le jeu des relais intermédiaires, on intercale en route un organe particulier, dit *retransmetteur*, qui reçoit le signal, et le reproduit de nouveau sur la section suivante, d'une manière automatique, comme ferait un employé assez habile pour traduire la dépêche lettre à lettre et l'expédier à mesure sans perte de temps.

D'autres dispositions ont été imaginées pour amortir la brusquerie des effets dans les organes mécaniques, supprimer les étincelles sur les lignes de grandes capacités, vérifier la marche des relais par les postes éloignés, etc. L'ensemble des progrès réalisés justifie l'extension croissante que prennent les appareils de M. Baudot sur notre réseau télégraphique et sur plusieurs lignes internationales.

Le télégraphe multiplex à monotéléphones de M. MERCADIER a été aussi singulièrement amélioré. Depuis qu'Elisha Gray a réalisé les premières transmissions multiples par l'emploi de lames vibrantes, le problème a donné lieu à de nombreuses recherches.

Dans l'appareil de M. Mercadier, une série de diapasons entretenus électriquement produisent des perturbations de même période dans le fil primaire de leurs transformateurs respectifs; le fil secondaire peut être ouvert ou fermé pendant des temps variables par une clef analogue au manipulateur de Morse. Ces courants induits de premier ordre, agissant sur deux transformateurs voisins, donnent deux systèmes de courants de second ordre, dont l'action se compense sur le relais microtéléphonique du poste, mais dont l'un seulement est greffé sur la ligne de transmission. Le relais est donc insensible aux courants émis par le poste, et reçoit intégralement ceux qui proviennent de la station opposée.

Le récepteur total est fourni par une série de monotéléphones, montés en tension sur le fil secondaire d'un transformateur, dont le fil primaire reçoit les vibrations du relais microtéléphonique, chacun de ces téléphones récepteurs n'étant ébranlé que par les mouvements périodiques de l'un des diapasons expéditeurs. Cet ensemble constitue, pour ainsi dire, la traduction mécanique du célèbre théorème de Fourier, d'après lequel une fonction quelconque à retours réguliers peut être représentée par une suite de termes harmoniques de périodes différentes soumises à certaines relations.

L'appareil exposé comprenait douze postes téléphoniques pouvant fonctionner, dans un sens ou dans l'autre, sur une ligne utilisée déjà par un autre système télégraphique ordinaire, à signaux relativement plus écartés; il marchait sur une ligne artificielle représentant les conditions d'une ligne ordinaire de 500 kilomètres.

La réception de signaux à l'oreille a l'inconvénient de ne pas laisser de trace matérielle des dépêches, mais il est à prévoir que l'accroissement des relations télégraphiques obligera de recourir à ces méthodes si fécondes, pour économiser le matériel de ligne.

Au début de la télégraphie électrique, on n'avait guère à se préoccuper que de la résistance des conducteurs et de leur isolement, mais, depuis que les appareils à transmissions rapides se sont développés et, surtout, que l'on a fait usage de lignes souterraines ou de câbles sous-marins, il est devenu nécessaire de porter la plus grande attention sur la capacité des lignes et les effets d'induction dont elles sont le siège. Ce genre d'études exige que l'on ait à sa disposition des lignes artificielles, capables de reproduire, au moins en partie, les conditions du réseau exploité.

A ce point de vue, on remarquait une ligne artificielle capable de repré-

senter le câble de Marseille à Alger avec une capacité totale de 145 microfarads. Cet appareil, construit dans les ateliers de l'Administration, se distingue par l'heureux arrangement des communications, qui permettent d'utiliser facilement, par un simple jeu de glissières, toutes les fractions des résistances et des capacités; il est d'un volume très réduit, grâce à l'emploi de condensateurs en mica argenté; on peut ainsi réaliser tous les types de lignes aériennes, souterraines ou sous-marines.

Nous signalerons également l'appareil à lignes artificielles de MM. DE BRANVILLE et ANIZAN, où les capacités sont greffées au milieu des bobines correspondantes, et qui permet de réaliser l'image de lignes souterraines de 500 mètres à 50 kilomètres, ou de lignes aériennes de 5 à 500 kilomètres. Les condensateurs sont en papier paraffiné, comprimé à chaud, et paraissent capables de supporter des différences de potentiel de 2,000 volts.

Les constructeurs d'appareils télégraphiques ou téléphoniques étaient représentés par la maison ANIZAN ET DE BRANVILLE, qui exposait, entre autres, le bitéléphone de M. Mercadier, la disposition microphonique et le microphone réglable pour différentes distances de MM. Mercadier et Anizan; par MM. MILDÉ fils et C<sup>ie</sup> qui montraient plusieurs dispositions très simples et ingénieuses, particulièrement pour des postes de téléphones destinés aux usages domestiques, ainsi que des postes pour réseaux urbains ou lignes à grande distance; par MM. DUMOULIN-FROMENT et DOIGNON, avec leurs télégraphes des systèmes Morse et Hughes; par la maison BRÉGUET et quelques autres, sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

Nous aurions à citer encore les modèles de lignes et de poteaux employés par l'administration, les supports de M. ANDRÉ, les poteaux de raccordement pour lignes aériennes ou souterraines de M. JACOT, les câbles FORTIN-HERMANN, les différents systèmes d'avertisseurs d'incendie, le modèle d'édifice muni de paratonnerres, de M. MILDÉ, un indicateur électrique de levées de la poste, par M. A. HENNEQUIN, etc., mais cette énumération n'aurait d'intérêt que s'il était possible de la compléter par une description sommaire.

#### CONDUCTEURS ET CÂBLES.

La fabrication des conducteurs et des câbles a pris en France de grands développements. Nous nous bornerons à rappeler le nom des principaux exposants, en indiquant la nature particulière de leurs produits.

MM. G. ABOILARD et C<sup>ie</sup> montraient des câbles téléphoniques avec isole-

ment en papier. Ce mode de construction permet d'obtenir des conducteurs de très faible capacité, dont l'usage a pris beaucoup d'extension.

Chez MM. HOURY et C<sup>ie</sup>, on trouve aussi des fils métalliques de toute nature et de tout diamètre, des câbles et, en particulier, des fils très fins en aluminium ou en alliages de grande résistance, propres à la fabrication des rhéostats.

L'exposition importante de MM. MÉNIER frères renfermait une série d'échantillons très variés de leur industrie relativement à la préparation du caoutchouc ou de la gutta-percha, et à la fabrication de fils couverts et de câbles souterrains ou sous-marins.

Enfin, MM. L. WEILLER et C<sup>ie</sup> avaient exposé leurs fils de cuivre de haute conductibilité, des bronzes ordinaires très conducteurs, des bronzes silicieux de grande résistance mécanique, des fils bimétalliques, des barres de cuivre pur et de divers alliages, etc.

#### DYNAMOS ET MOTEURS.

C'est ici surtout que l'on pourrait regretter la réserve ou même l'abstention de nos principaux constructeurs, si les considérations d'ordre commercial signalées plus haut ne suffisaient à expliquer leur peu d'empressement à supporter les frais d'une exposition véritable.

La SOCIÉTÉ GRAMME apportait la première machine dynamo-électrique présentée par le célèbre inventeur à l'Académie des sciences en 1871, la première dynamo du type ordinaire qui a figuré à l'Exposition de Vienne en 1872, ainsi qu'à l'Exposition de Philadelphie en 1876, et une machine actuelle, dite *type supérieur*, de 20 chevaux.

Il est juste de rappeler ici que l'apparition des machines Gramme à Philadelphie, où elles ont été acquises alors par le Gouvernement, a été le point de départ de cette industrie aux États-Unis. Les modèles exposés à Chicago suffisaient, il est vrai, pour établir le rôle de M. Gramme dans la création de l'électricité industrielle; toutefois, si les hommes compétents savent qu'il ne s'est pas arrêté là, qu'il a donné à sa machine presque toutes les formes utilisées aujourd'hui, qu'il en a modifié les éléments pour les approprier à différents usages, et qu'il continue à améliorer son œuvre, le visiteur mal informé ne pouvait apprécier à sa portée la vitrine de la Société, ni se rendre compte de l'importance actuelle de sa production.

M. DESROZIERS exposait une dynamo à courants continus de 250 chevaux

environ, pouvant marcher à 300 tours; il est à regretter qu'elle ne fût pas mise en action. Dans les machines Desrozières, dont le premier modèle parut à l'Exposition de 1889, l'induit est composé seulement de fils conducteurs sans interposition de fer doux. Elles présentent des avantages particuliers : la ventilation est telle, que les fils peuvent supporter un courant de 8 à 10 ampères par millimètre carré, les courants dits *de Foucault* sont supprimés en grande partie, le champ atteint 7000 à 8000 unités C. G. S., et la vitesse à la circonférence peut aller jusqu'à 30 ou 35 mètres. Une expérience déjà longue montre que ces machines ont une marche régulière.

Dans l'Exposition de MM. SAUTTER, HARLÉ et C<sup>ie</sup>, comme dans celle de la maison BRÉGUET, on trouvait aussi des machines dynamos à courant continu, en relation directe avec la machine à vapeur, pour l'éclairage des phares.

M. SCHNEIDER avait, dans le Palais des Machines, un alternateur du système Ziperowski de 50 kilowatts à 10 pôles, marchant à la vitesse de 500 tours par minute, et produisant un courant de 25 ampères sous 2000 volts.

Comme accessoires de machines, M. BOUDRÉAUX exposait des balais feuilletés en métal mince, et MM. HOURY et C<sup>ie</sup> des balais en toile de laiton ou de bronze d'aluminium.

L'application de l'électricité aux moteurs était représentée par deux modèles différents d'une machine à riveter, exposés par MM. A. PIAT et fils. L'appareil comprend un réservoir d'eau, utilisée sans perte de liquide pour le jeu d'une presse hydraulique, que commande un petit moteur électrique. On peut ainsi agir sur les rivets dans toutes les directions, sans avoir d'autre communication extérieure que les fils destinés à amener le courant. La manœuvre est très rapide, et l'on peut poser jusqu'à 120 rivets par heure, avec une pression de 30 tonnes sur le rivet. Cette machine convient en particulier pour la construction des ponts métalliques.

A côté des objets en nature, se trouvaient des documents, plans, dessins, photographies ou aquarelles, relatifs à des machines fabriquées par différents constructeurs :

De MM. HILLAIRET et HUGUET, un plan en relief du transport de force à Domène, qui fonctionne sans interruption depuis plusieurs années avec 300 chevaux au départ et 200 chevaux sur l'arbre de la réceptrice; une photographie de l'installation analogue sur la Valloirette, pour l'usine de MM. Bernard frères; et une série de photographies représentant les machines construites pour la manœuvre de blocs de 100 tonnes dans les tra-



vaux du port de Bilbao. Ces documents ne suffisent pas pour donner une juste idée de la fabrication importante de MM. Hillairet et Huguet.

De la COMPAGNIE DE TOUAGE DE LA BASSE-SEINE ET DE L'OISE, des dessins et des photographies du toueur-remorqueur, imaginé par M. de Bovet, dans lequel l'adhérence de la chaîne est obtenue par l'aimantation de la poulie d'enroulement. Cette poulie est formée par deux flasques de fonte, aimantées en sens contraire et rapprochées par leurs bords à une petite distance, de manière à constituer une gorge dans laquelle s'engage la chaîne. L'expérience a montré qu'il suffit d'appliquer la chaîne à la poulie sur trois quarts de circonférence, que l'usure du matériel est beaucoup moindre, et que l'énergie électrique dépensée dans l'aimantation ne dépasse pas 4 chevaux  $1/2$ . Le même principe de l'attraction magnétique a donné lieu à un grand nombre d'autres applications.

De M. SCHNEIDER, une aquarelle de la station centrale de la gare d'Orléans à Paris, et une aquarelle d'un pont roulant électrique de 150 tonnes, utilisé dans les ateliers du Creusot pour desservir la fosse de coulée des gros lingots des aciéries. Le pont est à 10 mètres au-dessus du sol des ateliers, avec une portée de 22 m. 5 et une longueur de chemin de 50 m. 7. Deux réceptrices, système Ganz, chacune de 45 kilowatts à 220 volts, munies de rhéostats de démarrage, permettent de faire les opérations de levage à trois vitesses différentes. C'est sans doute l'un des appareils les plus puissants de ce genre qui soient commandés par l'électricité.

