

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

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

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

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

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Auteur(s)	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1893
Collation	16 vol. ; in-8
Nombre de volumes	21
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 353
Sujet(s)	Exposition universelle (1889 ; Paris)
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE353
LISTE DES VOLUMES	
	1. Première partie. L'architecture
	2. Deuxième partie. La construction
	3. Troisième partie. Les travaux publics
	4. Quatrième partie. Mines et métallurgie
	5. Quatrième partie. La minéralogie, la minéralurgie et la géologie
	6. Cinquième partie. Les chemins de fer
	7. Sixième partie. [Tome I] Chaudières à vapeur et machines thermiques
	8. Sixième partie. Tome II. Chaudières à vapeur et machines thermiques
	9. Septième partie. Mécanique générale. Machins outils. Hydraulique générale. Travail du bois. Travail des métaux. Machineries industrielles
	10. Septième partie. Tome II. Les machines outils
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	11. Huitième partie. Électricité et applications
	12. neuvième partie. Marine et arts militaires
	13. Dixième partie. Arts industriels
	14. Onzième partie. Industries chimiques
	15. Onzième partie. Tome II. Industries chimiques
	16. Première partie. Comptes-rendus des séances générales. Procès verbaux des séances de section. Listes des membres, etc
	Atlas des 1re, 2e et 3e parties comprenant : Architecture, La construction, Travaux publics
	Atlas des 4e et 5e parties comprenant : Mines et métallurgie, Chemins de fer (Signaux), Chemins de fer (Voie et matériel roulant)
	Atlas de la 6e partie comprenant : Chaudières à vapeur, Machines à vapeur
	Atlas des 7e et 8e parties comprenant : Hydraulique, Machines-outils, Electricité
	Atlas des 9e, 10e, 11e parties comprenant Marine et Arts militaire, Arts industriels, Industries chimiques

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Volume	11. Huitième partie. Électricité et applications
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1893
Collation	1 vol. (330 p.) : ill. en noir et blanc ; 27 cm
Nombre de vues	334
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 353 (11)

Sujet(s)	Exposition universelle (1889 ; Paris) Électricité Électricité -- Applications industrielles
Thématique(s)	Expositions universelles
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	15/12/2020
Date de génération du PDF	06/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/10671886X
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE353.11

70 Rue 353

REVUE TECHNIQUE

DE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

DE 1889

PAR UN COMITÉ D'INGÉNIEURS, DE PROFESSEURS
D'ARCHITECTES ET DE CONSTRUCTEURS

CH. VIGREUX, FILS &

Ingénieur des Arts et Manufactures

Inspecteur du Service mécanique et électrique à l'Exposition Universelle de 1889

Secrétaire de la Rédaction

ORGANE OFFICIEL

DU CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE

Tenu à Paris du 16 au 21 Septembre 1889



PARIS

E. BERNARD et Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS
53^{ter}, Quai des Grands-Augustins, 53^{ter}

1893

HUITIÈME PARTIE

ÉLECTRICITÉ ET APPLICATIONS

HUITIÈME PARTIE

ÉLECTRICITÉ

ET

APPLICATIONS

LES PILES ÉLECTRIQUES

A l'Exposition Universelle de 1889

PAR

A. WITZ

C'était le beau temps des piles, alors que, en 1813, Napoléon offrait à l'École Polytechnique une pile de 600 éléments, mesurant 9 décimètres carrés par électrode : « Pourquoi, avait dit l'empereur à Berthollet, pourquoi avez-vous laissé faire à Davy ses belles découvertes ? » — « Sire, lui fut-il répondu, nous n'avons pas de pile aussi puissante que la sienne. » — « Eh bien ! qu'on en construise une sur le champ, et qu'on n'épargne ni soin, ni dépense. » Davy disposait de 400 éléments quand il décomposa la potasse ; les savants français en possédaient maintenant 600, mais ils avaient manqué l'occasion. Du reste, les anglais se piquèrent d'honneur et ils ouvrirent une souscription pour offrir à leur illustre compatriote 2,000 éléments de 2 décimètres carrés, à l'aide desquels il découvrit bientôt l'arc voltaïque : un riche amateur, nommé Children, fit mieux encore et il construisit des couples gigantesques présentant une surface de 3 mètres carrés ; l'on en assembla 21 pour fondre les métaux les plus réfractaires. Puis Gassiot monta 3,500 éléments : enfin Warren de la Rue et Hugo Muller réunirent 24,400 couples : c'est le plus puissant générateur électrochimique qui ait été construit.

Aujourd'hui on n'impose aux piles que de faibles travaux : on leur fait actionner des télégraphes et des téléphones, les chemins de fer les utilisent pour des

appels et des signaux, les particuliers les appliquent aux sonneries domestiques et les médecins leur demandent le fluide mystérieux qui guérit tous les maux. Mais on ne monte plus de piles pour les applications qui nécessitent une grande énergie, parce que le cheval-heure ainsi obtenu coûte beaucoup trop cher : au lieu de consommer du zinc, coûtant 80 centimes le kilogramme et donnant 1,700 calories, on brûle du charbon qui coûte 40 fois moins et fournit 4 fois plus de calorique. Une pile de Daniell donne le cheval-heure au prix de 4 à 5 francs alors que le même travail ne revient qu'à 10, 12 ou 15 centimes par les générateurs mécaniques d'électricité : de plus, il faudrait assembler 1,300 Daniell pour une puissance d'un cheval. Les piles chromiques donnent des résultats un peu meilleurs, car il y a un intérêt évident à employer des éléments à potentiel élevé : mais des essais faits il y a quelques années au Comptoir d'Escompte et au Bon Marché pour produire de la lumière par des piles ont démontré que cette solution n'est plus acceptable aujourd'hui. Bref : la dynamo a détrôné la pile.

Et pourtant, la pile a encore sa légende : il y a toujours des inventeurs qui s'ingénient à composer des éléments nouveaux, mais ils ne produisent le plus souvent que du vieux-neuf : il est rare en effet que leur idée n'ait pas été appliquée déjà par un des 250 chercheurs qui ont donné leur nom à une pile. Mais ils ne se découragent pas et les journaux nous annoncent à chaque instant qu'une révolution scientifique va s'accomplir par la découverte de la pile de l'avenir. L'an dernier, un des journaux les plus répandus de France faisait une bruyante réclame au sujet d'une pile merveilleuse que nous avons cherchée en vain à l'Exposition ; quelque temps auparavant on présentait à l'Académie un élément qui devait donner le cheval-heure au prix de 5 centimes, mais il semble que l'on ait pris des espérances pour une réalité. En somme, l'Exposition ne nous a fait découvrir aucune pile qui parût devoir modifier l'état présent de cette branche de l'électricité.

Quelques couples excellents n'ont malheureusement pas été exposés : telles sont les piles au chlore de M. Upward, les piles de grande force électromotrice de M. Corminas, aux métaux alcalins, les piles thermo-électriques de M. Raub, et d'autres encore. A cet égard, nous ne serons pas pessimistes en déclarant que notre grand concours de 1889 présentait de regrettables lacunes, qu'il eût été facile de combler.

Nous n'avons vu d'application vraiment intéressante que celle qui a été faite des couples à l'éclairage domestique, par l'emploi des appareils à écoulement et à circulation automatiques des liquides. Il y avait un bon nombre de piles, construites dans ce but : c'étaient généralement des éléments de composition connue et éprouvée, dont on avait modifié la forme et le dispositif de manière à se prêter à une marche continue, sans exiger de manipulations pénibles.

Nous ne possédons pas encore de solution complète du problème, mais quel-

ques-uns de ces appareils domestiques sont déjà suffisamment pratiques pour qu'on puisse les recommander. Il ne s'agit pas d'organiser par ce moyen d'éclairages importants ; mais si l'on tient à éclairer électriquement un château, une église, une maison d'habitation isolée, si un amateur convaincu veut à tout prix éblouir les amis qu'il réunit dans ses salons, si un *dilettante* désœuvré et fortuné consent à dépenser de la sorte son temps et son argent, nous lui conseillerons l'emploi des nouvelles piles, en attendant que des stations centrales distribuent partout l'énergie électrique. En les combinant avec des accumulateurs, on peut se donner le luxe et les facilités d'un éclairage électrique satisfaisant.

Nous avons décrit les couples que nous avons vus à l'Exposition, en limitant toutefois notre étude à ceux que nous avons pu examiner avec soin, ou sur lesquels on nous a fourni des renseignements suffisants ; les journaux spéciaux, parmi lesquels nous citerons *l'Electricien* et la *Lumière Électrique*, nous ont facilité notre travail.

Nous arrêterons d'abord notre attention sur quelques types de piles hydro-électriques qui se signalent par leur nouveauté ou par leur grande notoriété et qui ont obtenu des récompenses ; puis nous ferons la monographie des piles à circulation, et nous terminerons par les piles thermo-électriques utilisant comme combustible le gaz d'éclairage.

PILES HYDRO-ÉLECTRIQUES

1^o *Piles types*

RADIGUET.	WARNON
BAZIN.	MAICHE.
CROSSE.	DE LALANDE ET CHAPERON.
RENARD	PERREUR-LLOYD ET FILS.
ARON.	BABLON
PILLET.	SERRIN.
LECLANCHÉ.	

COUPLES ET PROCÉDÉS DIVERS

2^o *Piles à circulation*

O'KEENANN	ARNOULD.
PAILLARD	DE MARC ET BERNIER.
GENDRON.	SAPPEY
LAGARDE.	KORNFELD.

3^o *Piles thermo-électriques*

CLAMOND-CARPENTIER	CHAUDRON.
--------------------	-----------

I. — PILES TYPES

Pile Radiguet

La maison Radiguet a acquis une juste notoriété par les heureuses dispositions qu'elle a données à la pile de Poggendorff : elle a obtenu une médaille d'argent.

Les éléments Radiguet sont constitués par 4 lames de charbon qui entourent le vase poreux renfermant le zinc : on en forme des batteries en les groupant en deux rangées parallèles, surmontées d'un treuil pour le relèvement des zincs.

Un modèle, dit à bascule, a obtenu un légitime succès, car il permet non seulement de retirer le zinc de l'eau acidulée, mais encore d'isoler le bichromate du liquide excitateur, ce qui est avantageux, car on sait que les liquides se mêlent à travers la paroi des vases poreux. Pour cela, ces vases ont reçu la forme d'un cœur à deux lobes très découpés, de façon à former deux vases distincts situés à angle droit l'un par rapport à l'autre : un des lobes est perméable, l'autre est émaillé, donc rendu imperméable. Le premier trempe dans le bichromate quand l'élément est en service ; l'autre est en l'air : mais à l'état de repos, on fait basculer le cœur, de manière à retirer la portion poreuse du liquide : le zinc suit ce mouvement et l'eau acidulée se déverse dans le lobe émaillé. D'une main, on fait mouvoir tous les éléments d'une batterie : ce dispositif assure une durée beaucoup plus grande des zincs et des liquides.

M. Radiguet a créé un autre modèle de pile qui est réellement pratique : c'est une pile domestique. Les éléments qui la composent sont placés sur une cuve en bois garnie de plomb ou vernie au bitume de Judée ; elle forme gouttière et a un écoulement au dehors. Chaque élément est composé sur le type de Poggendorff, mais le charbon est au dehors du vase poreux et le zinc à l'intérieur. Le charbon a la forme d'un cylindre ; le zinc est à l'état de rognures ou de déchets, contenus dans un appareil spécial, appelé par l'inventeur le *support à amalgamer*. Cet appareil se compose d'un tube en cuivre rouge portant à sa base une sorte de corbeille destinée à recevoir les fragments de zinc ; sous cette corbeille est suspendue, par deux tiges de cuivre, une cuvette remplie d'un amalgame tenant un peu de zinc en dissolution. Par une action que M. Radiguet croit électrique, mais qui pourrait être capillaire, le mercure grimpe le long du support et maintient le zinc de la corbeille dans un parfait état d'amalgamation, pendant plusieurs mois. La manipulation des liquides se fait à l'aide d'un siphon, qu'on amorce en soufflant et qu'on désamorce aussi en soufflant, sans avoir à boucher la branche d'écoulement : on peut souffler à la bouche ou employer une poire en caoutchouc. Grâce à ce siphon, on renouvelle à volonté

les liquides, qui tombent sur la table à gouttière et sont évacués au dehors. Tout est ingénieux dans cette pile, qui donne du reste d'excellents résultats.

Nous signalerons encore la

Pile Tommasi et Radiguet

Au centre d'un vase de verre cylindrique se trouve un bâton de charbon recouvert d'une couche épaisse de peroxyde de plomb (PbO^2), et le tout est renfermé dans un sac en toile (fig. 1).

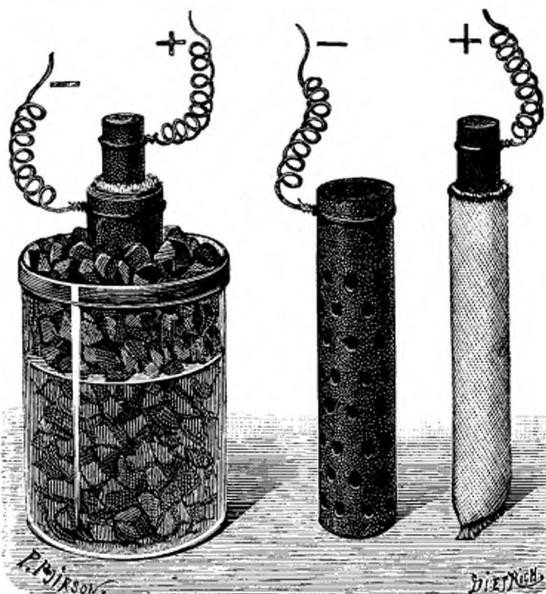


FIG. 1. — PILE TOMMASI ET RADIGUET

Cette électrode, ainsi enveloppée, est placée dans un tube de charbon percé de trous ; le tout est mis dans un vase de verre rempli de fragments de charbon de cornue et d'une solution concentrée de chlorure de sodium additionnée de chlorure de calcium ; le niveau de cette solution ne doit pas dépasser le milieu du vase de verre. Les fragments de charbon qui ne sont pas mouillés sont recouverts d'une couche de chlorure de calcium.