De M. DESROZIERS, la photographie d'une dynamo de son système, marchant à 750 tours, et le dessin d'une locomotive électrique, produisant elle-même le courant nécessaire pour actionner les organes moteurs du train.

De la SOCIÉTÉ TOULOUSAINE D'ÉLECTRICITÉ, un bel album de plans et vues de l'usine de Toulouse, qui emprunte la force motrice à la chute de la Garonne (Chaussée du Bazacle) par 4 turbines de 300 chevaux, avec machines à vapeur de secours; les dynamos sont du système Thury.

La SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS avait envoyé les plans et photographies de son laboratoire, ainsi que le premier transformateur Gaulard, de l'inventeur regretté.

#### INSTRUMENTS DE MESURE.

Ce genre de constructions a conservé en France les caractères d'élégance et de précision qui ont fait l'honneur de grands artistes. La main de l'ou-

vrier intervient alors pour la plus grande part, et les procédés d'exécution mécanique ne sont guère applicables. Dans ces conditions, nos constructeurs peuvent soutenir la concurrence avec avantage sur les marchés étrangers. Il ne semble pas cependant qu'ils en prennent assez de souci, et ils n'ont pas fait les efforts nécessaires pour tenir dans l'exposition d'électricité la place qui convenait à l'excellence de leur fabrication. Ils me permettront peut-être d'ajouter en toute sincérité qu'ils devraient regarder davantage au delà de nos frontières, car ils tiennent en main une des meilleures parts de l'influence française.

Outre la machine rhéostatique de Planté, dont les travaux sur l'accumulation de l'électricité ont une si grande portée industrielle, la maison BRÉGUET exposait une collection d'instruments de mesure de toute nature, galvanomètres, boîtes de résistance, capacités, et des appareils relatifs aux applications de l'électricité à la physiologie (Table d'électrothérapie de M. le docteur Vigouroux, fournissant toutes les combinaisons de courants continus ou alternatifs. Table d'électrophysiologie de M. le docteur Roussy).

Dans la vitrine de M. CARPENTIER, trop restreinte en raison de la quantité d'instruments qu'elle contenait, on trouve, à côté des ampèremètres, voltmètres et wattmètres industriels, une collection d'instruments de haute précision qui ne sont surpassés par aucune construction étrangère. Les étalons de résistance en mercure, leurs copies de forme plus maniable, les boîtes de résistance étalonnées et réglées avec une exactitude extrême, les capacités en mica argenté de M. Bouty, les ponts de Wheatstone à bobines ou à fil, les instruments de mesure proprement dits, tels que l'ampèremètre étalon de M. Pellat, les appareils destinés à l'électrométrie ou aux études du magnétisme terrestre, constituaient un ensemble remarquable. On doit savoir gré à M. Carpentier d'avoir maintenu la réputation des ateliers Ruhmkorff en y introduisant tous les progrès modernes et en y ajoutant un grand nombre d'idées personnelles.

MM. DUCRÉTET et LEJEUNE avaient également une collection très intéressante d'appareils de toute nature, divers modèles de galvanomètres et d'électromètres, wattmètre de MM. Blondlot et Curie, compteur de M. Marès, bobines, télégraphe portatif, et surtout des instruments destinés à l'enseignement ou aux recherches scientifiques. Le mérite particulier de M. Ducrétet est de suivre avec attention le mouvement scientifique, et d'être l'un des premiers à construire les appareils qui permettent de répéter les expériences nouvelles publiées en France ou à l'étranger. Le caractère pour

ainsi dire universel de ses ateliers de physique, et la publication d'un catalogue explicatif lui ont permis de trouver une clientèle importante dans tous les pays.

La maison créée par Froment, et dirigée aujourd'hui par MM. DUMOULIN-FROMENT et DOIGNON, continue la fabrication des instruments de précision. Outre les appareils télégraphiques signalés plus haut, leur exposition renfermait en particulier des compas marins d'un modèle spécial, adoptés par l'État, et une modification du chronographe de Le Boulangé en usage dans l'artillerie de marine.

L'exposition de M. G.-E. GAIFFE, fils et successeur de A. Gaiffe, renfermait une série d'appareils destinés aux recherches scientifiques, ampèremètres et voltmètres, métronome interrupteur et inverseur, appareil oscillant à réglage d'amplitude pour bobines d'induction, sonomètre pour mesurer l'acuité de l'ouïe, etc., et surtout des instruments combinés pour l'application de l'électricité à la physiologie et à la médecine.

La SOCIÉTÉ GRAMME exposait différents modèles d'ampèremètres et de voltmètres industriels, dus à M. Javaux.

Chez M. RICHARD (Jules), on trouve une collection des appareils enregistreurs les plus variés. Mettant à part les enregistreurs directs, en particulier pour la pression atmosphérique, la température et l'hygrométrie, dans lesquels l'électricité n'intervient pas et dont tous les observatoires font usage, M. Richard a réalisé un grand nombre d'autres appareils, soit pour enregistrer les effets des courants électriques (ampèremètres, voltmètres, wattmètres), soit pour enregistrer à distance les phénomènes de toute nature : température, courants, niveaux d'eau, pression atmosphérique, direction et vitesse du vent, etc., dans lesquels les organes mécaniques sont combinés de manière à demander le moindre travail électrique, en assurant la continuité des transmissions. Ces divers appareils se signalent par une grande simplicité de construction.

### ÉLECTROCHIMIE.

On doit d'abord citer ici la maison CHRISTOFLE et C<sup>ie</sup>, qui tient le premier rang dans toutes les expositions depuis cinquante ans, pour la richesse, la variété et le goût artistique des produits qu'elle obtient par l'emploi de la galvanoplastie.

Elle présentait une série de pièces d'orfèvrerie, remarquables pour la

combinaison des ors de différentes couleurs et de l'argent mat ou poli; des dépôts de tous les métaux peu altérables à l'air, cuivre, nickel, fer, zinc, étain; des objets en ronde bosse obtenus par les procédés Lenoir ou Planté, des objets en galvanoplastie massive, des moulages à terre perdue par le procédé de M. Pellecat, des bronzes platinés et polychromés, etc. On remarquait, en particulier, un grand vase en cuivre chargé de décorations et une reproduction en fer galvanoplastique de la célèbre armure de Henri II.

MM. BERNARD frères, qui utilisent à Saint-Michel (Savoie) une usine hydraulique de 600 chevaux pour la production électrique de l'aluminium par le procédé Minet, exposaient des échantillons de métal pur et une série d'objets préparés par MM. Vienne frères, destinés à montrer que l'aluminium se prête à de nombreux usages et peut recevoir différentes décorations par gravure ou vernissage.

MM. L. LÉTRANGE et C<sup>ie</sup> avaient envoyé un plan de leur usine importante de Saint-Denis et des échantillons de zinc pur électrolytique.

M. F.-Ph. LABITTE avait organisé sur place des opérations de dorure, argenture et nickelage, à l'aide de bains spéciaux.

Le procédé d'émaillage de la fonte imaginé par M. P.-H. BERTRAND se rapproche naturellement de la galvanoplastie. On dépose d'abord sur la fonte, par électrolyse, une couche mince de métal volatil à une température modérée, tel que le cuivre ou l'étain, et l'on porte ensuite la pièce dans un four au voisinage de 1,000 degrés. La pellicule de métal étranger volatil entrave l'action de l'oxygène de l'air, et quelques minutes suffisent pour former une couche superficielle d'oxyde magnétique adhérente et inaltérable. C'est un procédé d'émaillage qui s'applique à tous les objets en fonte d'usage courant dont l'usure par oxydation est habituellement très rapide. Des procédés analogues permettent à MM. Bertrand d'obtenir par simple cuisson un dépôt d'étain et des couches d'émail de couleurs et de dessins variés. Les objets, doublement recouverts d'oxyde magnétique et d'émail, sont isolants, et peuvent être employés à ce titre dans diverses applications de l'électricité.

La construction des piles électriques ne présente plus aujourd'hui qu'une importance restreinte. Nous devons cependant signaler une collection, exposée par MM. LECLANCHÉ et C<sup>ie</sup>, des éléments Leclanché dont l'usage est si répandu, depuis le modèle primitif jusqu'à la forme actuelle Leclanché-Barbier à charbon creux, et un échantillon de zinc, usé régulièrement grâce à l'emploi d'une nouvelle solution de chlorhydrate d'ammoniaque.

Les accumulateurs ont pris, au contraire, un développement considérable depuis quelques années et représentent en France une grande industrie. Mais, en dehors des premiers modèles de Planté, notre exposition ne renfermait que l'accumulateur de M. E. PEYRUSSON, de Limoges. Les électrodes sont en feuilles de plomb mince avec un noyau en plomb antimoné et d'une construction qui permet de donner à l'appareil une grande solidité; la formation s'effectue par la méthode de Planté.

### ÉCLAIRAGE.

La puissance lumineuse des arcs électriques a été utilisée dès le début pour accroître la portée des phares et des projecteurs. A ce point de vue, nous aurions à citer les phares de MM. J. BARBIER et C<sup>ie</sup>, ceux de la maison HENRY-LEPAUTE, le projecteur parabolique de la maison BRÉGUET, le projecteur système Mangin avec manœuvre électrique à distance, exposé par MM. SAUTTER, HARLÉ et C<sup>ie</sup>. Toutefois le mérite de ces appareils tient surtout aux qualités optiques des miroirs ou des verres, aux dispositions mécaniques destinées à faciliter les mouvements d'horlogerie, la manœuvre des projecteurs et le remplacement des lampes; les questions purement électriques n'y jouent d'autre rôle que la production assurée du courant et la bonne marche des régulateurs.

L'exposition de l'Administration des postes et des télégraphes était éclairée pour les visites du soir par une série de lampes remarquablement fixes, fournies par la SOCIÉTÉ ANONYME DE LAMPES CANCE.

On trouvait dans l'exposition de la SOCIÉTÉ GRAMME des modèles de régulateurs à arc, et une collection de lampes à incandescence de divers types, dont la Société a entrepris depuis quelque temps la fabrication.

MM. PULSFORD, TRIQUET et C<sup>ie</sup> exposaient aussi des lampes à incandescence de puissances variées.

Citons encore une disposition de M. VIALET-CHABRAND, par laquelle on peut, au moyen d'électro-aimants interrupteurs, commander de différents points l'allumage ou l'extinction d'un réseau de lampes; les appareils construits par M. KRATZ-BOUSSAC, sur les indications de M. le docteur Oudin, pour l'éclairage automatique des cavités du corps humain, et l'allumette électrique de MM. DELOSTAL et C<sup>ie</sup>, dans laquelle l'étincelle d'extra-courant d'une pile sèche est utilisée pour enflammer une mèche imprégnée d'essence.

A l'emploi des lumières se rattache naturellement l'appareillage. Beau-

coup de tentatives ont été faites pour trouver une ornementation des supports bien appropriée aux qualités spéciales de la lumière électrique, au lieu d'accepter simplement les modèles anciens, imaginés en vue des flammes lumineuses et d'y apporter seulement des modifications de détail qui n'en changent pas le caractère. A ce point de vue, l'exposition de MM. LACARRIÈRE, DELATOUR et C<sup>ie</sup> était digne d'attention. Les lampadaires de différentes formes, statues, candélabres, lustres, appliques, suspensions pour lampes à arc, etc., indiquaient un progrès marqué dans ce nouveau genre de décoration.

Nous terminerons en signalant les modèles du four électrique de MM. MOISSAN et VIOLLE, construits par M. Lequeux sous deux formes différentes, pour permettre de répéter soit les expériences de M. Moissan sur la fabrication artificielle du diamant, la préparation de métaux rares ou de composés cristallisés réfractaires, soit les recherches de M. Violle relatives à la production de températures élevées et aux conditions physiques qui accompagnent la formation de l'arc entre des électrodes de charbon.

Ajoutons enfin que l'Exposition française renfermait une véritable bibliothèque d'ouvrages et de publications périodiques, relatifs à la théorie de l'électricité ou à ses différentes applications.

## EXPOSITIONS ÉTRANGÈRES.

---

### TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE.

Dans un pays comme l'Amérique, caractérisé par de grandes distances entre les centres industriels, et où la valeur du temps est si appréciée, les correspondances télégraphiques devaient prendre nécessairement une importance exceptionnelle. D'autre part, le téléphone, qui est né aux États-Unis, ne pouvait trouver nulle part de milieu plus favorable pour son développement. Il est d'un usage courant pour les communications privées dans l'intérieur des villes; toutes les cités de l'Est ont de nombreuses relations téléphoniques; les conversations s'échangent aujourd'hui sans difficulté de New-York à Chicago, même à Milwaukee; une autre communication téléphonique est établie entre Milwaukee et Portland, de sorte que l'époque n'est pas éloignée où l'on pourra parler directement depuis les côtes du Pacifique jusqu'à celles de l'Atlantique, au travers de l'immense continent américain.