Cette pile, dont la f. c. m. est de 0,6 à 0,7 volt, ne travaille qu'en circuit fermé.

Comme elle se polarise rapidement, elle ne convient que pour les applications qui réclament un courant intermittent.

Pile Bazin

On a eu recours maintes fois à des moyens mécaniques pour aider à l'action dépolarisante des liquides chromiques : M. Bazin en est revenu à faire tourner sur elles-mêmes les électrodes de charbon, d'une manière continue, par l'action d'un petit moteur électrique. Les vases de pile sont placés sur un support qu'on peut éléver ou abaisser à volonté pour mettre les éléments en activité ou au repos : les charbons et leurs axes sont au contraire fixes dans l'espace.

Pile Crosse

M. Crosse a imaginé quelques modifications qui peuvent donner de bons résultats. L'électrode positive de ses piles chromiques est constituée par un sac cylindrique en plomb, rempli de fragments de coke ; l'électrode positive de ses piles du genre Daniell, est de même formée d'un sac de plomb, renfermant des cristaux de sulfate de cuivre.

Ce dispositif présente une grande surface et réduit conséquemment la résistance extérieure des éléments.

Pile Renard

Cette pile, rendue célèbre par les expériences de direction du ballon *la France*, était exposée dans le pavillon de l'aérostation militaire, sur l'Esplanade des Invalides.

C'est une pile chlorochromique : le liquide excitateur est constitué par une dissolution d'acide chromique dans de l'acide chlorhydrique, de densité 1,083, *Cro³* et *Hcl* étant à équivalents égaux ; le même liquide joue le rôle de dépolarisant, car la pile est à un seul liquide. Le zinc est employé sous forme de crayons cylindriques ; l'électrode conductrice est formée d'une lame d'argent platinée sur ses deux faces par laminage, de 1/10^o de millimètre d'épaisseur. Il est à remarquer que le zinc n'est pas amalgamé.

Le liquide est renfermé dans des tubes de verre relativement longs, dont la hauteur égale au moins 10 diamètres, de manière à présenter une surface considérable de refroidissement. Les éléments sont réunis en groupes qui constituent des faisceaux tubulaires.

Les piles du ballon *la France* étaient semi-tubulaires, c'est-à-dire que chaque

élément était formé de six tubes assemblés en surface : les tubes avaient 40 millimètres de diamètre. Un tel élément pouvait donner 120 ampères avec un potentiel utile de 1,2 volt.

Grâce à l'emploi du liquide chlorochromique, la pile Renard peut fournir une puissance supérieure à celle de toute autre pile : au potentiel normal de 1,2 volt, on l'estime à 25 ampères par décimètre carré de zinc. Deux éléments semi-tubulaires en tension, produisent l'incandescence blanche d'un tube de platine de 5 millimètres de diamètre et 1/2 millimètre d'épaisseur, ce qui répond à 150 ampères par 1,8 volt : ce groupe pèse 10 kilogrammes. Une pile de 48 kilogrammes donne un cheval de 736 watts.

La stabilité du liquide permet de le conserver quelques jours : mais il se produit alors un dégagement de chlore. On l'atténue en substituant, équivalent à équivalent, l'acide sulfurique à l'acide chlorhydrique ; la capacité du liquide ne diminue pas sensiblement.

Pile Aron

C'est une adaptation nouvelle de la pile du commandant Renard, que nous venons de décrire ; MM. Aron frères l'ont modifiée dans le but de l'appliquer à l'éclairage direct sans accumulateurs. Nous retrouvons le liquide excitateur chlorochromique et les électrodes d'argent platiné. Les éléments sont réunis dans un grand vase cylindrique en verre : les lames d'argent et de zinc sont renfermées dans des tubes de verre, qui plongent dans le liquide excitateur par leur extrémité inférieure légèrement rétrécie ; normalement le liquide ne baigne pas les lames. Mais une poire de caoutchouc permet d'exercer une pression d'air dans le vase et de faire monter le liquide dans les tubes ; la pile est dès lors en service. Une vis permet de rétablir la pression atmosphérique en débouchant une petite ouverture : le liquide baisse aussitôt et la pile cesse de fonctionner.

Cette installation très ingénieuse et fort pratique, a valu à MM. Aron frères une médaille d'argent.

Pile Pillet

Le bichromate fait l'office de polarisant dans cette pile. Les vases sont à deux étages ; leur partie inférieure sert de réservoir au liquide, les lames de zinc et de charbon occupent la partie supérieure. En déterminant une pression d'air dans la cloche qui occupe le centre de l'élément, on fait monter le liquide au niveau des électrodes et l'appareil est à même de fonctionner.

Tous les éléments semblables d'une pile étant reliés par des tuyaux, on peut du même coup agir sur tous les vases, ce qui présente de grandes facilités et paraît préférable au soulèvement des lames par un treuil.

Pile Leclanché

Voilà une des piles les plus célèbres, parce qu'elle est une des meilleures et des plus répandues ; sa notoriété nous dispensera d'une longue description, mais sa réputation nous défendait de la passer sous silence.

Elle a obtenu une médaille d'or.



FIG. 2.
PILE SÈCHE LECLANCHÉ-BARBIER



FIG. 3
PILE LECLANCHÉ-BARBIER

On sait que cet élément est formé de zinc et de charbon, qu'il est excité par une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque et de charbon et dépolarisé par le bioxyde de manganèse.

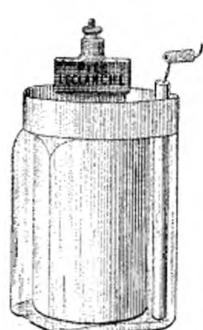


FIG. 4. — PILE LECLANCHÉ
(MODÈLE ORDINAIRE)

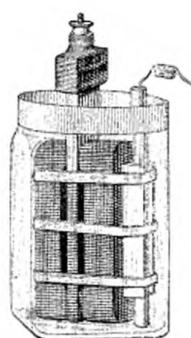


FIG. 5. — PILE LECLANCHÉ
A PLAQUES MOBILES

On le construit à vase poreux ou bien à agglomérés : de fait, le vase poreux est inutile dans une pile à un seul liquide.

La pile Leclanché ne consomme rien à circuit ouvert, ne se polarise presque pas sur un circuit très résistant, reprend très vite sa force électromotrice, après quelques instants de repos, coûte peu cher, ne gèle pas et dure plusieurs années : ce peu de mots explique le grand succès de cette pile, dont les télégraphes, les Compagnies de chemins de fer, les téléphones et les particuliers emploient des milliers d'éléments.

Pile Warnon

Elle dérive de la pile Leclanché, mais elle en diffère par la fabrication de l'électrode conductrice.

Voici comment elle est constituée : un bloc de charbon, sur lequel ont été implantées des bornes de la même substance, est enfermé dans un sac de toile, imprégnée de bitume de Judée, pour rester bien perméable ; le vide est bourré de peroxyde de manganèse, ayant subi une préparation spéciale, et de graphite concassé ; le tout est entouré de cordelettes qui en assurent la conservation.

L'avantage réalisé par M. Warnon est sérieux, car la résistance intérieure de la pile est moindre que celle de la pile Leclanché.

Pile Maiche

M. Maiche a reçu une médaille de bronze pour ses piles de télégraphes et de sonneries.



FIG. 6

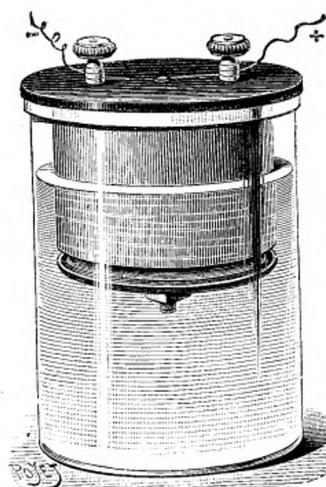


FIG. 7

Cet élément, très original dans sa conception, diffère de tous les autres en ce

que l'oxygène de l'air constitue son élément dépolarisant : il n'est donc pas apte à produire une grande quantité d'électricité, parce que l'absorption de l'oxygène n'est pas rapide, mais il fonctionne régulièrement et avec continuité.

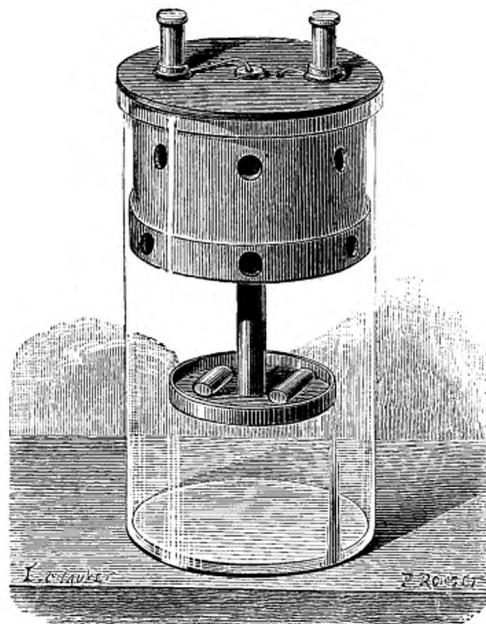


FIG. 8

Une galerie en terre poreuse renferme du charbon de cornue concassé, platiné à sa surface ; en dessous, est suspendu un godet de porcelaine renfermant de petits lingots de zinc plongés dans le mercure, une solution de sel marin baigne le tout, mais sans atteindre le haut de la galerie de porcelaine, car le charbon doit être imbibé par capillarité et non pas noyé.

La pile Maiche convient très bien aux sonneries, aux télégraphes, aux téléphones, et en général à tous les services intermittents.

Pile de Lalande et Chaperon

Cette pile était exposée par MM. de Branville et C^e ; elle est connue sous le nom de pile à oxyde de cuivre, car cet oxyde y joue la fonction de dépolarisant.

Elle se compose d'une lame de zinc et d'une lame de fer ou de cuivre recou-

verte d'oxyde de cuivre, les deux lames baignant dans le même liquide, qui est une solution de potasse caustique à 35 %.

Le circuit étant fermé, il se produit un zincate alcalin et l'oxyde de cuivre est réduit : à circuit ouvert, les métaux demeurent inattaqués.

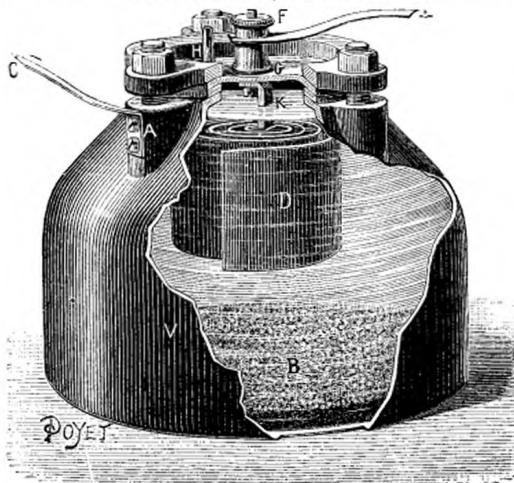


FIG. 9

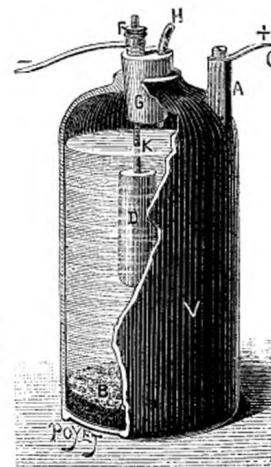


FIG. 10

On construit cet élément sous diverses formes. L'élément à spirale est renfermé dans un vase cylindrique, au fond duquel se trouve un vase de tôle contenant l'oxyde de cuivre ; à mi-hauteur du vase est placée une spirale de zinc amalgamé, dont le plan est horizontal. Un fil de laiton part de la boîte et traverse le couvercle ; c'est le pôle positif, le pôle négatif est constitué par l'extrémité déroulée et redressée de la spirale.

Il existe aussi un élément hermétique en fonte ayant la forme d'un obus, dans lequel l'enveloppe de fonte constitue le pôle positif ; le zinc est suspendu au centre du liquide par un conducteur qui traverse un bouchon de matière isolante. Cet isolement est représenté ci-contre.

Enfin MM. de Lalande et Chaperon ont construit un élément à auge ; une boîte plate de tôle de fer renferme une boîte de dimensions presqu'égales en zinc, de telle sorte que les surfaces en regard soient très grandes sans que néanmoins la pile devienne encombrante.

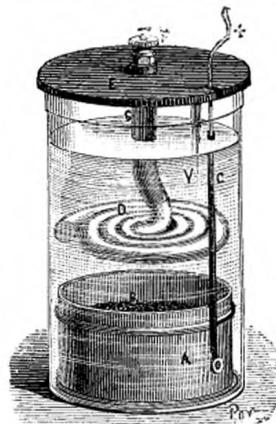


FIG. 11

Ces éléments ont une force électromotrice très constante, égale à 0,9 volt environ. Leur résistance intérieure est faible et leur débit est considérable ; ils peuvent fonctionner pendant des centaines d'heures sur de faibles résistances, et si on prend le soin de les soustraire à l'action de l'acide carbonique de l'air, leur montage peut être maintenu fort longtemps.

Enfin on peut utiliser le cuivre réduit et le réoxyder en l'exposant à l'air humide. MM. d'Arsonval et Hospitalier ont fait des rapports très élogieux sur cette pile et Sir William Thomson a déclaré que c'était le meilleur élément voltaïque connu de lui ; le jury a bien fait de suivre ces indications en décernant à MM. de Branville une médaille d'or (¹).