Je n'insisterai pas cependant sur cette industrie, qui représente encore la plus grande somme de travail et de capitaux engagés dans les applications de l'électricité, parce qu'elle doit faire l'objet d'un rapport spécial par un ingénieur mieux informé et plus compétent. J'appellerai cependant l'attention sur le réglage des horloges. Chaque jour, sur un signal donné par l'Observatoire de Washington, l'heure est transmise par le télégraphe à la plupart des villes des États-Unis et beaucoup d'entre elles possèdent des *time-balls* qui mettent ce réglage à la disposition du public. En outre, la *Western Union Telegraph Company* a organisé un service d'abonnements, très prospère, d'horloges à domicile entretenues par l'électricité et corrigées chaque jour par une remise à l'heure. Je citerai encore deux expériences qui ont vivement excité l'intérêt du public à l'Exposition.

M. A. G. BELL, à qui l'on doit l'invention du téléphone, eut aussi la première idée du photophone à sélénium. On fait vibrer par la parole un miroir qui réfléchit un faisceau de rayons lumineux. Le faisceau réfléchi est reçu sur un appareil en sélénium dont les variations de résistance repro-

duisent tous les changements d'intensité de la lumière, c'est-à-dire finalement toutes les vibrations du miroir; si le sélénium est sur le trajet d'un courant local, les variations d'intensité obéissent aux mêmes périodes et peuvent être recueillies par un téléphone ordinaire.

Dans une installation organisée au Palais de l'Électricité, la lumière incidente était fournie par une lampe à arc au foyer d'un projecteur; le miroir vibrant ou parleur était une lame argentée de verre ou de mica; la lumière réfléchie tombait ensuite à la distance de 25 à 30 mètres sur un miroir parabolique au foyer duquel se trouvait placé le récepteur à sélénium. Dans ces conditions, les auditions téléphoniques étaient entièrement satisfaisantes. L'affaiblissement de la lumière ou plus généralement des radiations quelconques, en raison du carré de la distance, semble offrir un obstacle insurmontable à l'usage de cette méthode pour des stations très éloignées; on dit toutefois que, dans une expérience faite à Boston, le faisceau de lumière avait pu transmettre la parole jusqu'à 200 mètres.

A cet ordre d'idées se rattache également un appareil intéressant, le téléautographe de M. le professeur ELISHA GRAY, qui exige peut-être encore quelques perfectionnements, mais dont les résultats actuels sont déjà remarquables. Depuis le pantographe Caselli, on a fait bien des tentatives pour transmettre à distance par des fils télégraphiques l'écriture directe, un portrait ou un dessin de forme quelconque. La solution de M. Elisha Gray consiste à faire manœuvrer deux styles, l'un dirigé par la main de l'opérateur, l'autre sur l'appareil récepteur situé à une distance quelconque, de telle manière qu'ils décrivent des courbes identiques. Le mouvement des styles est rapporté pour ainsi dire à des coordonnées bipolaires; chacun d'eux est attaché à deux fils, qui s'enroulent séparément sur deux poulies, et sa position est définie par les deux rayons vecteurs correspondants. Si chaque poulie de l'appareil expéditeur est reliée à la poulie similaire du récepteur par des communications qui maintiennent la simultanéité de leurs rotations, quel qu'en soit le sens, le style récepteur reproduira fidèlement le tracé primitif. La transmission de mouvement d'une poulie à l'autre se fait électriquement, mais avec cette particularité que les engrenages employés agissent l'un sur l'autre sans contact direct, par une simple action magnétique des armatures dentées situées en regard. L'ensemble des dispositions mécaniques est extrêmement ingénieux. L'appareil exige quatre fils de ligne et, quand le style expéditeur ne marche pas avec trop grande vitesse, la dépêche écrite se transmet avec beaucoup de fidélité.



## INSTRUMENTS DE MESURE.

La plupart des Compagnies d'électricité industrielle fabriquent en même temps les appareils de mesures courantes qui sont nécessaires dans les applications. On aurait à y signaler beaucoup de solutions très ingénieuses de construction excellente; nous examinerons surtout les fabrications spéciales d'instruments de précision proprement dits.

On remarquait d'abord l'exposition considérable de MM. QUEEN and C<sup>o</sup>, de Philadelphie. Quelques-uns des appareils provenaient de la maison White, de Glasgow; d'autres, en très grand nombre, manifestement inspirés de constructions analogues en Europe, renfermaient différents détails destinés à en rendre l'emploi plus facile; enfin, plusieurs dénotaient une conception originale. Nous citerons, par exemple, des galvanomètres Thomson à réflexion, avec amortisseur en mica, et dont l'aimant directeur est muni de bagues glissantes en fer doux pour le réglage, disposition déjà utilisée dans l'électro-aimant de l'appareil Hugues; un galvanomètre balistique à quatre aimants en cloche, dont l'un est réglé de la même manière; un galvanomètre à bascule, dont la sensibilité est modifiée par le déplacement de la bobine sur un arc de cercle; un appareil à contacts instantanés pour courants alternatifs avec transmission de mouvement par une tige flexible; des ponts de Wheatstone de diverses formes dont les bobines sont disposées comme les décades de M. Carpentier pour l'addition des résistances ou des conductibilités; un pont pour l'étude des grandes conductibilités avec commutateur à mercure, combiné par M. le professeur H. S. Carhart, etc. Le seul aspect de cet ensemble d'appareils suffit pour dénoter une construction très soignée.

Au premier étage du Palais de l'Électricité se trouvait aussi une grande collection d'instruments analogues exposés par MM. HARTMANN et BRAUN, de Bockenheim-Francfort. Signalons, en particulier, des galvanomètres à graduation systématique; un appareil d'essai pour le fer et l'acier, où la valeur du champ magnétique est déterminée par la résistance d'une bobine de bismuth et une graduation empirique; un galvanomètre apériodique; un pyromètre de Braun jusqu'à 1500 degrés, basé sur les variations de résistance du platine; un téléthermomètre de même principe pour les températures comprises entre 30 et 300 degrés, des voltamètres par dépôt d'argent ou décomposition de l'eau; des ampèremètres et voltmètres

sans aimants; des appareils pour l'étude du magnétisme terrestre; des étalons de résistance, etc.

Nous aurions à faire la même énumération pour la maison SIEMENS et HALSKE, de Berlin, qui a depuis de longues années une situation prédominante en Allemagne et a pris une part considérable à tous les progrès accomplis dans la conception ou la construction des instruments de mesure électrique. Signalons, en particulier, dans cette exposition, une série de galvanomètres de différentes formes, des résistances en alliage nouveau dit *manganine*, un pont de Wheatstone à fil divisé avec ventilateur, un électrodynamomètre pour courants téléphoniques, une boîte de résistance de 10 mégohms en graphite.

Les publications périodiques et les traités spéciaux sont d'ailleurs si nombreux aujourd'hui, que tous ces instruments sont connus des savants et des industriels. Les principes sur lesquels ils sont basés n'ont plus de caractère de nouveauté; la forme seule diffère suivant les constructeurs, et les principales nations scientifiques possèdent, à ce point de vue, des ressources à peu près équivalentes.

## MACHINES ET MOTEURS.

### DYNAMOS A COURANTS CONTINUS.

Les machines à courant continu paraissent subir une transformation qui les amène à une forme commune, dont nous indiquerons plus loin le caractère; toutefois on rencontre différents modèles anciens dont l'emploi est plus répandu qu'on n'aurait pu le prévoir.

Les machines BRUSH ont encore la forme générale qu'on leur voyait à l'Exposition de 1881, avec cette différence importante de la substitution de fer en lamelles au fer plein dans l'armature. Le type primitif était déjà remarquable par l'élévation de la force électromotrice qui était alors capable d'alimenter 40 arcs en série; la modification apportée aux armatures permet d'aller plus loin. Ces machines comportent un long usage, car la station centrale de Philadelphie, par exemple, continue de fonctionner régulièrement depuis plusieurs années avec un courant de 3000 volts et 60 arcs en série.

Ce taux élevé de la force électromotrice, que les conditions d'isolement

rendent difficile à réaliser dans les réseaux de distribution, pour les courants réellement continus, paraît plus compatible avec la forme particulière des courants produits par les machines Brush, lesquels sont plutôt simplement redressés et présentent une forme ondulatoire.

La Compagnie exposait d'abord son type normal de 2900 volts, à la vitesse de 925 tours par minute, renfermant 4 électro-aimants de champ et 12 bobines sur l'armature induite.

Une autre machine, de plus grand modèle, était destinée à alimenter 125 arcs en série, avec un courant moyen de 9,6 ampères et une force électromotrice totale de 6250 volts. Elle a 8 aimants de champ, composés d'un noyau d'acier et de pièces polaires en fer feuillard, et 24 bobines induites groupées à 90 degrés pour la communication avec les balais; elle est couplée directement avec une machine à vapeur Williams qui marche à la vitesse de 525 tours. On indique, pour cet ensemble, un rendement net de 75 p. 100 entre les diagrammes de pression et l'énergie électrique disponible.

Les machines THOMSON-HOUSTON, à induit sphérique, présentent le même caractère. Le courant est aussi redressé; les balais sont le siège d'étincelles énergiques, mais on les amortit en partie par une dérivation de grande résistance, et surtout par une sorte de souffleur à courant d'air rapide. La force électromotrice est d'environ 2500 volts. Ces dynamos sont encore d'un usage courant pour alimenter des arcs en série.

Les machines EDISON bipolaires, à inducteurs verticaux et bobine inférieure enroulée en tambour, sont habituellement construites pour les lampes à incandescence et fonctionnent à 125 volts. La COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE, qui réunit aujourd'hui les deux anciennes sociétés Edison et Thomson-Houston, exposait trois modèles: de 24 ampères à 1900 tours, de 96 ampères à 1600 tours et de 360 ampères à 1000 tours. On évalue habituellement la consommation au taux de 0,40 ampère sous 120 volts par lampes de 16 bougies, soit à 3 watts effectifs par bougie. Une autre machine de 200 chevaux, fournissant le courant à 250 volts, servait à mettre en marche des machines Thomson-Houston pour lampes à arc.

La maison SIEMENS et HALSKE, de Berlin, exposait une grande dynamo de forme particulière, dont un modèle avait paru à l'Exposition de 1889. L'induit est un anneau Gramme qui enveloppe les inducteurs, et dont toutes les spires, mises à nu sur la circonférence extérieure, constituent directement le collecteur sur lequel frottent les balais. Cet anneau est monté en

porte à faux sur des bras réunis à l'axe de rotation; les balais sont portés par une étoile à collier qui permet de les déplacer ensemble de manière à chercher la position de meilleur réglage.

Dans la machine en question, marchant à la vitesse de 100 tours, l'anneau a 3 m. 20 de diamètre, ou environ 10 mètres de circonférence. Les inducteurs excités en dérivation ont 10 pôles situés en face des fils intérieurs de l'anneau et 10 balais accouplés en deux séries de cinq. Le courant produit est de 1400 ampères sous 500 volts, ce qui correspond à une puissance électrique de 700 kilowatts. L'anneau seul pèse 9 tonnes.

Une disposition analogue se retrouve dans les machines Edison multipolaires à pôles extérieurs, où les fils de l'anneau sont à nu sur une face latérale pour la prise du courant par les balais. Deux dynamos de ce type, montées symétriquement de part et d'autre d'une machine à vapeur à triple expansion de 400 kilowatts, avaient 12 aimants de champ, des anneaux de 2 m. 50 de diamètre et marchaient à la vitesse de 100 tours; elles servaient à alimenter 7500 lampes de 16 bougies.

Le régime de 120 volts est habituellement adopté pour les dynamos à courants continus destinées, sur les réseaux d'étendue modérée, à l'éclairage par incandescence et aux petites forces motrices. Quand les lignes sont plus longues, et surtout pour les applications purement mécaniques, on a recours à des forces électromotrices plus élevées; la tendance générale est de construire ces machines pour le régime de 500 volts.