Pile Perreux-Lloyd et fils

On brûle du zinc dans les piles pour obtenir un courant ; la dépense de zinc est le prix de l'énergie électrique engendrée, mais ce mode de production est coûteux, car le résidu de l'opération n'a pas de valeur. Ne pourrait-on pas obtenir aussi bien un courant en brûlant un métal qui produirait un sel possédant une valeur vénale ? C'est le problème que M. Perreux a résolu.

Il brûle du cuivre en l'attaquant par un liquide excitateur composé d'acide sulfurique et d'acide azotique ; il recueille le sulfate de cuivre résultant de la réaction et condense les vapeurs nitreuses. Pour réduire encore la dépense, l'opération est conduite de telle façon que le liquide excitateur épuisé soit de nouveau utilisable comme liquide dépolarisant. Bref, il se perd le moins de substances que possible. Comme les électrodes solubles peuvent être constituées de déchets qu'on achète à bas prix, et que les sels sont obtenus sous la forme la mieux appropriée pour en faciliter la vente, on arrive à engendrer l'électricité d'une façon relativement économique. Voilà vraiment la pile de l'avenir.

MM. Perreux-Lloyd et fils ont adopté le type de la pile de Bunsen à électrodes de charbon et de cuivre ; le liquide excitateur est un mélange de trois équivalents d'acide sulfurique pour un équivalent d'acide nitrique dans un état de concentration déterminé pour attaquer le cuivre ; quand l'acide est en partie neutralisé, on y mélange un volume d'acide sulfurique pour le faire servir de dépolarisant. On active les réactions en chauffant la pile par un courant de vapeur. Les résidus sont dirigés vers des cuves de cristallisation.

Le dispositif des éléments est très rationnel, mais un peu compliqué ; cet

1. Dans leur brevet de 1881, MM. de Lalande et Chaperon ont signalé la réversibilité de leur pile ; ils entrevoyaient donc la possibilité d'établir des piles secondaires au zincates alcalins et ils ont été les précurseurs de MM. Comme-lin et Desmazures, dont les accumulateurs ont eu tant de succès en 1887.

inconvénient est amplement compensé par les résultats, qu'il était impossible d'obtenir plus simplement. On transforme la pile en un appareil qu'on appellerait avec plus de raison chimico-électrique qu'électro-chimique, car le produit est une substance chimique alors que l'électricité n'est qu'un sous-produit. Ainsi on a transformé de vieilles rognures de laiton en sulfate de cuivre et en sulfate de zinc, lequel a encore servi à la fabrication d'ammoniaque et de blanc de zinc.

Le même procédé pourrait conduire à la formation d'autres sels dont la vente serait encore plus productive.

Pile Bablon

M. Bablon a inventé un commutateur automatique, pour le chargement des accumulateurs qui lui a valu une mention honorable : cet appareil permet de charger un groupe d'accumulateurs montés en tension par une source de force électromotrice moindre, en prenant les pôles du générateur primaire et en les portant successivement sur les pôles de chaque accumulateur et en répétant cette opération à tour de rôle sur chacun d'eux. L'idée est ancienne déjà et elle avait appliquée autrefois par M. Thomsen, de Copenhague, à la charge d'une batterie de piles à gaz : mais le dispositif de M. Bablon est nouveau et ingénieux. Il a adopté à son projet une sorte de cylindre d'orgue de Barbarie disposé au-dessus d'un clavier mettant tour à tour en contact les pôles des piles primaires et secondaires : ce cylindre peut être mû par un poids, un ressort ou bien un petit moteur électrique.

Pile Serrin

Prenez un bloc de bois imperméabilisé, et creusez à la suite l'une de l'autre un certain nombre de cavités, dans lequel vous logerez un zinc et un charbon baignant dans un liquide acide, puis fermez hermétiquement les ouvertures. Vous formez ainsi une pile, qui pourra fonctionner très longtemps et actionnera sans défaillance des allumoirs de tout genre. Nous venons de décrire la pile de M. H. Serrin, récompensée par une mention honorable.

COUPLES ET PROCÉDÉS DIVERS

Il nous reste à signaler quelques procédés spéciaux qui peuvent avoir quelques influence sur l'avenir des piles électriques.

M. Georges Fournier s'est donné le même objectif que M. Perreux, qui est de

diminuer le prix de revient de l'énergie électrique : à cet effet il a cherché à utiliser les sous-produits des piles au bichromate. Il extrait des liquides épuisés du sulfate de potasse, de l'oxyde de zinc, de l'oxyde de chrome, de l'alun de chrome et toute une série de belles couleurs jaune orange et citron, et des verts clairs et foncés très agréables aux yeux et parfaitement stables. On a remarqué les échantillons d'étoffes teintes avec ces couleurs depuis plusieurs années et qui avaient conservé tout leur éclat. Les procédés de M. Fournier peuvent donner lieu à de curieuses applications, mais nous n'oserrions leur promettre de grands résultats économiques.

M. Loiseau exposait des sels excitateurs et M. Marchenay, des liquides dépolarisants.

MM. Owen and Sons ont présenté des encaissages de piles en bois de teck.

II. — PILES A CIRCULATION

Pile O'Keenann

M. O'Keenann a complètement transformé la pile de Daniell en rendant son fonctionnement automatique, de sorte qu'on n'ait plus à en démonter les éléments pour assurer leur entretien : ce résultat est obtenu par un ingénieux mode de distribution et de renouvellement des liquides.

Nous retrouvons dans cette pile, le zinc, au pôle négatif, baignant dans le sulfate de zinc ; des lames de plomb cuivré forment l'électrode positive, plongée dans le sulfate de cuivre. C'est donc une pile de Daniell. Mais la lame de zinc est entourée d'un fourreau de papier parcheminé, ouvert en haut et en bas, et elle occupe la partie centrale de l'élément ; ce fourreau forme un vase poreux sans fond.

Le liquide de la pile est constitué par trois couches distinctes, superposées par ordre de densité : il y a du sulfate de zinc au fond du vase et dans le fourreau central ; au-dessus, se trouve une solution de sulfate de cuivre surmontée d'une couche d'eau pure. Le fonctionnement de la pile produit du sulfate de zinc qu'il faut éliminer ; le sulfate de cuivre doit être maintenu à saturation et l'eau pure consommée doit être renouvelée pour assurer la marche des réactions. Voyons comment M. O'Keenann réalise ces diverses conditions : il est arrivé après quelques tâtonnements à un dispositif simple, pratique, voire même élégant ; du reste, tout ce qui est simple et pratique devient facilement élégant.

L'eau pure arrive à la partie supérieure de la pile goutte à goutte, en s'écou-

lant d'un réservoir élevé ; le robinet de débit en donne un excès qui surnage en vertu de sa moindre densité et dont on se débarrasse par un déversoir de trop plein.

Une trémie renferme les cristaux de sulfate de cuivre et les fait tomber dans la pile au fur et à mesure de leur dissolution : la partie moyenne du liquide est donc maintenue à saturation.

Le sulfate de zinc formé s'accumule au fond des vases : il est évacué par un tuyau de descente, partant du niveau supérieur qu'on lui permet d'atteindre et débouchant dans un godet de mercure. L'extrémité du tuyau est donc immergée dans le mercure, et les colonnes de sulfate de zinc dans le tuyau et de mercure autour de ce tuyau se font équilibre. Si le niveau du sulfate s'élève dans la pile, cet équilibre est rompu et ce liquide s'écoule en traversant le mercure.

Il n'y a donc à régler, une fois pour toutes, que l'arrivée d'eau et la hauteur du mercure dans le godet.

M. O'Keenann réunit dix éléments dans une caisse à parois de verre ; des planchettes de sapin paraffiné forment cloison entre eux.

On dispose les accumulateurs, qu'on veut charger au-dessous de la pile.

D'après M. Hospitalier, qui a rendu compte de cette pile dans l'*Électricien*, cette pile peut fonctionner plusieurs mois sans être démontée et sa conduite peut être confiée au premier venu.

Nous avons cherché en vain le nom de M. O'Keenann sur la liste des récompenses : nous pensions l'y trouver.

Voltagène Paillard

M. Paillard désigne sous le nom de voltagène une pile de Daniell modifiée, à alimentation continue et automatique.

La modification de l'élément porte sur le zinc, qui est entouré d'une composition adhérente, perméable au liquide ; de plus, le plomb gondolé et percé de trous remplace la lame classique de cuivre.

Le sulfate de cuivre est débité par un grand réservoir, muni d'une soupape à réglage électrique, commandée par un électro-aimant monté en dérivation sur le circuit ; plus le courant est intense, plus la soupape est levée, de telle sorte que l'alimentation soit toujours proportionnelle au travail demandé à la pile. Le liquide tombe dans un distributeur à siphon intermittent, qui dessert tous les éléments par une longue gouttière.

L'extraction du sulfate de zinc produit et accumulé au fond de la pile se fait par un siphon à mèche, qui ne s'amorce que lorsque le liquide atteint dans la pile un niveau déterminé.

Pile Gendron

M. Gendron a obtenu une médaille de bronze pour l'ingénieux système de distribution qu'il a su réaliser. Sa pile est l'élément classique de Poggendorff dont l'excitation est faite par l'eau acidulée et la dépolarisation par un bichromate alcalin : de ce côté rien de nouveau. Mais la disposition des éléments est tout à fait différente de ce qu'on faisait jusqu'ici.

Le vase poreux a une forme sinuuse : il se replie six fois sur lui-même et renferme six électrodes de zinc ; sa largeur est de 25 millimètres au plus. C'est donc un canal sinusoïdal dans lequel circule de l'eau acidulée. Entre ses replis sont logées six plaques de charbon : le liquide chromique circule le long des parois du vase et en suit tous les contours, attendu que les charbons qui sont encastrés par une extrémité dans la paroi de la caisse dessinent un canal parallèle à la surface de terre poreuse. Les liquides lavent donc les électrodes et cette circulation produit les meilleurs résultats.

De grands vases distributeurs alimentent les piles, disposées sur des rayons d'un meuble analogue à une bibliothèque : après leur parcours, les liquides sont évacués par des robinets spéciaux. Leurs boisseaux sont des cylindres allongés, ayant toute la hauteur de l'élément ; l'eau acidulée, chargée de sulfate de zinc, est prise à la partie inférieure, remonte dans le noyau et s'écoule par un trou. En tournant le boisseau, on peut opérer une vidange complète et mettre les vases à sec. Un robinet du même genre évacue goutte à goutte le bichromate épuisé.

On a constaté que cette pile peut fonctionner une quarantaine d'heures : une batterie peut donc être appliquée à l'éclairage domestique, et, grâce à une pompe et à une heureuse disposition de l'ensemble, la manipulation en est extrêmement aisée.

Pile Lagarde

L'inventeur a cherché à créer une pile domestique : c'est une pile au bichromate, à un seul liquide, dont les électrodes peuvent être manœuvrées à distance : à cet effet, elles sont toutes fixées à une couronne, attachée elle-même à l'extrémité d'un grand fléau de fer équilibré, qu'on peut faire basculer autour de son centre d'oscillation, en agissant sur un renvoi de mouvement, dont la forme change avec la disposition des lieux.

La couronne sert de support aux zincs et aux charbons : ces électrodes sont de grandes lames de 200 millimètres de longueur sur 130 millimètres de largeur ; elles sont percées de trous. M. Lagarde les dispose radialement, et leur groupe-

ment en tension est obtenu au moyen de lames de cuivre encastrées dans l'épaisseur de la couronne. La cuve est divisée en autant de compartiments qu'il y a de paires d'électrodes, munis chacun d'un siphon qui remonte le liquide épuisé et le rejette au dehors : le liquide neuf, débité par un réservoir supérieur, est conduit aux compartiments par un distributeur à rigoles de plomb.

Pile Arnould

Une pile de 12 éléments peut alimenter 25 bougies : son rendement le plus avantageux correspond à une intensité de 5 ampères par 15 volts.

Les qualités de la pile Lagarde ont été reconnues par une médaille de bronze.

Le pôle positif de cette pile est formé de fragments de coke, sur lesquels le contact s'opère par une large feuille de plomb, qui double le vase de l'élément ; c'est un moyen ingénieux de réduire la résistance ; un liquide chromique baigne le coke. Le zinc et l'eau acidulée sont renfermés dans le vase poreux central.

L'alimentation se fait encore en dérivation : le liquide est fourni par un récipient de grande capacité dont le débit est réglé par un robinet. Ce récipient est clos, et le liquide ne peut s'en écouter qu'à la condition d'y faire rentrer de l'air bulle pour goutte : or, la rentrée de l'air est réglée par le courant lui-même. En effet, un électro-aimant, animé par une dérivation du courant, forme une soupape quand l'intensité est supérieure à la normale, tandis qu'elle l'ouvre largement aussitôt que l'intensité diminue : on se rend facilement compte de ce dispositif.

Pile de Mare & Besnier

Le liquide de cette pile est obtenu en dissolvant du bichromate d'ammoniaque dans de l'eau fortement acidulée par de l'acide sulfurique ; cette dissolution remplit le double rôle d'excitateur et de dépolarisant, et elle est caractérisée par une capacité considérable, ce qui en recommande l'emploi.

L'électrode conductrice est en charbon ; l'électrode soluble est constituée par de la grenaille de zinc noyée dans le mercure, ce qui entretient une richesse constante d'amalgame, attendu que le zinc se dissout dans le mercure à mesure qu'il se consume dans la pile. Le brevet de Mare signale aussi la possibilité de l'emploi d'un amalgame de sodium.

La caisse de la pile est formée d'une double série de lames de charbon enchaînées dans les rainures d'un cadre de bois imperméabilisé. Les plaques extrêmes

sont cuivrées ; l'intervalle des doubles lames est rempli de coke concassé. Des couvercles hermétiques ferment la caisse. La grenaille de zinc est renfermée dans une cuvette de terre poreuse.

Cette pile est à écoulement. Le liquide est débité goutte à goutte par un ingénieux distributeur, qui débouche à la partie supérieure de la caisse étanche, et il traverse la pile pour s'écouler par la partie inférieure ; il s'échappe par un siphon.