Il est manifeste que les frais de canalisation diminuent, à mesure que la force électromotrice augmente, mais on rencontre en même temps les difficultés d'isoler les fils, soit sur la machine elle-même, soit sur le réseau de distribution. Il paraît bien reconnu aujourd'hui que, pour une même différence moyenne de potentiels, les courants continus s'isolent moins facilement que les courants alternatifs. Les isolants s'altèrent d'une manière permanente par électrolyse, lorsque la direction des courants est invariable, même si l'on prend le soin d'intervertir de temps en temps leur direction, tandis qu'ils résistent mieux aux effets de sens contraires, produits par les courants alternatifs. La limite maximum de 500 volts, adoptée par la plupart des constructeurs, paraît donner toute satisfaction et représente le résultat pratique d'une longue expérience.

Quand il s'agit d'un transport de force électrique, tel que la traction des voitures, cette différence de potentiel peut être directement appliquée à des moteurs appropriés. Pour les lampes à incandescence, dont le ré-

gime ne dépasse guère 120 volts, on a recours à la distribution par 3 ou 5 fils, qui permet d'utiliser sur chaque groupe de lampes la moitié ou le quart de la différence totale des potentiels.

Comme les différentes paires de conducteurs ne sont pas également utilisées, il est alors nécessaire d'avoir recours à des organes spéciaux pour répartir la charge uniformément. Tel est le but d'une machine quadruple de la maison SIEMENS ET HALSKE. Quatre dynamos à courant continu, montées sur le même arbre, sont intercalées dans les intervalles successifs des 5 fils de la canalisation. Ces dynamos ont pour objet d'élever ou d'abaisser la différence de potentiel de deux des fils, suivant l'intensité et le sens de l'aimantation dans les inducteurs. On conçoit aisément que des lampes placées en dérivation sur les fils de sortie permettent de régler l'action des différents anneaux, et de rétablir l'équilibre troublé par la charge inégale des réseaux correspondants. Cette disposition ne paraît pas se répandre beaucoup dans la pratique.

La COMPAGNIE ÉLECTRIQUE MATHER exposait une machine de forme originale où l'armature de l'inducteur à deux pôles est courbée en arc de cercle terminé par deux mâchoires, de manière à constituer avec l'anneau induit une sorte de tore interrompu seulement par l'entrefer. Ce mode de construction paraît avantageux pour diminuer autant que possible la perte extérieure des lignes de force magnétiques, mais il est moins simple que l'enroulement des bobines cylindriques, et il ne paraît pas démontré que l'on retrouve une compensation suffisante dans l'économie des courants d'excitation.

Une disposition analogue est employée par l'UNION COMPANY. Les inducteurs ont aussi la forme d'un tore, mais les deux moitiés sont parcourues par le courant en sens contraires, de façon à produire deux pôles opposés aux extrémités d'un même diamètre, disposition analogue à celle des machines du type dit *Manchester*.

Les autres machines dont nous avons maintenant à parler présentent des caractères communs, et semblent indiquer une tendance générale de tous les constructeurs vers la même forme.

L'inducteur est multipolaire, avec un nombre de pôles variable suivant la puissance de la machine; les électro-aimants sont montés radialement à l'intérieur d'un cadre polygonal ou circulaire. L'anneau induit est cylindrique avec un enroulement Gramme ou un tambour; il ne semble pas que le choix entre ces deux systèmes ait d'autre motif que la facilité de

construction ou les dimensions de l'anneau. L'armature intérieure est constituée par des plaques minces de fer isolées au moyen de feuilles de papier ou même de lamelles de mica.

Le plus souvent, par une sorte de retour à la forme primitive de Pacinotti, ces plaques de tôle sont échancrées sur leur bord par des entailles de forme circulaire ou polygonale, dans lesquelles passent les barres de cuivre servant de conducteurs, qui affleurent à la circonférence primitive ou en sont très rapprochées, après quoi, on fait les soudures de jonction. L'encastrement des barres de cuivre dans la tôle les maintient solidement sans qu'il soit nécessaire de les fretter; on peut ainsi diminuer l'entrefer d'une manière notable et par suite le nombre d'ampères-tours du courant inducteur.

Les différentes sections du fil induit sont réunies aux touches d'un collecteur Gramme isolé au mica, et les balais sont en nombre égal à celui des pôles, ou en nombre moindre suivant le genre de connexions. La densité du courant est toujours voisine de 3 ampères par millimètre carré de section dans l'induit, et inférieure à 2 ampères dans les inducteurs. L'excitation est faite en dérivation et dans la plupart des cas avec un enroulement compound.

La COMPAGNIE ÉLECTRIQUE MATHER, par exemple, avait une machine à 4 pôles de 125 kilowatts et 500 volts, marchant à 550 tours, une autre à 6 pôles de 225 kilowatts à 410 tours.

Dans la COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE, on trouvait également des machines à 4 ou 6 pôles de diverses puissances, à 120 volts environ, pour l'éclairage direct des lampes à incandescence. Les machines pour stations centrales de tramways fonctionnent à 500 volts; leur puissance est habituellement de 200 à 500 et même 800 chevaux.

Pour le service des trains du chemin de fer intramural dans l'Exposition, on avait installé une des plus grandes machines qui aient sans doute été construites. Elle a 12 pôles, avec 6 balais en charbon par pôle, et fournit un courant de 2500 ampères sous 550 volts, c'est-à-dire une puissance électrique disponible voisine de 2000 chevaux. L'anneau a 5 mètres de diamètre et pèse 34 tonnes; il marche à la vitesse de 75 tours.

La COMPAGNIE WESTINGHOUSE construit aussi plusieurs types de machines multipolaires à courant continu, pour stations centrales de moteurs, dont la puissance varie de 100 à 700 chevaux. L'induit est du type Siemens avec enroulement en tambour et les inducteurs excités en dérivation com-

posée. La vitesse, suivant les types, diminue de 700 à 360 tours à mesure que la puissance augmente.

#### ALTERNATEURS.

L'emploi des courants alternatifs se développe très rapidement, sans doute parce qu'ils permettent de réduire l'intensité moyenne sur la canalisation, avec des forces électromotrices beaucoup plus élevées, et de diminuer dans une proportion encore plus grande la section des conducteurs, c'est-à-dire les dépenses de cuivre.

Si l'on veut, par exemple, que la perte de charge en ligne reste la même, la section du fil doit être, toutes choses égales, en raison inverse du carré de la force électromotrice.

En outre, les diverses solutions connues depuis quelques années pour le transport de l'énergie par les courants alternatifs donnent à ces appareils un nouvel intérêt; il en existe déjà des applications importantes, par exemple l'éclairage de la ville de Portland (Orégon), qui est produit par des machines situées à la distance de 13 milles. Les efforts tentés par tous les constructeurs prouvent suffisamment que l'industrie a une tendance manifeste à entrer dans cette voie.

La COMPAGNIE BRUSH avait un alternateur de 2000 volts et 90 ampères pour servir, après transformation, à alimenter 3000 lampes à incandescence sur la canalisation. L'induit est formé par 10 bobines plates montées sur une couronne fixe; l'inducteur est mobile et comprend 20 électro-aimants portés par des anneaux situés latéralement, de part et d'autre de l'induit.

Pour le même usage, la COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE avait des alternateurs Thomson-Houston de 60 à 300 kilowatts, fonctionnant au voisinage de 1600 volts. Les bobines induites sont montées sur un anneau extérieur, et les électro-aimants disposés suivant les rayons d'une étoile centrale entraînée par l'arbre moteur. Le nombre des pôles et, par suite, celui des bobines induites varie de 10 jusqu'à 40, et le nombre des périodes de 3600 à 20,000.

L'excitation est composite, en ce sens qu'une partie du courant principal, redressée par un collecteur, traverse un fil d'enroulement sur les inducteurs, de manière à graduer l'intensité du champ magnétique.

On trouvait aussi dans la COMPAGNIE WESTINGHOUSE des alternateurs

simples, généralement de faible puissance, à excitation composite, fournissant des courants à 2000 volts disponibles dans la canalisation, en tenant compte d'une perte de 10 p. 100 sur la ligne, avec 3600 à 4000 alternances, pour allumer directement des arcs en série ou entretenir des lampes à incandescence après transformation.

Plusieurs autres Compagnies, dont la fabrication paraît moins importante, avaient de nombreuses machines dignes d'attention, soit pour les courants continus, soit pour les courants alternatifs, mais il serait trop long et sans grand intérêt de les passer en revue.

### MACHINES A COURANTS POLYPHASÉS.

L'emploi des courants alternatifs pour le transport de la force motrice est en grande faveur. Si l'on a recours à un courant unique, il ne semble pas que l'on ait trouvé encore le moyen réellement pratique de faire démarrer les moteurs d'eux-mêmes et l'on doit d'abord les mettre en marche par des moyens auxiliaires. Dès qu'ils ont atteint une vitesse convenable, leur mouvement s'entretient, soit à un régime déterminé, soit à régime variable, suivant leur mode de construction. Le travail produit est lié à la différence de phase, ou au décalage du moteur synchrone dans le premier cas, et à sa vitesse dans le second.

Quand on utilise, au contraire, plusieurs courants de phases différentes, on produit sur les moteurs des champs magnétiques tournants qui entraînent les induits dans un sens déterminé et les entretiennent à une vitesse qui dépend du travail correspondant.

Les champs tournants s'obtiennent soit par deux courants égaux dont la différence de phase est de 90 degrés et qui animent séparément deux systèmes d'inducteurs orientés à angle droit, soit par trois courants dont les différences de phase successives sont de 60 degrés et qui animent des systèmes d'inducteurs inclinés l'un sur l'autre du même angle, soit d'une manière générale par une série de courants alternatifs dont les différences de phase et les inducteurs correspondants suivent une loi analogue.

L'intensité du champ tournant est simplement proportionnelle au nombre des courants alternatifs, quelle que soit la disposition adoptée, et la période de rotation du champ est la même que celle des courants alternatifs. A ce point de vue, l'énergie dépensée sur le moteur pour produire un champ déterminé est la même dans tous les cas, mais les pertes en ligne



et les dépenses d'installation croissent avec le nombre des conducteurs; il y a donc intérêt à les réduire.

Les courants biphasés exigent 4 fils, si l'on veut du moins que ces conducteurs soient équilibrés; ils présentent alors l'avantage que leurs circuits restent distincts et que les propriétés du champ produit ne varient pas d'une manière sensible quand il survient de petits changements dans l'intensité de chacun des courants ou dans leur différence de phase.

Avec les courants triphasés, il suffit, au contraire, de trois fils qui peuvent être utilisés de deux manières différentes, suivant que l'on établit les connexions en triangle ou en étoile.

Dans le premier cas, les forces électromotrices de la machine primaire se comportent comme si elles agissaient séparément sur les trois côtés du triangle équilatéral dont chacun porte en même temps des organes d'utilisation, lampes ou inducteurs des moteurs.

La somme algébrique des forces électromotrices étant toujours nulle, on peut les faire agir sur les trois branches d'une étoile dont le point de jonction communique au sol; ces branches se prolongent du côté opposé par les fils de ligne jusqu'aux appareils de réception, et prennent de nouveau contact avec le sol de la même manière.

Dans l'emploi de trois fils, on voit aisément que toute modification survenue sur l'un d'eux réagit sur les autres, et le jeu électrique n'est satisfaisant que si l'on réalise une symétrie complète du système.

C'est là un inconvénient très sérieux, quand on utilise les courants triphasés pour l'éclairage, parce que les lampes devraient être disposées de manière que les trois fils soient toujours également chargés; la difficulté n'existe pas pour les moteurs, car la symétrie est alors réalisée par le seul fait de la construction.

La bonne marche des moteurs exige en outre que le champ ne tourne pas trop vite, et les conditions de construction s'appliqueraient mal à des forces électromotrices trop élevées. On est ainsi conduit à réduire beaucoup le nombre des périodes des courants alternatifs et à faire usage de transformateurs pour élever les potentiels sur la ligne et les abaisser au point d'utilisation.

La COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE emploie les courants triphasés et les jonctions par trois fils en étoile. -

Dans l'une des machines exposées, de 50 chevaux environ, les courants sont induits dans trois systèmes de bobines montées sur une couronne fixe

et séparées de proche en proche par le tiers de l'intervalle angulaire compris entre deux pôles de signes contraires. Les inducteurs sont formés par 10 électro-aimants montés en étoile et marchant à la vitesse de 750 tours par minute, ce qui donne 62,5 périodes par seconde. Les courants, d'abord à 500 volts, sont portés par trois transformateurs à 2000 volts pour la transmission sur la ligne, puis réduits de nouveau par d'autres transformateurs à la pression de 110 volts avant d'être utilisés dans les lampes ou dans les moteurs.

La COMPAGNIE WESTINGHOUSE exploite les procédés de M. Tesla et fait surtout usage de courants biphasés. Parmi les nombreux modèles de cette Compagnie, nous citerons en particulier les 12 grandes dynamos installées dans le Palais des Machines et utilisées, soit pour contribuer à l'éclairage général, soit pour actionner différents appareils du Palais de l'Électricité. Ce sont en réalité des machines doubles comprenant deux couronnes fixes en fonte, dans lesquelles les noyaux des électro-aimants, formés de tôle de fer, ont été encastrés pendant la fusion; ces électro-aimants, au nombre de 36, rayonnent vers le centre. Les deux induits sont montés sur l'arbre de rotation, et portent chacun le même nombre de bobines. Les aimants de champ étant parallèles entre eux sur les deux couronnes, il suffit que l'un des induits soit décalé par rapport à l'autre de la moitié de l'intervalle de deux bobines successives, pour que les courants induits présentent la différence de phase de 90 degrés.

Les aimants de champ sont excités par un courant continu auxiliaire; en outre, une fraction du courant induit, dont la tension est abaissée par un transformateur, passe par un commutateur qui le redresse et aboutit ensuite aux inducteurs pour constituer une excitation composite.

La vitesse est de 200 tours par minute, ce qui donne 60 périodes par seconde, et les courants sont produits directement à 2000 volts. Ces dynamos, dont la puissance est de 1000 chevaux, peuvent alimenter 15,000 lampes de 16 bougies. Les unes sont attelées directement aux machines à vapeur et les autres commandées par courroies.

Une autre génératrice de 500 chevaux à 6 pôles est disposée de manière à produire à volonté des courants continus ou des courants biphasés, ou à transformer les uns dans les autres.

La Compagnie Westinghouse entreprend aujourd'hui pour les chutes du Niagara des machines de 5000 chevaux à axe vertical, construites pour produire des courants biphasés à 2000 volts et 25 périodes par seconde.

La couronne d'inducteurs doit être mobile, de manière à constituer en même temps le volant des turbines et à compenser en partie l'effet centrifuge par l'attraction exercée sur les induits. C'est une expérience gigantesque dont les résultats seront suivis avec le plus vif intérêt.

#### MOTEURS A COURANTS CONTINUS.

Les moteurs électriques servent aujourd'hui à un nombre d'usages pour ainsi dire illimité. La transmission de la puissance motrice, en vue d'alimenter le travail des usines par des chutes hydrauliques ou des machines à vapeur situées à grande distance, n'est pas le problème principal, car l'ensemble des moteurs de toute espèce employés pour les usages privés ou les petites industries et les moyens de transport constitue une somme de travail beaucoup plus élevée.

Aux États-Unis, en particulier, partout où existe une canalisation électrique destinée à l'éclairage, on utilise les moteurs électriques d'une manière courante pour actionner les appareils les plus variés. Tels sont les ventilateurs si répandus dans les maisons d'habitation, les hôtels, les salles publiques et les ateliers pendant les mois de grande chaleur; les ascenseurs, dont la vitesse est un étonnement pour les étrangers; les presses d'imprimerie, les machines-outils, les machines à coudre et tout ce matériel de faible puissance correspondant à ce qu'on appelle ici l'*industrie de Paris*. Dans les ateliers de construction, la transmission du travail par l'électricité prend une telle extension que certaines fabriques n'ont plus de courroies; la méthode s'applique avec plus d'avantages encore aux appareils mobiles, tels que les grues et les ponts roulants. On peut ainsi prévoir l'époque où les arbres de commande, les poulies, les chaînes et les courroies disparaîtront en grande partie des ateliers.

L'application la plus importante est l'industrie des transports. Les tramways électriques ont pris dans l'Amérique du Nord un développement incomparable. On les trouve dans toutes les villes, soit pour le trafic intérieur, soit surtout pour les communications avec les quartiers suburbains, ainsi que dans les communes de faible population; on les utilise même pour les grandes distances, de ville à ville, à tel point qu'ils font une concurrence sérieuse aux Compagnies de chemins de fer et que, sur certaines lignes de grand trafic, ces Compagnies ont été amenées à invoquer les privilèges d'une concession antérieure pour élever des réclamations contre

l'usage des routes par les entreprises de tramways. La distance de 400 kilomètres qui sépare Saint-Louis de Chicago ne tardera pas à être franchie par un service de voitures électriques. L'installation, commencée depuis quelques mois par deux stations de 10,000 chevaux dans les villes intermédiaires de Fairbury et Edimburg, se propage de part et d'autre dans la direction des deux grandes cités. Le service doit être consacré au transport des voyageurs pendant la journée et des marchandises pendant la nuit; il utilise déjà plus de 600 voitures.

Une statistique générale est assez difficile à établir, puisqu'elle change chaque jour, mais on peut estimer sans exagération qu'il existe aujourd'hui aux États-Unis environ 8000 kilomètres de tramways électriques et 500 lignes en exploitation régulière desservies par plus de 12,000 véhicules. Une telle industrie mérite qu'on s'y arrête davantage.

Jusqu'à présent du moins, l'emploi des accumulateurs sur les voitures elles-mêmes ne paraît pas avoir donné de résultats satisfaisants. L'énergie électrique se produit dans des stations centrales et les voitures motrices l'utilisent au cours de route.

Des essais nombreux ont été faits également pour transmettre les courants électriques par des canalisations situées dans des rigoles souterraines où le contact pourrait être pris pendant la marche; mais là encore, le prix élevé des travaux, la difficulté d'isoler ces fils, de les protéger dans leurs conduites contre l'eau ou la boue des rues ou l'encombrement des neiges, sont autant de problèmes qui n'ont pas reçu de solution pratique.

En fait, le courant est transmis par un fil aérien, sur lequel la voiture roulante prend contact, et le circuit se ferme par la terre au moyen des rails; c'est le système généralement adopté. On doit reconnaître cependant que ces conducteurs aériens parcourus par des courants intenses au potentiel de 500 volts ne sont pas sans offrir des dangers pour les passants, en cas de rupture, et que le grand nombre des attaches forme un enchevêtrement de fils difficilement acceptable dans les rues très fréquentées. Certaines villes, telles que New-York, Washington et Chicago, n'autorisent pas la pose des fils électriques dans les quartiers du centre, mais beaucoup d'autres n'y trouvent pas d'inconvénients sérieux. En tout cas, la difficulté n'existe pas au même degré pour les voies suburbaines ou les routes de campagnes.

Il faut d'abord assurer l'isolement des lignes aériennes, la communication des rails avec le sol et la prise de courant pendant la marche. Les

conducteurs de ligne sont habituellement en cuivre rouge de 8 à 10 millimètres de diamètre; ils sont tendus au-dessus de la rue à 5 ou 6 mètres de hauteur, soit par des potences en fer, soit par des fils d'acier attachés de part et d'autre à des poteaux en bois, fer ou fonte. La suspension des fils aux points d'attache est disposée de manière que la face inférieure reste libre et rectiligne, pour éviter les ressauts du frotteur. Ces conducteurs sont portés par des godets en porcelaine, qui sont eux-mêmes réunis par des pièces isolantes aux fils de tension, et ceux-ci sont également attachés aux supports au moyen d'anneaux de porcelaine; on réalise ainsi un triple isolement.

La communication électrique des rails entre eux n'est pas suffisamment assurée par les bandes d'écussage; on y ajoute des fils de cuivre soudés aux rails successifs ou même des fils réunissant en croix les deux rails de la voie. Dans certains cas où il est nécessaire que la communication avec le sol ne soit pas interrompue pendant les réparations, on place entre les deux voies un câble sous terre réuni de distance en distance aux fils de jonction des rails.

La prise de courant se fait par un appareil dit *trolley*, ou rouleur. Une sorte de bras, généralement en bois flexible, est monté sur le toit de la voiture motrice. Il peut tourner autour d'un axe horizontal, et il est sollicité par deux ressorts antagonistes, qui tendent à le ramener dans la position verticale, quel que soit le sens de son inclinaison. Le bras du *trolley* se termine par une roulette en bronze à grande collerette qui s'appuie constamment sur le fil de ligne.

Nous n'insisterons pas sur les dispositions qui permettent au *trolley* de s'incliner latéralement dans les voies courbes, ni sur les jonctions des conducteurs pour les voies de croisement ou les ponts tournants; il se produit dans certains cas des interruptions de courant momentanées, mais les voitures franchissent aisément ces passages par leur vitesse acquise.

Les moteurs de différents systèmes sont de 20 à 60 chevaux, avec des balais en charbon, et enfermés dans une coquille de fonte qui constitue le circuit magnétique des inducteurs et les protège en même temps contre la poussière et la boue. La dynamo est quelquefois attelée directement sur l'axe des roues, mais, dans la plupart des cas, la transmission du mouvement se fait par des engrenages ou des vis sans fin, noyés dans un bain d'huile pour obtenir un graissage continu.

S'il n'existe qu'un moteur, on a recours à des résistances auxiliaires ou

à une variation du nombre des spires utilisées dans les inducteurs pour modérer le courant au démarrage et régler l'intensité pendant la marche.

Lorsque l'équipage porte deux moteurs, on les met en tension avec des résistances au départ; le réglage se fait ensuite par le changement des résistances, la mise des moteurs en quantité et la variation du nombre des spires dans les inducteurs.

La COMPAGNIE SPERRY n'emploie qu'un moteur, dont l'axe est parallèle à la longueur du chariot; il est suspendu au châssis par des ressorts et agit sur les essieux par des roues d'angle à l'aide de communications flexibles. La carcasse porte 4 pôles, 2 électro-aimants et 2 points conséquents. Les courants peuvent varier de 10 à 80 ampères.

La COMPAGNIE BRUSH a plusieurs types de moteurs à 4 ou 6 pôles, dont la moitié est formée de points conséquents. Le mouvement est transmis aux essieux soit par une vis sans fin, soit par des engrenages disposés de manière à empêcher les trépidations de se transmettre aux organes électriques, soit même en employant pour l'anneau mobile un axe creux qui traverse l'essieu des roues, la liaison étant faite par un joint élastique.

Le dernier type du système Short, qui prend de 15 à 110 ampères, est construit pour une vitesse de 10 milles à l'heure, vitesse qu'il dépasse sur les voies suburbaines.

Les cars électriques de la COMPAGNIE WESTINGHOUSE ont 2 moteurs à 4 pôles, de 25 à 30 chevaux chacun, suspendus par des ressorts et dont le mouvement est transmis aux essieux avec réduction de 3,5 à 1 au moyen d'engrenages. On dit que la vitesse en palier peut atteindre 20 milles à l'heure, et que les voitures marchent pratiquement dans les villes à la vitesse moyenne de 12 milles, y compris les arrêts.

La COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE a également différents modèles de moteurs pour le service des tramways. Les plus employés sont des moteurs de 20 chevaux à 4 pôles, dont 2 conséquents, qui transmettent le mouvement aux essieux par des engrenages.

Les trains du chemin de fer intramural étaient, à l'Exposition, conduits par des voitures motrices, munies chacune de 2 moteurs à 4 pôles, de 125 chevaux, avec transmission aux essieux par engrenages. Le courant, amené par un troisième rail isolé, arrivait aux machines au moyen de sabots frotteurs, pour aboutir au sol par les rails de roulement. Un appareil, dit *contrôleur*, permettait au mécanicien de régler la marche en mettant les 4 moteurs du train en tension ou en quantité. Dans une circonstance par-

ticulière, le *Railroad day*, où l'Exposition renfermait un grand nombre de visiteurs intéressés aux questions de transports, on a voulu donner une idée de la puissance des tramways électriques. Le train du chemin de fer intramural comprenait 8 voitures formant un poids total de 116 tonnes et occupées par 800 voyageurs dont on évalue l'ensemble à 48 tonnes. Cette masse énorme de 164 tonnes fut entraînée à la vitesse habituelle du train sur toute l'étendue de la voie, malgré la raideur de certaines courbes; le poids de la voiture motrice est de 22 tonnes.

Il n'y a pas loin de là à l'idée de transformer la voiture qui porte les moteurs en une véritable locomotive, en augmentant la puissance des organes et le poids total, afin d'obtenir plus d'adhérence sur les rails et un plus grand effort de traction.