La distribution du liquide se fait par dérivation et c'est peut être le caractère le plus original de ce dispositif : c'est pourquoi nous jugeons nécessaire de le décrire complètement. Le liquide est renfermé dans une grande bouteille, munie d'un tuyau latéral d'écoulement à robinet ; un tube de verre deux fois recourbé part du bouchon et vient aboutir à côté de l'orifice du tuyau d'écoulement. Ce tuyau et le tube débouchent dans une ampoule de verre placée au-dessus de la pile. Ce robinet étant ouvert, le liquide remplit l'ampoule ; bientôt le tube est noyé, et alors la pression diminue dans la bouteille, puisque l'air n'y pénètre plus ; l'écoulement cesse donc, mais il reprendra dès que, le liquide ayant baissé dans l'ampoule, l'extrémité du tube d'air sera de nouveau dégagée. On obtient ainsi un écoulement constant, sous l'influence d'une différence de pression constante.

La pile de Mare convient aussi bien à l'éclairage direct qu'à la charge des accumulateurs.

Pile Sappey

Cet élément est exposé par l'*Automatic Electrical corporation* : il reproduit le type Poggendorff, mais présente quelques modifications dans la disposition relative des électrodes. Le zinc et l'eau acidulée sont à l'extérieur, tandis que le vase poreux renfermant le charbon et le bichromate occupe le centre ; le vase poreux est double, et les charbons forment un faisceau, ce qui diminue la résistance intérieure.

Cette pile n'est plus à circulation, mais à renouvellement total des liquides épuisés ; au bout d'un temps déterminé, la pile est vidée et rechargeée, cette opération se faisant automatiquement, de la manière suivante. Le dispositif est le même pour les deux liquides, et nous n'aurons qu'une description à en donner.

Le liquide est débité par une soupape et évacué par une autre, commandées toutes deux par un appareil électrique mis en jeu périodiquement par une horloge. La première soupape déverse le liquide d'un réservoir dans un bac intermédiaire en plomb, muni d'un siphon qui ne s'amorcera que lorsque le liquide aura atteint un certain niveau. A ce moment, le liquide se déverse dans une rigole de distribution en faisant mouvoir un basculeur dont nous verrons tout à l'heure le rôle.

Le liquide est amené par une canalisation aux éléments dans lesquels il pénètre par le fond ou par le côté. L'évacuation a lieu quand la même horloge ouvre la soupape de vidange. Voici comment se font simultanément ces deux opérations: à l'heure voulue, l'horloge fait ouvrir les deux soupapes; la soupape de vidange étant plus grande que celle d'alimentation, la purge est achevée avant que le bac intermédiaire ne soit rempli et que le siphon n'ait fonctionné; le basculeur rompt le circuit en se renversant, et les deux soupapes se ferment, de sorte que le remplissage de l'élément se fait alors par le débit du siphon. Il est donc impossible que le liquide passe directement à la vidange: ce système est extrêmement ingénieux et vraiment remarquable.

Le bichromate est renouvelé toutes les trois heures, alors que l'eau acidulée reste en service plus de 12 heures.

Les tuyaux de la canalisation pourraient créer des dérivations du courant; on les évite en intercalant des portions isolantes de tubes de verre.

On a appliqué très heureusement la pile Sappéy à la charge des accumulateurs.

Pile Kornfeld

Un des défauts les plus ordinaires des piles, c'est d'être encombrantes. M. Kornfeld a réussi à réduire leur volume au minimum.

A cet effet, il emploie des vases plats en charbon, cuivrés à l'extérieur, dans lesquels peuvent descendre des lames de zinc assemblées parallèlement et formant un châssis de 40 plaques, qui vont glisser dans des coulisseaux et qu'on manœuvre à l'aide d'un treuil.

Les liquides se distribuent par deux séries de tuyaux d'alimentation et d'évacuation, dont on règle le débit par des robinets.

Une batterie de 40 éléments, d'une puissance de 750 watts, occupe une surface de 90 décimètres carrés.

C'est une pile chromique.

III — PILES THERMO-ELECTRIQUES

Pile Clamond-Carpentier

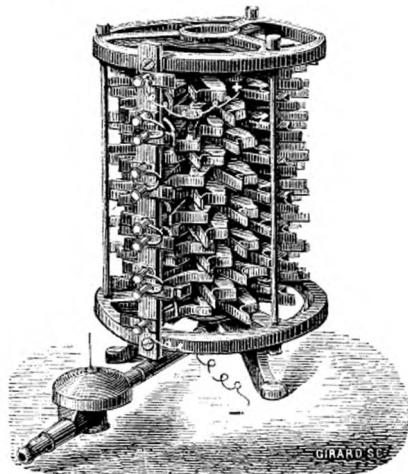
La pile Clamond, chauffée au gaz, est connue de tous nos lecteurs: le modèle déposé a été modifié par l'inventeur et sa construction a elle-même été améliorée par M. Carpentier.

Le couple est formé de fer ou de nickel avec des barreaux d'un alliage de zinc et d'antimoine ; ces deux métaux doivent être alliés, suivant M. E. Becquerel, dans le rapport de leurs équivalents pour donner le maximum de force électromotrice ; c'est ce qui est fait très exactement dans la nouvelle pile. On coule tous les éléments d'une couronne d'un seul coup, dans des moules en terre cuite cloisonnée, dans lesquels les lames de fer ou de nickel sont disposées à l'avance ; le moule reste comme protection des couples et il empêche les coups de feu, tout en permettant d'élever la température au voisinage de la fusion de l'alliage. Ces couronnes sont montées à emboîtement les unes sur les autres, ce qui donne le moyen de démonter la pile avec une grande facilité. Enfin le brûleur, en terre réfractaire, est très bien conçu et parfaitement exécuté.

Une pile de 120 éléments donne 8 volts, sa résistance extérieure ne dépasse pas 3 ohms et elle brûle 180 litres par heure.

Pile Chaudron

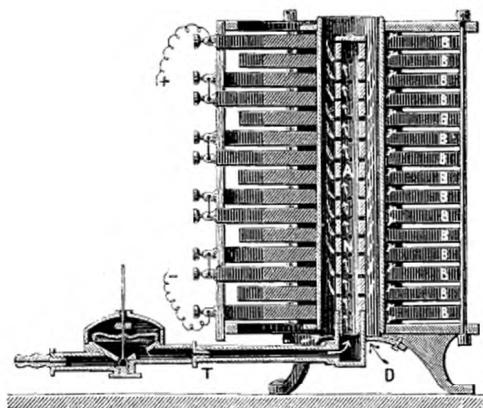
M. Chaudron a cherché à perfectionner la pile Clamond en la modifiant par le détail plutôt que dans son ensemble. Le couple est constitué par une lame de fer étamé et par un bloc d'un alliage antimoine et zinc, connu sous le nom d'al-



PILE THERMO-ÉLECTRIQUE DE CHAUDRON

liage de Marcus. La pile se compose de couronnes superposées, comprenant chacune 10 éléments, séparées les unes des autres par des rondelles d'amiante, abso-

lument comme le faisait M. Clamond dans son premier modèle ; l'assemblage des couronnes est copié de même sur le type primitif. Mais, grâce sans doute à quelques tours de main de fabrication et d'agencement, cette pile est très cons-



COUPE VERTICALE DE LA PILE CHAUDRON

tante, très durable et on a pu la faire fonctionner plusieurs mois de suite sans la détériorer aucunement.

D'après M. Hospitalier, 90 éléments donnent 5,5 volts, la résistance intérieure est de 1,5 ohm et la consommation est évaluée à 200 litres de gaz par heure.

LES ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

à l'Exposition Universelle de 1889

PAR

A. WITZ

Deux électrodes polarisées étant réunies par un fil conjonctif restituent l'électricité qui avait été employée à produire la polarisation ; toute la théorie des accumulateurs est renfermée dans ce peu de mots. Gaston Planté montra qu'en employant des lames de plomb, on obtenait les effets de polarisation les plus considérables : il eut l'idée d'utiliser cette propriété pour réaliser un accumulateur d'énergie électrique ; c'est de lui que vient le nom et la chose.

Le couple de Planté était composé de deux lames de plomb parallèles et très rapprochées plongés dans l'eau acidulée : le passage de courant de charge oxydait le métal au pôle positif et réduisait l'oxyde qui pouvait recouvrir le pôle négatif ; la décharge tendait à remettre les lames dans leur premier état. Il réussit à emmagasiner 60.000 coulombs par kilogramme de plomb : l'énergie disponible était de 40.000 à 50.000 watts, soit de 5.000 kilogrammes environ. On n'a pas fait mieux : il est vrai que nous signalons ici des résultats de laboratoire.

Mais pour obtenir de semblables résultats, il fallait soumettre préalablement le plomb à une série de charges et de décharges, qui avaient pour effet de le rendre poreux et de faire intervenir une masse de métal plus considérable dans la réaction. Cette opération préliminaire s'appelle la *formation* de l'accumulateur : elle était longue et dispendieuse. Planté trouva le moyen de l'abréger par une immersion des lames dans de l'eau acidulée par moitié de son volume d'acide azotique ; mais le travail était encore trop coûteux.

C'est alors que M. Camille Faure eut l'idée ingénieuse de recouvrir les feuilles de plomb d'une pâte de minium retenue par un sac de feutre, fixé au métal par des rivets de plomb : l'invention est de 1881. Par cet artifice, la formation fut régulièrement abrégée et facilitée ; il suffisait dès lors de charger l'accumulateur à refus deux fois et de le décharger pour que le minium donnât du peroxyde sur la lame positive et du plomb réduit sur la lame négative ; on obtient de la sorte une formation profonde d'une capacité considérable.

Les appareils Planté et Faure sont les deux types auxquels peuvent être ramenés tous les accumulateurs qui se disputent aujourd'hui la faveur des électri-

ciens : nombreux sont les modèles qui ont été produits en dix ans, mais la classification que nous venons d'établir permet de les comprendre tous.

Par des artifices spéciaux, on a réussi à augmenter la surface des lames de Planté sans augmenter le volume et le poids des appareils : on a employé dans ce but les moyens les plus divers. Le plomb a été strié, gondolé, gaufré, ajouré, feutré, grenaillé, étiré, etc. En somme le type de Planté n'a été que modifié.

Le sac de feutre de M. Faure se détruisait rapidement et l'inventeur perfectionna lui-même son appareil en fixant mieux le minium sur le métal ; en collaboration avec MM. Sellon et Volckmar, il imagina de quadriller le plomb et de comprimer la pâte dans les creux ; c'est l'origine des accumulateurs à cellules. On fit mieux encore en adossant deux lames à grillage et en intercalant dans l'intervalle des pastilles qui ne pouvaient ni se briser ni se détacher. En définitive, c'est toujours le type de M. Faure qu'on reproduit sous des formes diverses.

Le grand ennemi des accumulateurs est le foisonnement des plaques par la sulfatation du plomb : un volume de plomb peroxydé donne deux volumes de sulfate de plomb ; le plomb poreux réduit augmente lui-même de volume. Cet inconvénient existe aussi bien avec les accumulateurs, genre Planté, formés en plein plomb, qu'avec les accumulateurs à cellules. C'est ainsi que les plaques se désagrègent et se détruisent. Augmenter la durée des appareils est donc le premier objectif des inventeurs : tous y visent et ils prétendent presque tous avoir réussi, c'est ce qu'on verra par l'usage.

Un autre défaut à éviter, c'est la formation des courts circuits : on supprime ce grave inconvénient par une disposition ingénieuse des plaques permettant de rendre impossible tout contact direct ou indirect entre-elles. On peut dire que c'est fait.

Il faut encore établir les prises de courant de telle sorte que l'eau acidulée ne puisse les atteindre ; on réalise bien cette modification aujourd'hui.

Enfin, les plaques grillagées, qui servent de support aux pastilles, subissent une véritable formation en service et elles perdent leur solidité ; on y obvие en alliant divers métaux au plomb ; l'antimoine a donné de bons résultats.

Toutes ces questions ont été parfaitement étudiées dans ces derniers temps et le problème approche de sa solution, sans qu'on puisse se flatter néanmoins de posséder un accumulateur sans reproche.

Pour se rendre compte de la valeur d'un accumulateur, il faut déterminer cinq éléments, qui sont :

- 1^o Le rapport du poids utile de plomb au poids brut ;
- 2^o Le débit des ampères par kilogramme de plaques ;
- 3^o La puissance normale en watts ;
- 4^o La capacité des watts-heure ;
- 5^o Le prix par kilogramme de plomb utile.

Examinons tour à tour ces diverses questions.

Et d'abord, les deux tiers du poids total sont représentés généralement par les plaques, l'autre tiers par le liquide et la caisse. Mais on peut faire mieux.

Le régime de décharge est celui que l'on veut, mais il y a un régime normal qui varie de 1 à 1,8 ampères ; il existe des accumulateurs qu'on a pu pousser à 2,5 ampères.

La puissance se calcule par le nombre d'ampères débités et la chute de potentiel utilisable ; on multiplie les ampères par les volts pour obtenir des watts. On obtient généralement de 2 à 4 watts par kilogramme de plomb.

Pour calculer la capacité, il faut connaître les ampères-heure par kilogramme : une bonne moyenne est de 11 ampères-heure, soit 22 watts-heure.

Reste la question du prix : on estime qu'il ne doit point dépasser 3 à 4 francs par kilogramme de plaque. Ce prix diminue quand les dimensions augmentent la concurrence tend d'autre part à réduire les prétentions des constructeurs, qui étaient un obstacle réel à l'emploi des accumulateurs en bien des cas.

On peut se placer à un autre point de vue : un accumulateur coûte, jusqu'à 500 ampères-heure de capacité, environ 25 centimes l'ampère-heure. Comme la différence de potentiel disponible est comprise entre 2,2 et 1,8 volts, on peut estimer le prix d'achat du watt-heure à 12,5 centimes environ. Mais ces prix varient avec les dimensions, la capacité et le débit des appareils.