Parmi les essais réalisés dans cette voie, nous citerons encore une locomotive construite en vue de l'Exposition par la COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE. Cette machine, portée par 4 roues, avait été conçue pour peser 30 tonnes, marcher à la vitesse de 30 milles à l'heure (48 kilomètres) avec un effort de traction évalué à 12 tonnes; elle pesait en réalité 27 tonnes. On eut alors l'idée assez originale de profiter du même jour d'affluence de visiteurs compétents, pour faire lutter cette locomotive électrique avec une locomotive à vapeur de la Compagnie Baltimore et Ohio, pesant 64 tonnes. L'avantage resta, il est vrai, à la locomotive à vapeur dans les efforts de traction ou de pression, ce qui s'explique aisément par l'excès de son poids, mais le seul fait qu'une pareille épreuve ait été provoquée suffit pour faire comprendre l'importance des progrès accomplis dans la traction électrique.

L'exposition de cette Compagnie montrait un exemple intéressant des différentes formes dans lesquelles l'électricité permet d'utiliser successivement une quantité primitive de travail. Le courant est emprunté d'abord à une canalisation dont l'énergie disponible provient déjà de foyers à pétrole, de la vapeur produite, de la machine à vapeur et d'une dynamo génératrice. Il met en marche un moteur de 66 kilowatts (300 ampères sous 220 volts), lequel est attelé à une pompe qui comprime de l'eau à la pression de 30 atmosphères. Le liquide comprimé agit sur une roue hydraulique Pelton, laquelle commande une dynamo à courants triphasés, où l'on retrouverait encore une puissance de 35 kilowatts. Ces courants triphasés subissent alors deux nouvelles transformations, l'une avec surélévation de la différence de potentiel pour la transmission en ligne,

l'autre avec réduction, soit pour l'éclairage direct, soit pour actionner de nouveaux moteurs, et l'on pourrait continuer cette série. Il est clair que le travail utile diminue à chacun des passages par les frottements ou la chaleur perdue sur place, mais les transformations mécaniques seraient loin de présenter la même économie.

Pour commander un perforateur à percussions, la même Compagnie employait une sorte de machine Gramme, disposée de manière à produire des courants interrompus de forme ondulatoire et dont le sens reste invariable. Les inducteurs étant excités par un courant continu, et l'anneau mis en mouvement, les balais tournent en même temps sur le collecteur avec une vitesse quelconque. On voit aisément que le courant, recueilli par les balais, est maximum quand ils occupent leur position normale et change de signe dans un azimut perpendiculaire au premier, mais alors un commutateur les redresse de façon que leur direction soit constante dans le circuit extérieur.

Une application purement électrique des moteurs consiste à les utiliser comme transformateurs de courants, soit avec deux machines montées sur le même arbre ou reliées par une transmission quelconque.

La COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE avait, par exemple, un moteur-générateur qui reçoit un courant extérieur à 85 volts et restitue un autre courant à 125 volts. L'anneau porte deux enroulements distincts et deux systèmes de collecteurs avec leurs balais. On peut même n'employer qu'un seul enroulement sur l'anneau induit, en conservant les deux systèmes de balais. Les uns appuient sur le collecteur ordinaire de Gramme et amènent le courant moteur; les autres sur deux bagues continues réunies à deux points de l'anneau et recueillent un courant alternatif.

Dans l'exposition de la SOCIÉTÉ GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE de Berlin se trouvait un moteur de 100 chevaux à 4 pôles, avec inducteurs en dérivation, alimenté par un courant de 150 ampères sous 500 volts, et marchant à la vitesse de 620 tours. Il présentait une particularité intéressante, l'emploi de résistances liquides pour le démarrage. Ce moteur servait à conduire une génératrice de courants triphasés.

La COMPAGNIE WESTINGHOUSE présentait aussi différents modèles de moteurs transformateurs. Dans ces machines, qui sont parfois de grande puissance, le mouvement est entretenu, comme on le verra plus loin, par des courants biphasés, et une dynamo ordinaire, montée sur le même arbre, restitue des courants continus.



## MOTEURS A COURANTS ALTERNATIFS.

On est ici en présence d'une industrie toute nouvelle, qui paraît avoir un grand avenir, si l'on en juge par le nombre et la variété des types exposés. Les applications pratiques sont encore très restreintes, et les industriels semblent montrer quelque hésitation à entrer dans cette voie, mais la confiance des constructeurs ne tardera pas à s'imposer.

L'une des méthodes consiste à exciter le champ d'un moteur par des courants alternatifs et l'armature mobile par un courant continu, ou, d'une manière inverse, les aimants du champ par un courant continu et l'armature par un courant alternatif. L'action moyenne du champ sur la bobine ne donne alors un couple moteur résultant que si la période de rotation est la même que celle des courants d'excitation; le moteur est dit *synchrone*, et le travail utile varie avec la différence de phase qui existe entre ces deux grandeurs périodiques. La mise en marche exige donc que l'on ait à sa disposition un moteur auxiliaire qui lance l'appareil à vitesse convenable et une source à courant constant pour l'excitation. La machine, une fois en marche synchrone, peut même utiliser les courants alternatifs de ligne par un commutateur qui les redresse, et s'alimenter ainsi sans autre secours étranger qu'au moment du démarrage.

Dans l'un des appareils de la COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE par exemple, l'arbre du moteur porte une dynamo que l'on excite d'abord par une source auxiliaire, telle que des accumulateurs. L'armature étant ainsi lancée à une vitesse supérieure à celle de son régime, la dynamo est employée comme génératrice pour exciter le champ du moteur, et le courant alternatif est lancé dans l'armature. La vitesse diminue et se maintient ensuite au synchronisme.

Pour rendre cette manœuvre plus régulière, on fait usage d'un organe spécial dit *ronfleur*. Ce sont deux sortes de téléphones grossiers, que l'on met en relation par l'intermédiaire de petits transformateurs, au moment où la vitesse est supérieure au régime normal, l'un avec le courant de ligne et l'autre avec l'armature du moteur. Le son de ce dernier téléphone est d'abord trop élevé, mais il baisse peu à peu et ne tarde pas à produire des battements de plus en plus écartés. On est alors très près du synchronisme et on établit les communications définitives.

La nécessité d'un courant continu auxiliaire n'est pas un grand inconvé-

nient, puisque le moteur fournit aisément le travail nécessaire pour rétablir ensuite la charge des accumulateurs.

La COMPAGNIE WESTINGHOUSE avait également des moteurs synchrones de M. Tesla, dont une application de 100 chevaux fonctionne actuellement, paraît-il, au Colorado. Dans ces appareils, la mise en marche se fait au moyen d'un petit moteur auxiliaire à courants alternatifs et la machine principale se suffit à elle-même dès que le synchronisme est atteint.

M. ELIHU THOMSON avait déjà montré à l'Exposition de 1889 des moteurs dont la vitesse, après un départ fait à la main, croît rapidement quand le courant alternatif excite les inducteurs et passe en même temps dans l'induit mobile par des balais à touches. A partir d'un certain régime, les bobines induites peuvent être fermées sur elles-mêmes et le mouvement s'entretient à vitesse variable suivant l'importance du travail.

Les moteurs à courants alternatifs simples ont le grand avantage d'emprunter l'énergie à deux fils de ligne seulement, et de pouvoir se greffer sans difficulté sur un réseau qui sert à d'autres usages. Le synchronisme n'est pas un obstacle sérieux lorsque les moteurs doivent marcher sans interruption, mais il se prête mal aux applications courantes où le travail est discontinu. Toutefois de nombreux essais ont été faits pour obtenir des moteurs à courants alternatifs dont la mise en train est assurée par une disposition particulière des circuits; les succès obtenus déjà paraissent assez encourageants pour que de bons esprits croient que c'est là que se trouve la véritable solution pour l'avenir.

En attendant la réalisation des progrès encore nécessaires, l'intérêt se porte surtout aujourd'hui sur les appareils à courants polyphasés et champs tournants, dans lesquels le couple moteur est dû à l'action réciproque du champ et des courants induits par suite du déplacement relatif des organes.

Les bobines, dont le mode d'enroulement et de construction présente d'assez grandes variétés, équivalent, au point de vue théorique, à un cadre ou une série de cadres conducteurs fermés.

Le couple moteur a une valeur notable au départ et le démarrage se fait sans difficulté. Les courants induits sont même alors d'une telle intensité, qu'ils pourraient produire un échauffement dangereux; on les réduit par l'introduction de résistances auxiliaires, supprimées successivement à mesure que la vitesse augmente. La disposition de ces résistances et de leurs jonctions est encore particulière à chaque constructeur. Enfin la puissance motrice croît d'abord avec la vitesse, passe ensuite par un maximum et s'an-

nule pour une vitesse de rotation égale à celle du champ tournant. Comme la meilleure utilisation a lieu pour des vitesses voisines de celle du champ et qu'il faut pouvoir les atteindre pratiquement, sans danger pour les organes mécaniques, il en résulte que la fréquence des courants alternatifs ne doit pas être trop grande; on s'est arrêté au moins provisoirement aux environs de 60 périodes par seconde.

La COMPAGNIE WESTINGHOUSE exposait plusieurs moteurs de puissance moyenne, dont le champ était excité par des courants alternatifs biphasés à 100 volts, déduits par des transformateurs de courants primitifs à 2000 volts. Dans les petits moteurs, l'échauffement au démarrage est assez faible pour qu'il ne soit pas nécessaire d'avoir recours à l'emploi de résistances.

La réaction, qui s'exerce entre les électro-aimants et l'anneau induit, tend à faire tourner ces deux organes en sens contraires; on peut donc aussi bien fixer l'anneau induit et rendre mobiles les aimants de champ. C'est ce qui a été réalisé dans un moteur de 500 chevaux à courants biphasés, où les résistances auxiliaires sont en charbon. Le courant induit est d'environ 1000 ampères, quand le moteur marche à pleine charge, et peut atteindre 3600 ampères sans danger de détérioration; l'ensemble des inducteurs mobiles pèse plus de 12 tonnes.

La COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE avait également une série de moteurs analogues, cette fois à courants triphasés. Les principes de construction sont les mêmes dans les deux cas; la pratique industrielle n'est pas encore assez étendue pour qu'il soit possible d'affirmer actuellement, en dehors des questions de brevets, que l'un des deux systèmes doive être préféré.

On retrouve de petits moteurs à courants triphasés, de  $1/8$  de cheval à 5 chevaux, dans l'Exposition de la SOCIÉTÉ GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE de Berlin. Une machine plus importante, de 50 chevaux (285 ampères et 115 volts), construite, comme les précédentes, d'après le système employé dans l'expérience de Francfort en 1891, était utilisée pour entraîner une dynamo génératrice à courant continu.

Signalons également les petits moteurs de MM. SIEMENS et HALSKE, ainsi que leur moteur de 70 chevaux, et surtout leur truc de voiture également à courants triphasés. Grâce à ce qu'on peut appeler la flexibilité électrique des réactions dans ce genre d'appareils, le moteur est construit pour fournir régulièrement une puissance de 20 chevaux, mais il peut être porté à 60 chevaux pendant quelques instants; la commande des essieux est faite par une vis sans fin, noyée dans l'huile. A pleine charge, la voiture marche,

dit-on, à la vitesse de 12 milles  $1/2$  à l'heure et peut être arrêtée sur sa propre longueur par le renversement des courants. Cette application très intéressante n'a été faite encore que dans les ateliers, où elle a paru donner toute satisfaction.

#### DIVERS.

Les diverses applications de l'électricité exigent l'emploi d'un grand nombre d'appareils accessoires, sur lesquels il n'y a pas lieu d'insister longuement.

Les accumulateurs ne paraissent pas en grande faveur aux États-Unis. Ils sont avantageusement remplacés dans les stations de services publics par des machines à faible dépense, et les installations privées qui pourraient y avoir recours sont relativement très rares. En fait, on ne voyait guère d'accumulateurs à l'Exposition, et les quelques exemplaires disséminés n'étaient pas de nature à attirer beaucoup l'attention; ils servaient cependant à faire marcher les petites barques ou gondoles sur les canaux intérieurs du Jackson Park.

Il n'en est pas de même pour les transformateurs. Les courants alternatifs, simples ou polyphasés, trouvent surtout leurs avantages dans l'emploi de très hautes tensions sur les fils de ligne, qui se traduit par une très grande économie de cuivre.