Ces données peuvent servir de base à une comparaison rationnelle et à une appréciation exacte des divers types d'accumulateurs.

Abordons maintenant la description des principaux appareils exposés.

I. — ACCUMULATEURS DU GENRE PLANTÉ

Accumulateur Planté

C'est en 1859 que M. Gsston Planté a créé la pile secondaire au plomb qui a illustré son nom : le programme qui nous a été tracé ne nous permet pas de nous arrêter à la description d'un appareil connu de tous et qui a été exposé et récompensé maintes fois déjà : mais nous manquerions à nos devoirs si nous ne signalions pas le nouvel hommage qui a été rendu à la mémoire de cet électricien aussi éminent qu'il était modeste et désintéressé.

Le jury lui a décerné un grand prix d'honneur et le public s'est intéressé vivement à la belle collection des éléments Planté, parmi lesquels se trouvaient ses

premiers types, ratifiant ainsi d'avance le jugement qui, accordait au créateur des accumulateurs la plus haute récompense de l'Exposition.

Accumulateur Reynier

Dans cet accumulateur les plaques positives et négatives sont identiques : elles sont formées d'un plissé encastré dans un cadre venu de fonte. Ce plissé est obtenu, par le laminage d'une feuille de plomb dans laquelle on imprime des stries et des hachures extrêmement rapprochées ; la feuille est ensuite plissée mécaniquement ; le cadre la maintient et s'oppose à la dislocation produite par ce foinnement.

On forme les plaques par le nouveau procédé Planté, basé sur une attaque préalable à l'acide azotique ; mais un traitement prolongé à l'eau courante élimine les dernières traces de cet acide énergique ; on évite ainsi le gauchissement du plissé. Les plaques sont séparées par des lanières de gutta et des planchettes de bois pleines, mais très minces : la résistance intérieure est légèrement augmentée par ce dispositif.

Les tiges de connexion sont en nickel et elles sont réunies par des barres nickelées. Mais il existe un autre type, dont les plaques sont amovibles, chacune d'elles portant un crochet qui plonge dans une rigole pleine de mercure.

M. Reynier, dont les travaux sur les accumulateurs sont bien connus, a obtenu une médaille d'argent.

Accumulateur Simmen

Les plaques de cet appareil sont formées par un véritable feutre de plomb, obtenu en faisant couler ce métal à travers une sorte de passoire et en froissant ensemble les fils obtenus. L'étendue des contacts est ainsi considérablement augmentée, mais ce feutre présente d'autre part de sérieux inconvénients, car le plomb foisonne, se dilate et perd de sa perméabilité (¹)

(¹) M. Howell Crompton avait obtenu un feutre analogue par insufflation d'air dans un bain de plomb fondu : cet accumulateur devait être exposé, mais nous ne l'avons point vu et ne pouvons par suite fournir sur sa construction de plus amples renseignements.

Accumulateur Dujardin

Cet accumulateur appartient encore au genre Planté : ses plaques sont striées et gondolées, puis on les empile l'une sur l'autre et on les maintient par un cadre de plomb massif. Chaque plaque est donc formée de lamelles de plomb mises de champ et elle présente une grande perméabilité ; son épaisseur est de 10 millimètres.

La formation est effectuée dans un bain spécial dont M. Dujardin garde le secret ; elle s'opère, dit-on, en moins de 24 heures. Les plaques négatives s'obtiennent par réduction des plaques positives obtenues d'abord.

Les plaques se trouvent renfermées dans une caisse dont les parois sont en alliage plomb-antimoine : les interstices sont remplis de sable siliceux en gros grains ; enfin on mastique par dessus la caisse une lame de verre percée de quelques trous. La résistance de cet accumulateur est assez grande, mais il est parfaitement stable et il donne de bons résultats, ce que le jury a reconnu par une médaille d'argent.

Accumulateur Lejeune

M. Lejeune emploie des lames de plomb striées par un procédé spécial qui doit assurer un large contact aux liquides et des voies faciles aux gaz.

Accumulateur de la Société du Travail électrique des métaux

Cette société emploie les procédés de fabrication de M. Laurent-Cély, qui permettent d'augmenter la capacité de l'accumulateur, tout en lui assurant une grande durée relative. La lame est faite d'un alliage de plomb et d'antimoine et elle est évidée ; on coule dans les trous du chlorure de plomb fondu, puis on plonge cette plaque dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique : il se forme un couple voltaïque, si l'on introduit un cylindre de zinc dans le liquide excitateur, et le chlorure est réduit en formant une masse spongieuse, dont la densité ne dépasse pas 5,7.

La formation de ces plaques est rapide et profonde ; on ne constate point de foisonnement et les plaques positive et négative se conservent bien.

La société du travail électrique des métaux a obtenu une médaille d'argent.

Accumulateur Garassino

Imaginons que les lames de plomb soient soumises à un traitement électrolytique dans un bain spécial, de manière à les recouvrir d'un dépôt de plomb spongieux et qu'on les comprime ensuite : nous réaliserons ainsi très rapidement des lames à formation profonde. Tel paraît être le procédé Garassino qui nous semble assez analogue au procédé inventé par M. de Montaud ; toutefois, nous ne citons cette analogie que pour mieux faire saisir le genre de préparation que M. Garassino fait subir à ses plaques. Ces plaques sont formées en 8 heures, sans inversion de courant ; elles ne foisonnent pas et sont tellement bien comprimées que leur surface ne peut être rayée à l'ongle : on y voit une sorte de quadrillage, qui empêche la chute de la matière active. M. Garassino a obtenu une médaille de bronze.

II. — ACCUMULATEURS DU GENRE FAURE

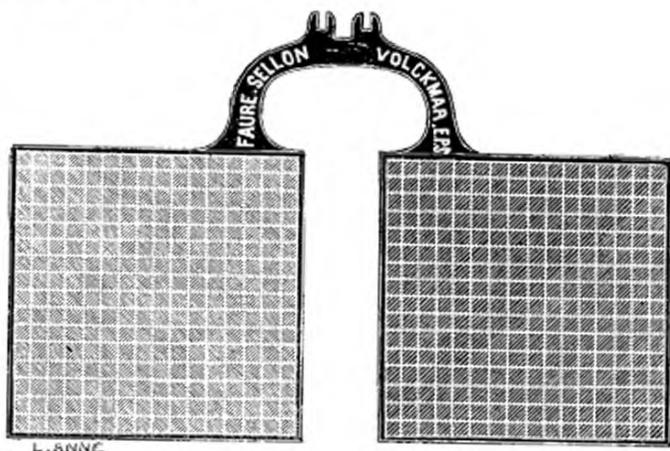
M. Faure a présenté son accumulateur à sac de fente à l'Académie des Sciences le 18 avril 1881 ; le *Scientific American* a décrit le nouveau modèle à cellules Faure-Sellon-Volckmar, dans son numéro du 13 mai 1882. Nous avons cru utile de rappeler ces dates avant de commencer la description des accumulateurs de ce genre. La pâte, fixée mécaniquement sur les plaques, était au début une pâte au minium et à l'eau ; l'électrolyse donnait du peroxyde au pôle positif et du plomb métallique au pôle négatif. On a depuis lors essayé des pâtes de minium ou de litharge broyées dans l'acide sulfurique, on y a mêlé de la pierre ponce, du coke en grains, etc. ; les avantages de ces diverses compositions ne sont pas encore bien établis, mais ils peuvent présenter un certain intérêt aussi bien au point de vue de la durée des plaques que de leur bon fonctionnement.

Accumulateur Philippart (E. P. S)

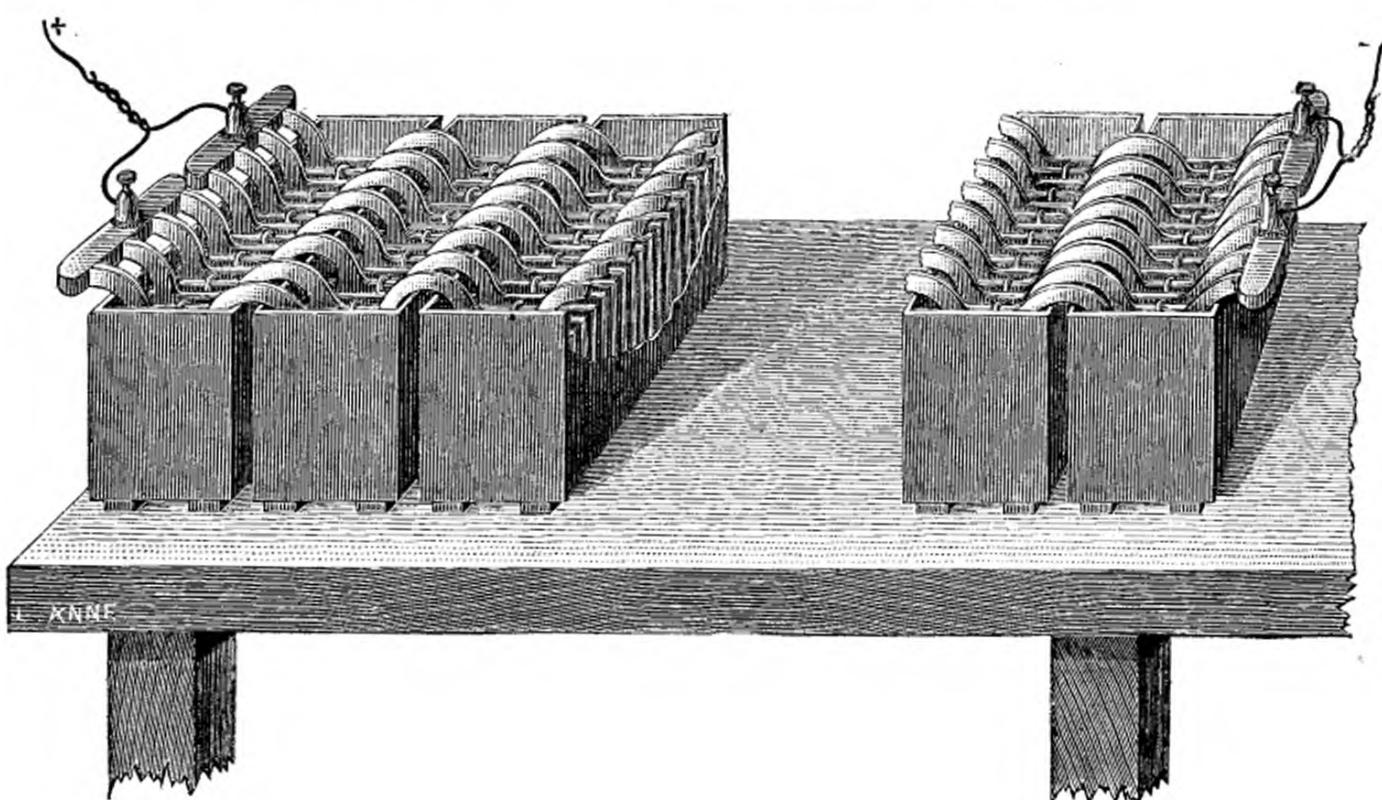
MM. Philippart frères exposent l'accumulateur connu sous le nom d'E. P. S., parce qu'il a été la propriété de l'*Electrical Power Storage Company* ; c'est le modèle Faure-Sellon-Volckmar, modifié dans sa disposition.

Les plaques sont grillagées comme d'ordinaire ; elles sont constituées par un

alliage inoxydable et très solide de plomb et d'antimoine. Les alvéoles sont remplies des pâtes d'oxyde que nous avons indiquées ci-dessus, minium au pôle positif et litharge au pôle négatif.



Ces plaques sont jumelles et amovibles : elles sont assemblées par paire et chaque paire se compose d'une plaque positive et d'une négative, soudées ensemble par un pont courbe en métal massif venu de fonte avec le grillage.



Voici comment se fait le montage d'un accumulateur : les caisses sont rangées parallèlement et les plaques jumelles chevauchent de l'une à l'autre, mais elles sont tournées alternativement en sens contraire, de telle sorte que dans une même caisse, une plaque positive succéde à une négative et ainsi de suite. Toutes

les plaques positives sont reliées entre elles dans la première caisse par une barre qui constitue un pôle de la batterie ; à la dernière caisse, les éléments négatifs sont reliés de même et forment l'autre pôle. Dans les caisses intermédiaires, les plaques positives de la première sont reliées individuellement aux négatives de la seconde, les positives de la seconde aux négatives de la troisième, etc. Des jonctions supplémentaires relient les ponts métalliques en certains points et permettent de faire des prises de courants sur un nombre quelconque d'accumulateurs.

Ce montage assure l'indépendance des plaques, supprime toutes les bornes, facilite l'emballage, le montage et le démontage, le remplacement et l'inspection des plaques : de plus, un court circuit accidentel n'épuise que les plaques en contact. Mais ce dispositif est un peu encombrant, et il n'est possible que pour les installations à poste fixe.

L'écartement des plaques est maintenu soit par des fourchettes de verre, soit par des tampons en caoutchouc ou en ébonite.

MM. Philippart frères ont obtenu une médaille d'argent en même temps que l'*Electrical Power Storage Company* (1).

Accumulateur Gadot

Ce système est caractérisé par la construction spéciale des plaques grillagées qui sont formées de deux lames rivées, dont les alvéoles présentent une dépolie en sens contraire, de telle sorte que les pastilles soient maintenues et comprimées par le foisonnement. Ces plaques sont suspendues et soudées sur une longue tige en plomb : on obvie ainsi au grimpement de l'eau acidulée, qui ne peut plus atteindre et attaquer les bornes de laiton.

Les accumulateurs Gadot, dont le mérite a été reconnu par une médaille d'argent, sont très répandus : la surface des alvéoles est considérable, ce qui permet de réduire au minimum le poids du plomb inactif sans compromettre la solidité des plaques.

Le plomb employé est un alliage inoxydable.

Accumulateur de la Société anonyme l'Électrique (brevet Julien)

L'accumulateur Julien est une modification, de l'élément E. P. S. qui a été l'objet d'expériences nombreuses à l'Exposition d'Anvers, en 1885, et dont l'ap-

(1) MM. Philippart ont pris, au commencement de 1888, la représentation en France des brevets Faure-Sellon-Volckmar.

plication à la traction des tramways a donné des résultats excellents. La carcasse des plaques est constituée par un grillage d'un métal inoxydable, dans la composition duquel il entre 95 parties de plomb, 3,5 d'antimoine et 1,5 de mercure

La société l'*Electrique* a obtenu une médaille d'or pour l'ensemble de son exposition : c'est cette société qui a pris l'initiative des expériences faites en 1885 à Bruxelles, rue de la Loi, pour la traction sur voies ferrées par l'électricité. Une voiture de tramway ordinaire était remorquée par 72 accumulateurs, pesant une tonne environ ; quand une batterie était déchargée on la remplaçait par une autre ce qui exigeait dix minutes à peine. On eût pu à la rigueur fournir une carrière de 60 kilomètres par charge, mais on ne dépassait généralement pas 40 kilomètres. Le rendement était d'environ 35 0/0. Mais, si la dépense était encore grande, on a reconnu que les avantages étaient incontestables, et il suffirait de quelques perfectionnements heureux pour que l'électricité remplaçât les chevaux dans les rues de nos cités (¹).

Accumulateur des Ateliers d'Erlikon (brevet Schoop)

L'inventeur s'est proposé de prolonger la durée de ses appareils : à cet effet les alvéoles, de forme triangulaire, sont remplies d'une pâte de composition spéciale, ne renfermant que les deux tiers de la quantité de litharge ordinairement employée ; il paraît qu'elles ne subissent dès lors ni foisonnement, ni gonflement.

Les résultats de marche ont été remarquables aux essais, mais on ne peut pas encore se prononcer sur la durée des appareils.

Les ateliers d'Erlikon ont obtenu un grand prix pour leur belle exposition : l'accumulateur Schoop a contribué sans doute à ce succès.

Accumulateur de Khotinski

Imaginez une caisse, de 60 centimètres de long, partagée en dix compartiments, par des cloisons de verre verticales : chaque compartiment est subdivisé dans sa hauteur en huit parties, par des bandes de verre horizontales, sur lesquelles reposent des plaques, alternativement positives et négatives. Ces plaques d'une même couche de niveau, sont toutes soudées à une forte bande de plomb

(¹) M. Van Vloten a exposé les maquettes de l'installation du chargement des accumulateurs de la Compagnie des Tramways bruxellois. Le jury lui a décerné une médaille de bronze.

avec laquelle elles ne forment qu'une pièce; ces bandes portent des queues de jonction recouvertes d'émail, qui reçoivent les fils. Tel est l'accumulateur de M. de Khotinski.

La constitution des plaques ne présente rien de particulier: la matière active est emprisonnée dans des sillons creusés dans le plomb.

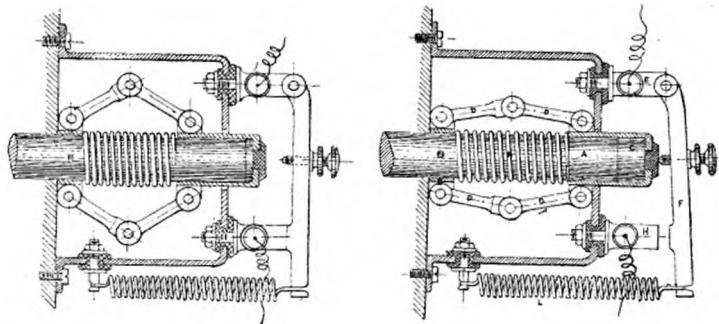
Cet appareil est très employé en Allemagne, et il y donne, dit-on, de fort bons résultats. Il était exposé par M. Daniel Augé.

Il nous reste à signaler les accumulateurs Hubert, à pastilles percées; les accumulateurs Mortelette sans soudure (mention honorable); les accumulateurs Jarriant, du type Planté, exposés par la Société anonyme des applications de l'électricité, et quelques autres, sur lesquels nous n'avons pu recueillir des documents suffisants.

Voici enfin un dispositif mécanique destiné à sauvegarder les dynamos contre la réaction de l'accumulateur pendant le chargement.

Interrupteur automatique des Chantiers de la Buire (Brevet Bobenrieth)

Lorsque la source d'électricité employée à la charge des accumulateurs a un débit variable, il est nécessaire d'interposer entre elle et la batterie un conjon-



tuer automatique, qui coupe le circuit lorsque le moteur se ralentit ou s'arrête. De nombreux appareils ont été imaginés dans ce but par sir William Thomson,

MM. Berjot, Hospitalier, etc.; les chantiers de la Buire en exposaient un nouveau qui est ingénieux.

Sur le bout de l'arbre de la dynamo, se cale un collier, portant deux bielles articulées, attachées d'autre part à un manchon mobile, qui peut coulisser sur l'extrémité du même arbre : un ressort hélicoïdal tend à maintenir le collier et le manchon mobile à la plus grande distance possible. Mais les bielles constituent une sorte de régulateur centrifuge ; elles s'écartent quand l'arbre tourne et rapprochent le collier du manchon. Or, le circuit extérieur de la dynamo se trouve fermé par le manchon mobile quand il vient appuyer sur un contact, et ce résultat n'est obtenu que pour une vitesse déterminée de rotation de l'arbre ; pour une vitesse moindre, la force antagoniste du ressort est prédominante et le circuit est interrompu.

Si l'on rencontre quelque difficulté à fixer l'appareil sur l'arbre de la dynamo, on l'installe à côté, et on le commande alors par une courroie.

L'exposition des accumulateurs, quelque considérable qu'elle parût, était loin d'être complète ; on n'y voyait pas les accumulateurs Elieson, Reckenzaum, Van Gestel, de Montaud, Tamine, Schenk et Farbaki, etc.; les accumulateurs au cuivre, de MM. Commelin et Desmazures, n'étaient pas représentés : bref, il avait de grandes et regrettables lacunes.

Et cependant, on ne saurait se dissimuler l'importance énorme des accumulateurs, pour les installations électriques en général, et en particulier pour l'établissement des stations centrales. Tant que les usines électriques seront obligées de suivre heure par heure les besoins de leur clientèle, et de se monter de machines d'après le maximum du débit horaire, elles ne pourront lutter avantageusement contre les usines à gaz, qui produisent le gaz d'après la consommation moyenne de la journée; l'accumulateur est l'équivalent du gazomètre, il remplit la même fonction et joue le même rôle économique. Si l'accumulateur pouvait être utilisé, les stations centrales travailleraient tout le jour à leur maximum de puissance et de rendement.

Or, quel est l'unique obstacle qui s'oppose à leur emploi ? C'est leur prix élevé d'achat et d'amortissement. On pourrait, en bien des cas, trouver le capital nécessaire à l'acquisition des appareils, mais on est arrêté généralement par la nécessité d'amortir ce capital en quatre ou cinq années : la durée des accumulateurs est donc la principale cause qui limite leur application ; est-ce-à-dire que l'on ne puisse construire des plaques durables ? Il serait injuste de le prétendre, car des plaques bien ménagées peuvent servir dix ans ; mais elles seraient hors d'usage, au bout de peu de mois, si l'on effectuait les charges et les décharges

avec de trop forts courants, si on les vidait complètement, ou si on les chargeait au delà de leur saturation. En définitive, ce sont des instruments délicats. Néanmoins, on les utilise déjà dans plusieurs stations centrales, à Vienne, à Londres et à Berlin, dans les théâtres de Paris, au passage des Panoramas, à Chelsea, etc.: bientôt nous serons fixés sur le taux d'amortissement qu'il convient d'appliquer dans les conditions d'un service courant.

Pour le moment, on peut affirmer sans exagération que la question des accumulateurs est une de celles auxquelles les chercheurs devraient s'intéresser le plus. De bons esprits prétendent en effet, que la distribution de l'énergie électrique par accumulateurs est la seule et vraie solution de l'avenir.

LA TRACTION ÉLECTRIQUE

et la traction animale des tramways

PAR

PAUL GADOT

INGÉNIEUR-ÉLECTRICIEN

AVANT-PROPOS

La traction des voitures publiques, surtout dans les grandes agglomérations, est une question qui s'impose de plus en plus à la sollicitude des municipalités et à l'intérêt des compagnies qui exploitent ces voitures.

Parmi ces dernières, nous ne nous occuperons ici que des tramways, parce que — actuellement et à notre avis — ce sont les seules voitures dont la traction animale puisse être avantageusement remplacée par la traction électrique au moyen des accumulateurs.

Bien que notre étude soit spécialement faite pour le réseau des tramways de Paris, nous pensons qu'elle pourra fournir des documents intéressants pour l'appréciation d'autres cas, et une méthode pour la discussion de chaque exploitation de tramways.

L'examen des calculs et des raisonnements d'ordres divers que nous allons développer, montrera qu'à Paris la traction électrique par accumulateurs remplacerait avec avantages la traction animale pour les tramways.

Il va sans dire que nous n'entendons pas par là donner la solution pour tous les autres cas ; chaque réseau demande tout d'abord une étude spéciale, et c'est ensuite aux administrateurs, aux ingénieurs, de choisir judicieusement le mode de traction, non seulement le plus économique, mais encore le mieux approprié aux exigences locales. Nous serons très heureux si notre travail peut leur être de quelque utilité.

Nous ne voulons pas terminer ces lignes sans remercier bien vivement MM. les Administrateurs de la Compagnie générale des Omnibus de Paris, et particulièrement M. Marsillon, de la manière plus que courtoise avec laquelle ils ont mis à notre entière disposition les documents excessivement précieux et remarquablement ordonnés de leur bureau de statistique.

PRÉLIMINAIRES

Pour fixer les idées, et, ainsi que nous venons de le dire, nous étudierons plus particulièrement la traction sur le réseau de Paris, mais il sera facile, la méthode étant donnée, d'adapter les mêmes raisonnements à l'étude de la traction sur un autre réseau ; il suffira de modifier le point de départ selon les circonstances.

D'après les tableaux de statistique dressés par la Compagnie générale des Omnibus de Paris, qui exploite également la presque totalité des lignes de tramways, une voiture de tramway a fait, pendant les six dernières années, les parcours moyens quotidiens suivants :

(Voir, pour chaque année, le rapport du Conseil d'administration et de la commission de comptabilité. — Tableau n° 15 ; A. Maulde et C^{ie}, imprimeurs, Paris).

En 1883	94,206	kilomètres.
1884	94,507	—
1885	90,694	—
1886	90,703	—
1887	92,257	—
1888	93,876	—

Ce qui donne pour ces six années un parcours moyen quotidien de 92,624 kilomètres par voiture.

(A) Pour l'étude qui va suivre, nous supposerons, en chiffres ronds, un parcours moyen par voiture de 100 kilomètres par jour, ce qui n'est pas beaucoup plus élevé que la moyenne réelle ; remarquons d'ailleurs que la traction électrique provoquerait inévitablement une augmentation de parcours ; il n'y a donc rien d'exagéré, au contraire, à supposer 100 kilomètres avec ce mode de traction.

(B) Les 100 kilomètres seront supposés faits sur une voie ordinaire de tramway, et dans l'état d'entretien que l'on y rencontre ordinairement, et nous supposerons que l'effort moyen de traction par tonne traînée est de 10 kilogrammes.

Ces 10 kilogrammes représentent assez exactement, en effet, la moyenne des efforts dans les paliers, rampes, descentes, lignes droites et lignes courbes, tant pendant les démarrages que pendant les diverses allures auxquelles marche ordinairement un tramway.

(C) Notre étude se fera sur une voiture de tramway de 50 places de la Compagnie générale des Omnibus de Paris, en partant des poids suivants :

Poids d'un car de 50 places et à vide.	3 360 kilogrammes.
Poids de 50 voyageurs, d'un cocher et d'un conducteur, à raison de 70 kilogrammes par personne $= 52 \times 70 =$	3 640 —
Poids total, non compris les accumulateurs, ni la dynamo réceptrice, ni la transmission, ni les mécanismes divers, etc.	7 000 kilogrammes.

(D) Nous partirons des coefficients successifs suivants :

1° Si le moteur à vapeur (ou autre), en chargeant les accumulateurs électriques, développe sur son arbre moteur	100 kilogrammètres.
2° La dynamo de charge rendra 80 % du précédent.	80 —
3° Les accumulateurs ne restitueront, vu les mauvaises conditions dans lesquelles ils travailleront, que 50 % de la précédente, soit.	40 —
4° La dynamo réceptrice rendra 75 % des accumulateurs, soit donc.	30 —
5° Enfin, la transmission, le mécanisme, etc., rendront 83,333 % de la précédente, de sorte que la ou les roues motrices développeront.	25 —

(E) Nous avons vu (B) que l'effort moyen pour traîner une tonne est de 10 kilogrammes; par tonne kilométrique, le travail moyen sera donc 10 000 kilogrammètres; en combinant ce chiffre avec les coefficients successifs précédents (D), on voit que par tonne kilométrique il faut compter en moyenne que :

1° Sur les roues motrices du tramway, il y aura un travail développé de =	10 000 kilogrammètres
2° La dynamo réceptrice développera $\frac{10000 \times 30}{25} = 12 000$ —	—
3° Les accumulateurs fourniront $\frac{12000 \times 40}{30} = 16 000$ —	—
4° La dynamo de charge fournira $\frac{16000 \times 80}{40} = 32 000$ —	—
5° Enfin le moteur, qui fera la charge des accumulateurs, devra fournir $\frac{32000 \times 100}{80} =$	40 000 —

(F) Nous supposerons aux accumulateurs une capacité électrique utilisable de 7 ampères-heure par kilogramme de plaques, et la tension moyenne de décharge un peu diminuée par suite d'un régime assez violent par moments : 1,80 volt.