Dans tous les transformateurs en usage aujourd'hui, le circuit magnétique est fermé et se compose de tôles de fer minces, isolées les unes des autres pour éviter la formation des courants parasites. Les fils primaire et secondaire, enroulés sur une portion du circuit magnétique, sont isolés avec des soins spéciaux et immergés parfois dans une huile minérale. On en construit aisément de toute puissance, jusqu'à 40 kilowatts. Au delà, il paraît plus avantageux de les grouper, plutôt que de demander la transformation totale à une seule armature de fer. Les transformateurs employés par les différentes Sociétés ont aussi des formes différentes qui tiennent au mode de construction, mais les qualités qu'on leur attribue sont de même ordre, soit comme rendement, soit comme rapport de leur puissance au poids du fer et du cuivre.

Pour les stations centrales, les courants des machines sont transmis d'abord à un tableau de distribution, qui permet de les diriger sur les différentes canalisations et porte tous les instruments de contrôle. Ces tableaux sont combinés d'une manière très ingénieuse; leur description serait trop

longue sans présenter beaucoup d'intérêt. Nous remarquerons seulement l'usage général des tables en marbre blanc, pour remplacer les tables en ardoise, où se trouvent souvent des filons métallifères cachés dans la masse, qui donnent lieu à des communications électriques invisibles.

La rupture des circuits parcourus par des courants intenses produit des étincelles violentes et des arcs, capables de détruire les organes des points de jonction. Les interrupteurs les plus variés ont été imaginés dans le but d'assurer les contacts par de grandes surfaces réunies avec frottement élastique, d'introduire des résistances croissantes quand on les détache et de faire agir, au moment de la rupture, un ressort énergique qui écarte les pièces avec une grande vitesse. La COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE fait aussi fréquemment usage du souffleur magnétique de M. Elihu Thomson, au moyen duquel l'étincelle se trouve dans un champ magnétique qui la rejette brusquement en dehors des conducteurs.

Pour les moteurs à marche discontinue, comme ceux des tramways électriques, il est nécessaire d'employer des organes de distribution qui permettent d'en modifier la résistance, et, dans les cas de moteurs multiples, d'associer ces derniers en tension ou en quantité. Les résistances additionnelles sont constituées par des fils ou des lames de fer ou d'alliages peu conducteurs. Quant à la disposition des touches de contact et des manettes de commande, elle constitue un de ces problèmes courants que l'on peut résoudre d'une manière plus ou moins ingénieuse, mais qui ne présentent pas de difficultés.

Les canalisations aériennes sont exposées à des coups de foudre qui peuvent être un danger sérieux pour l'isolement des machines et le personnel de service. Nous signalerons quelques-uns des parafoudres destinés à éviter ces accidents.

La COMPAGNIE WESTINGHOUSE emploie différents systèmes. Le parafoudre *non arcing* de Wurts, pour les canalisations à deux fils, se compose de 7 cylindres métalliques à surfaces striées, montées parallèlement entre deux barrettes de marbre; les deux extrêmes sont reliés aux fils de ligne et le cylindre du milieu à la terre. Au moment du coup de foudre, les étincelles éclatent de cylindre à cylindre, sans que la vapeur métallique puisse entretenir un arc continu; on met d'ailleurs deux ou trois parafoudres semblables en série, quand la différence de potentiel des fils s'élève à 2000 ou 3000 volts.

Le parafoudre *tank*, ou à cuve, convient aux génératrices et moteurs

de tramways à courants continus. Quatre barres métalliques sont réunies successivement par trois solénoïdes à gros fil; la première communique avec la ligne, la dernière avec les machines. Au moment d'un orage, on joint séparément les trois premières barres à trois plaques en charbon qui plongent dans trois compartiments d'une cuve en zinc cloisonnée renfermant de l'eau. La dérivation ainsi établie ne dépasse pas 2 ou 3 ampères et ne peut nuire à la marche des voitures. En cas de foudre, l'induction propre dans les neuf bobines suffit pour dévier la décharge à la terre.

Le jeu des paratonnerres *keystone*, ou clef de voûte, dont le nom est emprunté à la forme de l'appareil, est produit par la dilatation de l'air d'un espace clos dans lequel éclate une étincelle. Une boîte en marbre, qui ressemble à une clef de voûte renversée, renferme les deux plaques d'un parafoudre ordinaire à peigne. Deux charbons courbes, reliés l'un à la ligne et l'autre à la terre, sont portés par des bras sur deux charnières latérales, et s'appuient respectivement sur les mâchoires du peigne; ils pénètrent ainsi dans la boîte par des ouvertures qu'ils ferment incomplètement, au moyen de disques formant clapet. Au moment d'un coup de foudre, l'étincelle produite sur le peigne, augmentée par la décharge du courant lui-même, produit une dilatation brusque de l'air, qui projette les charbons sur un buttoir; le circuit étant rompu, l'arc s'éteint, puis les charbons retombent à leur position primitive, et l'appareil est prêt pour recevoir une nouvelle décharge.

Différentes compagnies emploient des parafoudres à fils fusibles, avec ou sans projections des décharges, mais, quelles que soient les précautions prises pour remplacer les fils automatiquement, ces appareils ont l'inconvénient de se détruire par l'usage et d'exiger une inspection fréquente.

Le parafoudre de M. ELIOT THOMSON est une application du souffleur magnétique. Le courant de ligne traverse un électro-aimant dans le champ duquel se trouvent deux plaques conductrices reliées l'une à la ligne, l'autre à la terre. Une décharge accidentelle entre ces plaques est éteinte par le champ magnétique.

Dans l'exposition de SIEMENS et HALSKE se trouve un appareil destiné à enregistrer le nombre des coups de foudre qui ont frappé un conducteur.

Les appareils à signaux ou à mouvements automatiques, employés pour l'ouverture ou la fermeture des portes, les caisses de sûreté avec avertisseurs, les sonneries d'appel, les avertisseurs d'incendie, etc., présentent naturellement la plus grande variété, mais ils n'ont pas beaucoup d'intérêt

au point de vue électrique. Bornons-nous à signaler la boîte de signaux de la SOCIÉTÉ GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE de Berlin, pour annonces de trains dans les gares. Une sonnerie marche 15 minutes avant le départ d'un train. En même temps, l'appareil montre une affiche en grosses lettres indiquant la voie et la destination du train; la sonnerie se fait entendre de nouveau 5 minutes après, à titre d'avertissement. Ce système est en usage à Berlin.

L'éclairage électrique proprement dit ne donne pas lieu non plus à beaucoup d'observations.

Le nombre des systèmes de régulateurs à arc, pour courants continus ou alternatifs, est aujourd'hui tellement grand qu'une simple énumération serait difficile, et nous n'avons pas vu qu'aucun de ceux qui étaient exposés eût, comme principe, un caractère véritable de nouveauté.

Il serait peut-être opportun de faire ici quelques réserves sur les valeurs indiquées comme pouvoir éclairant. Les Américains paraissent admettre qu'un arc de 9 à 10 ampères vaut 2000 bougies ou 200 lampes Carcel, et chacun donne le même chiffre sans hésitation. D'autre part, le grand projecteur de 4 pieds de diamètre, installé par la maison SCHUCKERT sur le Palais des Manufactures, fournissait, dit-on, suivant l'axe du faisceau, une intensité lumineuse supérieure à 400 millions de bougies, et le projecteur de même dimension exposé par la COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE n'aurait pas une puissance moindre, avec un courant de 150 ampères. Ce sont là des évaluations auxquelles il serait bon de donner une définition scientifique.

Les lampes à incandescence n'offrent non plus rien de particulier. Ce sont toujours les ampoules de verre entièrement closes par soudure dont la COMPAGNIE EDISON semble avoir conservé le privilège aux États-Unis; la dépense moyenne est considérée comme étant de 3 watts par bougie ou 50 watts par lampe de 16 bougies; ce modèle est employé d'une manière presque exclusive.

La COMPAGNIE WESTINGHOUSE avait cependant des lampes formées de deux parties distinctes: le fil de charbon est porté par une sorte de bouchon en verre que traversent les conducteurs et qui entre dans l'ampoule, la fermeture étant assurée par un vernis spécial appliqué sur une large surface. En dehors des raisons de brevet, ce mode de fabrication permet de retirer la monture du fil, quand il est brisé, de le remplacer et d'utiliser de nouveau la lampe.

On ne peut constater sans surprise l'extension de la lumière électrique aux États-Unis, dans un pays où l'on doit lutter avec des procédés d'éclai-

rage particulièrement économiques. Elle existe dans toutes les villes, dans les quartiers suburbains et même dans certains villages. On la voit dans les habitations et les rues des localités où le pétrole abonde et où le gaz naturel est consommé avec une telle profusion que les torches ainsi entretenues restent parfois allumées pendant toute la journée. L'emploi des arcs pour l'éclairage public est beaucoup plus répandu qu'en France, les lampes à incandescence étant surtout réservées aux intérieurs.

Quand il n'est pas nécessaire de distribuer beaucoup de lumière dans les rues, et qu'on n'a d'autre objet que de faciliter les communications, on place les lampes à arc par groupe de trois ou quatre au sommet de pylônes très élevés, mesurant 15 ou 20 mètres, d'où la lumière se répand à une grande distance. Le total des lampes sur une surface déterminée est ainsi beaucoup réduit, et les routes sont suffisamment éclairées pour diriger les passants. C'est une méthode extrêmement répandue en dehors des grands centres de population.

A l'Exposition elle-même, l'éclairage était produit par 128,000 lampes à incandescence de 16 bougies et 4710 arcs électriques. La puissance motrice transformée en énergie électrique, y compris la faible portion utilisée pour les ascenseurs et les moteurs, était d'environ 20,000 chevaux.

L'étendue de l'espace occupé et les dimensions des édifices étaient sans doute de nature à justifier une dépense de lumière exceptionnelle, mais on ne peut en avoir une juste idée que par comparaison avec l'éclairage des villes importantes. On estime que la ville de Londres utilise à elle seule les 5 sixièmes des lampes électriques entretenues par des stations centrales dans toute la Grande-Bretagne, et que 40,000 chevaux environ sont consacrés à ce service, produisant une lumière équivalente à 260,000 lampes de 16 bougies.

En raison du nombre considérable des arcs employés, l'éclairage de l'Exposition de Chicago était donc supérieur à la moitié de tout l'éclairage électrique produit à Londres par les stations centrales.

L'utilisation des courants comme source de chaleur a aussi des applications importantes. Je citerai, en passant, la cuisine électrique dont un modèle existait à l'Exposition. Quelque bizarre qu'il paraisse d'abord, ce mode d'emploi est peut-être rationnel. On estime, en effet, que dans les fourneaux de cuisine les plus perfectionnés, qui servent à la cuisson des aliments en même temps qu'à la production de l'eau chaude destinée aux usages de toilette, on n'utilise pas plus de 5 p. 100 de la chaleur totale



de combustion. Le reste disparaît pour un tiers dans la cheminée et pour les deux autres tiers par le rayonnement du foyer. Si la chaleur utilisée dans les chaudières de machines à vapeur est seulement de 10 p. 100, et que la moitié de la dépense corresponde aux frais généraux et aux déficits de rendement, on aurait la chaleur électrique à domicile au même prix que celle du combustible direct. Fût-elle d'un prix notablement plus élevé, on aurait supprimé la manutention du charbon, les frais d'entretien qui en résultent ainsi que les feux inutiles, puisque le chauffage électrique se ferait sur l'objet même et dans l'intérieur des bassins d'eau. Sans vouloir préconiser ce système, on ne peut affirmer qu'il soit une utopie.

La méthode de soudure électrique imaginée par M. ELIHU THOMSON, et qui a si vivement attiré l'attention à l'Exposition de 1889, paraît entrée dans la pratique.

Plusieurs industriels emploient les mêmes procédés. La COMPAGNIE THOMSON de soudure électrique exposait un grand nombre d'objets exécutés par elle-même ou par divers fabricants : des châssis pour typographes, obtenus par la soudure de quatre barres de fer, des fils d'acier pour câbles de traction, des fils télégraphiques, des tiges de cuivre soudées puis tréfilées, des pièces de carrosserie, des roues de vélocipèdes ou de voitures, des tuyaux de plomb, des tiges en aluminium, des obus à pointe d'acier, etc. ; les applications paraissent aujourd'hui très nombreuses et très variées.

L'une des plus curieuses est la soudure des rails ou des voies de tramways. L'expérience a montré que pour des rails situés à la surface du sol, sans intervalle de jonction, les variations diurnes ou annuelles de température ne produisent aucune déformation de la ligne ; les dilatations ne sont pas apparentes et tout se borne à des changements de traction ou de tension dans l'intérieur du métal.