Chaque kilogramme de plaques pourrait donc développer une énergie totale de $\frac{7 \times 1,80 \times 3\,600}{9,81} = 4\,624$ kilogrammètres.

Donc, pour traîner une tonne sur un parcours de 1 kilomètre, il faudra (voir E 3) $\frac{16\,000}{4\,624} = 3,460$ kilogrammes de plaques.

Pour forcer, nous adopterons 3,500 kilogrammes de plaques, ce qui correspond alors à une capacité de 6,92 ampères-heure par kilogramme de plaques, au lieu de 7, et nous admettrons que ces 3,500 kilogrammes de plaques donnent lieu à un poids brut d'accumulateurs de 5 kilogrammes.

Mais notons alors que chaque kilogramme de plaques n'aura plus à fournir que $\frac{16\,000}{3,500} = 4\,570$ kilogrammètres en chiffres ronds, et, pour être chargé électriquement, n'exigera plus du moteur qu'un travail de $\frac{4\,570 \times 100}{40} = 11\,425$ kilogrammètres.

Les chiffres qui précédent se rapportent aux accumulateurs au plomb et aux oxydes de plomb ou composés plombeux, etc; notre étude a été basée sur leur emploi parce qu'ils sont actuellement de beaucoup les plus répandus, mais notre travail pourrait aussi bien se rapporter à d'autres accumulateurs qui présenteraient les mêmes conditions de prix, de durée, d'entretien, de capacité énergique pour un poids donné, etc.

(G) Nous avons supposé une ligne de tramways qui exigerait 20 voitures de service, ce qui serait le cas pour un trafic déjà considérable; en plus, nous avons compté 5 voitures de réserve, c'est beaucoup plus qu'il n'est nécessaire en pratique. En tout donc 25 voitures.

Pour résoudre la question de la traction électrique au moyen des accumulateurs, il a été proposé deux solutions :

La première consiste à installer les accumulateurs, la dynamo réceptrice, et tout le mécanisme, sur la voiture qui reçoit les voyageurs, et qui prend alors le nom de *voiture automobile électrique*.

Dans la seconde, une véritable *locomotive électrique* porte le mécanisme, la dynamo réceptrice et les accumulateurs, et traîne la voiture à voyageurs complètement séparée.

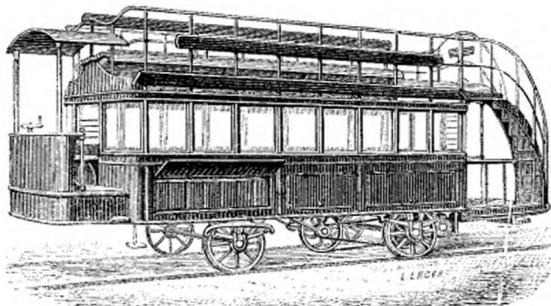
Enfin, nous proposerons nous-même une troisième solution dans laquelle la

voiture à voyageurs ne porte que la dynamo, le mécanisme et la ou les roues motrices, les accumulateurs étant disposés sur un petit chariot spécial placé devant ou derrière la voiture à voyageurs.

Nos préliminaires étant bien posés, nous allons successivement étudier ces trois solutions.

CHAPITRE PREMIER

Voiture automobile électrique



Ce système exigerait des modifications assez coûteuses des anciennes voitures pour y fixer commodément la machine électrique réceptrice et le mécanisme, pour rendre l'une et l'autre bien accessibles, démontables, etc., et surtout pour placer les accumulateurs de façon à pouvoir les mettre, les enlever, les coupler et les visiter aisément, soit par l'intérieur des voitures, ce qui paraît difficile, et entraînerait sans doute bien des détériorations ; soit, ce qui semble tout indiqué, en disposant extérieurement et sous les banquettes des panneaux s'ouvrant facilement, et permettant ainsi d'opérer constamment de l'extérieur.

Ces modifications des voitures existantes constituerait évidemment, et pour les commencements au moins, un inconvénient réel, que, néanmoins nous ne signalerons que pour mémoire, car, si la traction électrique se substitue à la traction animale, ce ne sera pas évidemment tout d'un coup, mais ligne par ligne, de sorte qu'une fois le système adopté, rien n'empêchera d'étudier un type de voiture tout exprès, et de l'exécuter, en suspendant la construction des anciennes voitures.

Si, d'ailleurs, on est amené à activer cette substitution, ne sera-ce pas la preuve

de la supériorité de la traction électrique, dont l'application rapide témoignerait alors de l'économie que l'on trouverait à agir ainsi ?

Du reste, l'adaptation plus ou moins facile d'un nouveau système à un matériel déjà existant, ne doit entrer en ligne de compte que comme comparaison entre plusieurs solutions, et il est certain que le mérite d'un progrès n'est nullement infirmé par le fait d'une application difficile à ce qui existe, et par la nécessité de construire de nouveaux types, si réellement c'est le seul moyen de réaliser ce progrès.

Voyons tout d'abord quel poids d'accumulateurs la voiture automobile devra porter pour faire un trajet donné.

Nous avons vu (F) que, pour traîner une tonne sur la longueur d'un kilomètre, c'est-à-dire par tonne kilométrique, il fallait :

3 kil. 500, de plaques, soit 5 kilogrammes de poids brut d'accumulateurs.

Comme le poids brut des accumulateurs intervient dans le poids total à mouvoir, la formule générale donnant le poids brut d'accumulateurs nécessaire pour transporter un poids déterminé à une distance donnée est :

$$(P + x) L \times 0,005 = x \quad (H)$$

où :

P est le poids en kilogrammes du tramcar, avec ses voyageurs, dynamo, mécanismes, en un mot de tout le tramcar, sauf ses accumulateurs ;

L la longueur à parcourir en kilomètres ;

0,005 le poids brut en kilogrammes d'accumulateurs nécessaire au transport de 1 kilogramme à 1 kilomètre, et qui découle simplement du chiffre de 5 kilogrammes que nous avons trouvé par tonne kilométrique (voir page 40) ;

Et enfin x le poids brut d'accumulateurs cherché, en kilogrammes.

Pour rechercher de quelle manière, la plus économique possible, devra se faire le travail des accumulateurs, nous allons supposer successivement que le service quotidien est fait pour chaque voiture :

1^o Avec un seul groupe d'accumulateurs servant à faire les 100 kilomètres de la journée ;

2^o Avec deux groupes faisant chacun 50 kilomètres, et dont le second est substitué au premier vers le milieu du jour ;

3^o Avec trois groupes faisant chacun 33,333 kilomètres ;

Et ainsi de suite.

1^o *Traction d'une voiture automobile avec un seul groupe d'accumulateurs par jour :*

Nous avons vu (C) que le poids du car, de ses 50 voyageurs, du cocher (rem-

placé ici par un électricien) et du conducteur, est de . . . 7 000 kilogrammes.

Le poids de la dynamo réceptrice et du mécanisme sera environ 500 --

Total. 7 500 kilogrammes.

C'est précisément ce poids qui est figuré par P dans la formule (H).

Donc, dans le cas d'un seul groupe d'accumulateurs, il viendra :

$$(7500 + x) 100 \times 0,005 = x$$

En effectuant les calculs, on trouve $x = 7 500$ kilogrammes, qui représentent donc le poids brut nécessaire d'accumulateurs.

Ce poids énorme dit assez qu'on ne saurait prétendre traîner un car toute la journée avec les mêmes accumulateurs.

2^o Traction d'une voiture automobile avec deux groupes par jour, faisant chacun environ 50 kilomètres

On a :

$$(7500 + x) 50 \times 0,005 = x.$$

Effectuant, on trouve que $x = 2 500$ kilogrammes, qui représentent le poids brut de chacun des deux groupes.

3^o Traction d'une voiture automobile avec trois groupes par jour, faisant chacun environ 33,333 kilomètres :

On a :

$$(7500 + x) 33,333 \times 0,005 = x$$

d'où $x = 1 500$ kilogrammes, poids brut de chacun des 3 groupes d'accumulateurs ;

4^o Avec 4 groupes d'accumulateurs par jour, faisant chacun 25 kilomètres :

On a :

$$(7500 + x) 25 \times 0,005 = x$$

d'où $x = 1 071$ kilogrammes, poids brut de chacun des 4 groupes ;

5^o Avec 5 groupes d'accumulateurs par jour, faisant chacun 20 kilomètres :

On a :

$$(7500 + x) 20 \times 0,005 = x$$

d'où $x = 833$ kilogrammes, poids brut de chacun des 5 groupes ;

6^o *Avec 7 groupes faisant chacun 14,286 kilomètres :*

On a :

$$(7500 + x) 14,286 \times 0,005 = x$$

d'où $x = 577$ kilogrammes, poids brut de chacun des 7 groupes ;

7^o *Avec 10 groupes faisant chacun 10 kilomètres :*

On a :

$$(7500 + x) 10 \times 0,005 = x$$

d'où $x = 395$ kilogrammes, poids brut de chacun des 10 groupes.

Il est entendu qu'en pratique, le changement d'un groupe épuisé par un groupe fraîchement chargé électriquement, ne peut se faire qu'à un terminus de ligne, et non exactement aux longueurs données plus haut, dont on se rapprocherait au mieux selon la longueur totale de la ligne et les besoins du service. Une étude comme celle-ci ne peut évidemment servir que comme renseignement et comme méthode pour l'examen de chaque cas particulier.

Chaque changement de groupes d'accumulateurs comprend l'aller de la voiture de la station au dépôt, qui généralement peut être très voisin, l'enlèvement des accumulateurs épuisés, le placement des accumulateurs nouvellement chargés, leur groupage, etc., et enfin le retour à la station. Cet ensemble d'opérations, si toutes sont convenablement organisées avec des quais spéciaux au dépôt, etc., peut ne pas exiger plus de 15 à 20 minutes et en combinant opportunément ces changements avec les plus longs stationnements, on peut, croyons nous, ne pas être obligé, au moins quand il n'y aura que 1 ou 2 changements d'accumulateurs par jour, d'augmenter le nombre de voitures de service que nous avons supposé être de 20, par analogie du reste avec ce qui existerait avec la traction animale.

Nous allons étudier successivement les diverses hypothèses précédentes, pour lesquelles nous adopterons les chiffres contenus dans le tableau suivant, et qui découlent du reste des calculs que nous avons établis plus haut.

Nombre de groupes d'accumulateurs pour la traction d'une voiture pendant une journée	Longueur en kilomètres parcourue par chaque groupe	Poids brut de chaque groupe en kilogrammes	Poids net des plaques de chaque groupe en kilogrammes	Poids brut total de tous les groupes d'une voiture en kilogrammes	Poids net total des plaques de tous les groupes d'une voiture en kilogrammes
1 groupe	100 kilomètres	7 500 kilogr.	5 250 kilogr.	7 500 kilogr.	5 250 kilogr.
2 »	50 —	2 500 —	1 750 —	5 000 —	3 500 —
3 »	33,333 —	1 500 —	1 050 —	4 500 —	3 150 —
4 »	25 —	1 071 —	750 —	4 284 —	3 000 —
5 »	20 —	833 —	583 —	4 165 —	2 915 —
7 »	14,286 —	577 —	404 —	4 039 —	2 828 —
10 »	10 —	395 —	277 —	3 950 —	2 770 —

1° Avec un groupe :

Nous avons déjà dit que l'énormité du poids d'accumulateurs à transporter rendait cette hypothèse impraticable :

2° Avec deux groupes d'accumulateurs faisant faire chacun 50 kilomètres à la voiture automobile :

Nombre de voitures :

Pour le service	20
En réserve.	5
Total	25

Poids d'accumulateurs. — Chaque voiture exigera, ainsi qu'on a vu au tableau ci-dessus, un poids brut d'accumulateurs de 2500 kilogrammes pour un groupe, c'est-à-dire pour la demi-journée, donc pour les 2 groupes c'est-à-dire pour la journée il faudra 5000 kilogrammes.

Et pour les 20 voitures de service $= 5000 \times 20 = 100000$ kil.

Comptons pour réserve d'accumulateurs, 15 %

du précédent. $\dots = 15000$

D'où poids total brut d'accumulateurs. $\dots = \underline{\underline{115000}}$ kil.

Correspondant à un poids de plaques (voir tableau ci-dessus), par voiture de $1750 \times 2 = 3500$ kilogrammes.

Et pour les 20 voitures de service $= 3500 \times 20 = 70000$ kilos.
 Réserve 15 % = 10500 —
 D'où poids total des plaques = 80500 kilos.

Charge électrique des accumulateurs. — Nous avons vu, page 40, que chaque kilogramme de plaque pour être chargé électriquement exige du moteur un travail de 11 425 kilogrammètres, donc pour les 70 000 kilogrammes de plaques en service, il faudra par jour $11\,425 \times 70\,000 = 799\,750\,000$ kilogrammètres.

Soit : $\frac{799\,750\,000}{75 \times 3600} = 2962$ chevaux-heure.

Soit encore 200 chevaux pendant 15 heures environ.

Ces derniers chiffres vont nous permettre d'établir le prix de revient de la traction « pure » d'une voiture par kilomètre ; ce prix comprendra :

- a. Salaire du personnel au dépôt, affecté à la traction, moins le salaire des chauffeurs et mécaniciens pour la force motrice de charge compris plus loin dans le prix de la force motrice ;
- b. Salaire des cochers-électriciens ;
- c. Force motrice pour le chargement électrique des accumulateurs ;
- d. Intérêt du capital-accumulateurs ;
- e. Menues réparations aux accumulateurs : renouvellement des boîtes, isolants, acide, eau, etc., main-d'œuvre du changement des plaques mais non leur fourniturie ;
- f. Amortissement des plaques d'accumulateurs mises hors de service ;
- g. Intérêt du capital-dYNAMOS réceptrices et mécanismes des cars ;
- h. Réparations aux dynamos-réceptrices et aux mécanismes des cars ;
- i. Amortissement des dynamos réceptrices et des mécanismes des cars ;
- j. Huiles, chiffons et menus détails pour les dynamos et les mécanismes des cars ;
- k. Entretien et renouvellement de l'outillage relatif à la traction au dépôt et sur les cars ;
- l. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, des transmissions, courroies, etc., au dépôt ;
- m. Imprévus et divers ;
- n. *A déduire* : La recette provenant des plaques d'accumulateurs mises hors d'usage.