Il n'y a donc, à ce point de vue, aucun inconvénient à souder les rails entre eux, mais la voie est plus solide, on supprime l'éclissage, ainsi que les ressauts d'un rail au suivant, et aucune autre précaution n'est plus nécessaire pour assurer la communication électrique avec la terre. L'opération est particulièrement intéressante. Une voiture spéciale, munie de son moteur, se déplace sur la ligne. Elle renferme une dynamo à courants continus de 20 chevaux environ, que l'on met en marche par le fil de ligne et qui produit en même temps à l'aide de balais convenables un courant alternatif. Ce dernier, auquel on donne une intensité énorme par transformation, arrive par des mâchoires à deux éclisses serrées de part et d'autre

sur la jonction des rails voisins. La température s'élève rapidement jusqu'au point de soudure entre les rails et les éclisses; on arrête le courant et quelques coups de marteau suffisent pour dresser les rails latéralement ou dans le plan horizontal. La manœuvre totale, y compris le déplacement d'une jonction à la suivante, dure moins d'un quart d'heure.

MM. TESLA et ELIHU THOMSON avaient, chacun de son côté, monté à l'Exposition une série d'appareils permettant de reproduire leurs belles expériences sur les courants alternatifs.

Pour montrer la propriété générale des champs tournants, M. Tesla dispose en couronne quatre électro-aimants très puissants, excités par des courants biphasés. Au centre se trouve une sorte de cuvette en bois à fond plat dans laquelle on place des conducteurs de différentes formes, sphères, ovoïdes, disques, anneaux circulaires, etc.

La sphère et l'ovoïde prennent aussitôt un mouvement de rotation de même sens que celui du champ et de vitesse croissante, l'ovoïde ne tarde pas à se relever et à tourner sur l'une de ses pointes : c'est le problème de Christophe Colomb. Les disques et les anneaux, et même des pièces de monnaie, maintenus d'abord verticalement par une rotation donnée à la main, tournent ensuite de plus en plus vite, en même temps qu'ils se promènent dans toute l'étendue du champ.

Les recherches de M. Tesla sur la décharge des courants alternatifs de haute fréquence étaient aussi l'objet des expériences les plus brillantes. On sait que M. Tesla obtient ces courants par deux méthodes différentes, soit avec un alternateur formé par un disque muni d'électro-aimants disposés à la circonférence en forme de denture, soit par la décharge oscillante d'un condensateur de faible capacité. Dans le premier cas, le nombre des périodes peut atteindre quelques milliers par seconde; dans le second, il se chiffre par des millions. Ces courants alternatifs, transmis dans le fil primaire d'une bobine d'induction isolée avec des soins particuliers, provoquent dans le fil secondaire une différence de potentiel énorme, capable de donner des étincelles très longues et une série d'effets lumineux très variés, suivant que l'on considère la réaction mutuelle de deux électrodes, les propriétés de chacune d'elles quand on la maintient isolée, la dissémination de l'énergie électrique correspondante vers les conducteurs voisins dans l'air ou dans les tubes à gaz raréfiés.

M. Tesla a constaté le fait assez imprévu que les courants de très haute fréquence ne sont pas dangereux pour l'organisme. Il considère en outre

que la production de longues étincelles dans l'air est liée à l'existence de décharges oscillantes très rapides, et qu'à ce point de vue le jeu des machines électrostatiques, à frottement ou influence, est comparable à celui des bobines d'induction munies de capacités convenablement choisies.

La disposition employée par M. Elihu Thomson pour obtenir de longues étincelles dans l'air consiste à modifier successivement les effets d'un courant alternatif par des transformateurs et des bobines d'induction.

Un courant de 10 ampères sous 1000 volts, avec 125 alternances par seconde, est réduit d'abord à 80 volts par un transformateur; puis il parcourt le fil primaire d'une bobine d'induction où la force électromotrice sur le fil secondaire s'élève à 15,000 ou 20,000 volts, et dont les extrémités sont reliées aux armatures d'un condensateur noyé dans l'huile de paraffine. Les décharges oscillantes de cet appareil passent ensuite dans le fil primaire d'un transformateur spécial sans armatures de fer, protégé par un isolement exceptionnel, et l'on obtient finalement sur le fil secondaire des étincelles qui peuvent atteindre 64 pouces ou 1 m. 60 de longueur, quand on n'est pas gêné par l'humidité ou les poussières répandues dans l'air.

### ÉLECTROCHIMIE.

Tant que l'énergie des courants électriques dut être empruntée au travail chimique des piles, la dépense correspondait au moins à l'usure de 2 kilogrammes de zinc par heure pour un cheval-vapeur utilisable. Dans des conditions aussi onéreuses, l'électrochimie devait se borner soit à l'affinage des métaux précieux, soit aux opérations de galvanoplastie proprement dite.

Dès qu'il fut possible d'obtenir pratiquement des courants continus par des moteurs mécaniques, on ne tarda pas à remplacer les piles par des dynamos dans les ateliers importants de galvanoplastie; il convient encore de rappeler ici que, sur la demande de la maison Christoffe, M. Gramme fournit la première solution pratique du problème en 1873. L'électricité prit ensuite un rôle croissant dans ce genre d'applications et put aborder les opérations de métallurgie véritable.

Les États-Unis ne présentent rien de saillant pour ce qui concerne la galvanoplastie des métaux précieux et les dépôts de cuivre ou de fer. Les applications sont nombreuses, mais la forme des objets, quand ils ont un caractère artistique, n'est pas toujours de nature à satisfaire entièrement notre goût: c'est peut-être une question d'habitudes.

On fut longtemps avant d'obtenir des dépôts homogènes de nickel bien adhérents; les difficultés ont été d'abord surmontées par M. Adams à l'aide de bains renfermant du chlorure double ou du sulfate double de nickel et d'ammonium; cette méthode a subi de nombreuses modifications.

La galvanoplastie du nickel est très répandue aux États-Unis où la plupart des organes des machines sont ainsi protégés pour réduire les frais d'entretien.

Le métal provient surtout du Canada et de la Nouvelle-Calédonie, qui en ont importé pour une valeur de 575,000 dollars en 1891; mais les mines indigènes en fournissent environ 100 tonnes chaque année; les progrès accomplis dans le traitement des minerais et l'application de l'électrolyse au raffinage semblent devoir augmenter beaucoup cette production. La grande extension du nickelage, la préparation d'alliages avec le cuivre et la fabrication de l'acier correspondent aux États-Unis à une consommation annuelle d'environ 600 tonnes de nickel.

L'affinage du cuivre par électrolyse, qui permet d'extraire avantageusement les petites quantités de métaux précieux contenus dans les cuivres bruts, a pris naissance en Europe, mais les États-Unis n'ont pas tardé à suivre cet exemple; ils sont d'ailleurs de tels consommateurs qu'ils semblent devoir utiliser la totalité de la production indigène, en faisant eux-mêmes toutes les opérations de raffinage. Leurs mines ont fourni 150,000 tonnes en 1892 (autant que tous les autres pays ensemble), et la consommation locale fut de 118,000 tonnes. Tandis que l'exportation a pu atteindre jusqu'à 120,000 tonnes dans certaines années, elle tend à disparaître, au moins pour les cuivres bruts, et il est à prévoir que, grâce aux tarifs de douane, les États-Unis pourront absorber ceux du Mexique et du Chili.

En effet, si les cuivres bruts restent dans le pays, les cuivres purs, soit ceux du Lac, soit les cuivres raffinés par des procédés sommaires, soit les cuivres traités par l'affinage électrique, sont l'objet d'une exportation croissante, qui s'est élevée à 34,000 tonnes par an. L'ensemble des affineries électrolytiques fournit 4000 tonnes par mois aux États-Unis, tandis que la production mensuelle de toutes les usines d'Europe réunies atteint à peine 1000 tonnes.

C'est à Henri Sainte-Claire Deville que l'on doit les premiers lingots d'aluminium, ainsi que l'étude des propriétés de ce curieux métal et de ses alliages. On l'obtenait industriellement par la réaction du sodium à température élevée sur le chlorure double d'aluminium et de sodium. Pendant

une trentaine d'années, cette méthode n'a guère fourni plus de 2 tonnes d'aluminium au prix moyen de 100 francs le kilogramme.

Bien des tentatives ont été faites pour substituer l'électrolyse aux actions chimiques, et la première solution pratique fut donnée par MM. Cowles, de Cleveland (États-Unis). L'opération consistait à faire passer un courant très intense, 3000 ampères sous 60 volts, dans un four renfermant du cuivre et un mélange pulvérisé de corindon et de charbon de bois; il se forme alors un bronze, qui peut être riche à 50 p. 100, et du carbure d'aluminium. L'emploi de la cryolithe, de la bauxite ou de l'alumine pure, avec des électrodes de charbon, permet aujourd'hui, tant en Europe qu'aux États-Unis, d'obtenir directement l'aluminium à l'état presque pur.

En 1887, l'importation de l'aluminium aux États-Unis était de 600 kilogrammes, et la production indigène de 90 tonnes; en 1892, les sociétés *Cowles C<sup>e</sup>* et *Pittsburg Reduction C<sup>e</sup>* arrivent à une production de 200 tonnes, et le prix du métal s'abaisse à moins de 1 dollar par kilogramme. Dans ces conditions, il ne paraît plus possible que l'importation étrangère ait accès sur le marché américain.

Cet abaissement de prix a singulièrement contribué à augmenter les usages de l'aluminium et de ses alliages avec le cuivre ou le fer. Les bronzes de 5 à 10 p. 100 d'aluminium sont très employés pour les machines, pompes, cylindres, etc., spécialement dans les mines où les eaux acides corrodent le fer et le laiton; ils sont utilisés par les fabricants de laiton pour rendre leurs fontes plus fusibles en améliorant leurs qualités. Enfin l'aluminium lui-même, les alliages d'argent et le ferro-aluminium trouvent des applications importantes soit par leur usage direct, soit dans la métallurgie du fer.

On voyait aussi à l'Exposition un produit intéressant obtenu au four électrique, c'est le carborundum.

Après plusieurs années de recherches dirigées en vue de faire cristalliser le charbon, problème que M. Moissan a, depuis, si heureusement résolu, M. Acheson, de Monongahela (Pennsylvanie), parvint à obtenir, par l'action de l'arc électrique sur un mélange de silicate d'alumine et de charbon, des cristaux brillants, d'une coloration bleue et d'une dureté remarquable; c'est un siliciure de carbone, renfermant, avec quelques impuretés, environ 30 p. 100 de carbone et 70 p. 100 de silicium, c'est-à-dire des équivalents égaux de deux corps simples. Le mode de préparation a été ensuite perfectionné. On agglomère ces petits cristaux de carborundum en forme

de meules, que la Société essaye d'introduire dans l'industrie pour remplacer l'émeri. Les meules de carborundum sont en effet très propres aux différents usages des meules d'émeri; elles entament facilement l'acier, le quartz, le corindon et peuvent même user le diamant.

---

Cet aperçu rapide des applications de l'électricité est nécessairement très incomplet en ce qui concerne l'Exposition même de Chicago.

Les conditions dans lesquelles ont été faits les travaux du Jury et la nature de la mission que nous avons reçue ne nous imposaient pas l'obligation d'apprécier tous les produits et de faire un acte de justice distributive. Nous avons passé sous silence beaucoup de choses qu'il eût été intéressant d'examiner; mais, sans en méconnaître l'importance, il nous a paru plus utile d'insister sur les faits qui contribuent à donner, pour ainsi dire, la physionomie de l'industrie de l'électricité aux États-Unis. Aucun pays ne s'y prête, il est vrai, avec la même souplesse et la même étendue de besoins, mais il faut reconnaître que les inventeurs et les sociétés de construction sont restés à la hauteur de leur tâche, que les machines et appareils de toute nature y prennent des formes simples et d'un usage facile, que tous les progrès de la science sont mis à profit et se traduisent aussitôt dans la pratique. Nulle part les craintes relatives à l'emploi mécanique de l'électricité et les doutes sur son efficacité n'ont disparu plus complètement qu'aux États-Unis.

Nos ingénieurs ne sont ni moins compétents dans la conception des appareils, ni moins habiles à les exécuter, mais l'esprit public dans notre pays a plus d'hésitations, et les habitudes sont moins faciles à modifier. L'expérience du Nouveau Monde ne doit pas rester sans profit.