Nous supposerons le cas le plus défavorable d'un dépôt ne servant qu'à une seule ligne ; toutes les dépenses seront d'abord calculées pour un an.

a. Salaire du personnel au dépôt, etc. :

Appointements d'un chef de dépôt.	4800	francs.
Contre-maître électricien	3600	—
6 électriciens à 2 700	16200	—
8 manœuvres à 1 800	14400	—
2 manœuvres en plus nécessités par le changement des groupes d'accumulateurs	3600	—
Personnel au dépôt	<u>42600</u>	francs.

b. 21 cochers-électriciens, dont un en plus pour toute éventualité, à 3 000 francs 63000 francs.

c. Force motrice de charge. — Par jour on a 2962 chevaux-heure que nous compterons chacun à 0,085 franc, ce qui comprendra tout très largement : intérêt et amortissement des moteurs et des chaudières, salaire des mécaniciens et chauffeurs, charbons, huiles, chiffons, entretien, réparations, etc. ; ce prix comprendra également l'huile et les chiffons pour les dynamos de charge et pour les transmissions.

Par jour on aura donc $2962 \times 0,085 = 251,77$ francs.

Et par an $251,77 \times 365 = 91896,05$ francs.

d. Intérêt du capital-accumulateurs : Nous avons besoin de 80 500 kilog. de plaques montées en accumulateurs ; chaque kilogramme revient avec la formation, les boîtes, les isolants, le montage, l'eau acidulée, etc, à 1,25 franc.

Le capital-accumulateurs sera donc de :

$80500 \times 1,25 = 100625$ francs dont l'intérêt à 6 % constituera une dépense annuelle de 6037,50 francs.

e. Menues réparations aux accumulateurs, aux boîtes, isolants, eau, acide changement des plaques sans la fourniture de ces dernières.

Par an nous compterons 0,30 franc par kilogramme de plaques.

Donc par an nous aurons :

$80500 \times 0,30 = 24150$ francs.

f. Amortissement des plaques d'accumulateurs. — Les plaques de service seules, sans boîtes ni rien autre, reviendraient à 0,85 franc le kilogramme elles coûtent donc $70000 \times 0,85 = 59500$ francs.

À cause du service excessivement fatigant qu'elles feront, des manœuvres continues qu'elles subiront, des trépidations de la voiture, etc., nous supposerons que les plaques tant positives que négatives seront en moyenne à renouveler entièrement deux fois par an ; on sait d'ailleurs que les négatives s'usent infinitéiment moins que les positives.

De ce fait, on aura donc une dépense annuelle de :

$59\,500 \times 2 =$	119 000 francs.
De laquelle il convient de déduire le prix des plaques usées à raison de 0,20 franc le kilogramme, soit $70\,000 \times 2 \times 0,20 = . . .$	<u>28 000</u> —
Reste une dépense annuelle de.	<u><u>91 000</u></u> francs.

g. Intérêt du capital : Dynamo réceptrices et mécanismes des cars, etc.

— Pour la transformation de chaque voiture, l'achat de la dynamo réceptrice, des mécanismes, etc., il faut compter sur une dépense de 3 000 francs, soit pour les 25 voitures sur un capital de $25 \times 3000 = 75\,000$ francs dont l'intérêt à 6 % représente une dépense annuelle de 4 500 francs.

h. Réparations aux dynamos réceptrices et aux mécanismes des cars.

— Ces dépenses peuvent s'évaluer annuellement par voiture à 500 francs environ, soit pour les 25 voitures 12 500 francs.

i. Amortissement des dynamos réceptrices et des mécanismes des cars.

— Nous supposerons qu'il se fait à raison de 20 % par an, en raison des circonstances spéciales auxquelles sont soumises les dynamos et les mécanismes ; de ce fait on aura donc une dépense annuelle de

$$75\,000 \times 0,20 = 15\,000 \text{ francs.}$$

j. L'huile, les chiffons, les menus détails pour les dynamos et les mécanismes des cars peuvent être évalués à raison de 2,50 francs par jour et par voiture en service, soit donc par an :

$$2,50 \times 20 \times 365 = 18\,250 \text{ francs.}$$

k. L'entretien, le renouvellement des outils au dépôt et sur les cars peuvent être estimés annuellement à 6 000 francs.

l. Intérêt et amortissement des dynamos de charge au dépôt, des transmissions, courroies, etc. — Il y aura environ 160 chevaux électriques à environ 200 francs le cheval, représentant donc un capital de 32 000 francs.

A 25 % pour tout : intérêt, amortissement, réparations, etc, on aura par an une dépense de 8 000 francs.

m. Imprévus et divers, 10 000 francs par an.

Nous pouvons maintenant résumer toutes ces dépenses, et en tirer le prix de la traction par kilomètre et par voiture.

Récapitulation des dépenses annuelles relatives à la traction des cars de

50 places d'une ligne, avec la voiture automobile électrique et avec deux groupes d'accumulateurs par voiture faisant chacun 50 kilomètres par jour.

	francs
a. Salaire du personnel au dépôt	42 600 »
b. Cochers-électriciens	63 000 »
c. Force motrice de charge.	91 896,05
d. Intérêt du capital-accumulateurs	6 037,50
e. Menues réparations aux accumulateurs	24 150 »
f. Amortissement des plaques d'accumulateurs. .	91 000, »
g. Intérêt des dynamos et des mécanismes des cars	4 500 »
h. Réparations — — —	12 500 »
i. Amortissement	15 000 »
j. Huiles, chiffons, etc., pour les dynamos et les mécanismes des cars	18 250 »
k. Entretien et renouvellement des outils du dépôt et sur les cars.	6 000 »
l. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, transmissions, courroies. . .	8 000 »
m. Imprévus et divers.	<u>10 000</u>
Total annuel de la traction pure pour les 20 voitures de service d'une ligne	<u><u>392 933,55</u></u>

Le nombre annuel de kilomètres parcourus par toutes les voitures étant de $100 \times 20 \times 365 = 730\,000$; le prix de la traction pure d'une voiture par kilomètre ressort donc à 0,538 franc.

Avant de passer à l'hypothèse de trois groupes, nous pouvons voir quel serait approximativement le capital nécessaire dans le cas de deux groupes pour installer la traction électrique sur une ligne.

	francs.
Machines à vapeur et chaudière, 200 chevaux à 750 fr.	150 000
Machines électriques pour la charge, transmissions, courroies, etc.	32 000
Agencement des dépôts, montages, etc.	18 000
Accumulateurs	100 625
Transformations des cars	75 000
Outilage du dépôt et des cars.	6 000
Imprévus et divers	<u>23 375</u>
Total	<u>405 000 francs.</u>
Soit $\frac{405\,000}{20} = 20\,250$ francs par voiture en service.	

Continuons maintenant par l'étude du cas suivant :

3° Avec 3 groupes d'accumulateurs faisant faire chacun 33,333 kilomètres à la voiture automobile.

Pour ne pas fatiguer l'attention, dans la présente hypothèse comme dans les

suivantes, nous ne répéterons pas à nouveau tous les longs détails donnés dans le cas précédent de deux groupes ; nous changerons les chiffres selon les cas, en rappelant seulement les grandes lignes de nos arguments.

Nombre de voitures : comme dans le cas précédent (page 45) 25 voitures.

Poids d'accumulateurs. — Nous avons vu, tableau page 45 que pour chacun des 3 groupes le poids brut est de 1500 kilogrammes.

Donc, pour l'ensemble des trois groupes :

$$1\ 500 \times 3 = 4\ 500 \text{ kilogrammes.}$$

Et, pour les 20 voitures de service, $4\ 500 \times 20 = \dots \dots \dots$	90 000 kilogrammes.
Comptons toujours 15 % pour réserve, soit	13 500 —
D'où, poids total brut d'accumulateurs	<u>103 500 kilogrammes.</u>

Correspondant à un poids de plaques (voir tableau page 45) par voiture de :

$$1050 \times 3 = 3\ 150 \text{ kilogrammes.}$$

Et, pour 20 voitures, $3\ 150 \times 20 = \dots \dots \dots \dots \dots$	63 000 kilogrammes.
Réserve 15 %!	9450 —
D'où, poids total des plaques.	<u>72 450 kilogrammes.</u>

Charge électrique des accumulateurs. — La charge de chaque kilogramme de plaques exigeant du moteur (voir page 40) un travail de 11 425 kilogrammètres ; pour charger les 63 000 kilogrammes de plaques en service, il faudra par jour :

$$63\ 000 \times 11\ 425 = 719\ 775\ 000 \text{ kilogrammètres ;}$$

$$\text{Ou } \frac{719\ 775\ 000}{75 \times 3\ 600} = 2\ 666 \text{ chevaux-heures.}$$

Soit 157 chevaux pendant 17 heures environ.

D'où les prix de revient des 13 articles qui composent les frais de traction pure, et dont la nomenclature se trouve page 46.

a. Salaire du personnel au dépôt, moins celui qui est affecté à la force motrice.

Pour deux groupes nous avions (page 47) par an 42 600 francs ; pour trois groupes nous avons 10 % de moins de plaques à surveiller, à charger, etc., mais aussi plus de changements de groupes sur les voitures, tout cela se compensera à peu près, nous conserverons donc le même chiffre de 42 600 francs.

b. Cochers-électriciens :

Comme avec deux groupes 63 000 francs.

c. Force motrice de charge.

Par jour 2 666 chevaux-heure à 0,085 franc = 226,61 francs ;

Et par an $226,61 \times 365 = 82\,712,65$ francs.

d. Intérêt du capital-accumulateurs.

72 450 kil. de plaques à 1,25 franc avec boîtes etc., représentent un capital de 90 562,50 francs dont l'intérêt annuel à 6 % fait 5 433,75 francs.

e. Menues réparations aux accumulateurs, boîtes, etc, changement des plaques sans leur fourniture, 72 450 kilogrammes à 0,30 franc par an cela fait 21 735 francs.

f. Amortissement des plaques d'accumulateurs :

Les plaques de service seules valent :

$$63\,000 \times 0,85 = 53\,550 \text{ francs.}$$

En moyenne, renouvellement total deux fois par an, constituant

une dépense de 53 550 francs $\times 2 = \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots$ 107 100 francs

A déduire : le prix des plaques mises hors d'usage :

$63\,000 \times 2 \times 0,20 =$	25 200
Reste dépense annuelle	81 900 francs

g. Intérêt des dynamos réceptrices et des mécanismes des cars. — Même chose qu'avec deux groupes (voir page 48) 4 500 francs par an.

h. Réparations aux dynamos et mécanismes des cars. — Même chose qu'avec deux groupes (voir page 48) 12 500 francs par an.

i. Amortissement des dynamos réceptrices et des mécanismes des cars, comme avec 2 groupes (voir page 48) 15 000 francs par an.

j. Huile, chiffons, menus détails pour les cars. — Comme avec deux groupes (voir page 48) 18 250 francs par an.

k. Entretien et renouvellement des outils au dépôt et sur les cars. - Comme avec deux groupes (voir page 48) 6 000 francs par an.

l. Intérêt et amortissement des dynamos de charge, des transmissions, courroies, etc. au dépôt. — Il y aura environ 126 chevaux électriques à 200 francs le cheval, ce qui représentera un capital de 25 200 francs.

A 25 % pour intérêt, amortissement, réparations etc., on aura par an une dépense de 6 300 francs.

m. Imprévu et divers 10 000 francs par an.

Récapitulation des dépenses annuelles relatives à la traction pure avec trois groupes d'accumulateurs par voiture et par jour.

	francs.
a. Salaire du personnel du dépôt	42 600 »
b. Cochers-électriciens	63 000 »
c. Force motrice de charge	82 712,65
d. Intérêt du capital-accumulateurs.	5 433,75
e. Menues réparations aux accumulateurs.	21 735 »
f. Amortissement des plaques d'accumulateurs . .	81 900 »
g. Intérêt des dynamos et des mécanismes des cars	4 500 »
h. Réparations — — —	12 500 »
i. Amortissement — — —	15 000 »
j. Huiles, chiffons, etc., pour les cars — — —	18 250 »
k. Entretien et renouvellement des outils au dépôt et sur les cars	6 000 »
l. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, transmissions, courroies . . .	6 300 »
m. Imprévus et divers.	10 000 »
Total annuel de la traction pure pour toutes les voitures d'une ligne	369 931,40

Le nombre annuel de kilomètres parcourus par toutes les voitures étant de $100 \times 20 \times 365 = 730 000$, le prix de revient de la traction pure d'une voiture par kilomètre ressort donc à 0,507 franc.

On voit donc que par rapport à l'hypothèse des deux groupes c'est une diminution d'environ 6 % sur le prix du kilomètre-voiture.

Nous pouvons apprécier aussi quel serait approximativement le capital nécessaire dans le cas de trois groupes, pour installer la traction électrique sur une ligne :

	francs.
Machines à vapeur et chaudières, 157 chevaux à 750 fr.	117 750 »
Machines électriques pour la charge, transmissions, courroies, etc.	25 200 »
Agencement des dépôts, montage, etc.	18 000 »
Accumulateurs	90 562,50
Transformation des cars	75 000 »
Outilage du dépôt et des cars	6 000 »
Imprévus et divers	21 487,50
Total.	354 000 »

Soit $\frac{354 000}{20} = 17 700$ francs par voiture en service.

4^e Traction avec 4 groupes par voiture et par jour.

Nombre de voitures. — Au lieu d'avoir 20 voitures faisant chacune les 100

kilomètres, on sera amené, vu la fréquence des changements de groupes d'accumulateurs qui immobiliseront chaque voiture pendant une fraction assez appréciable de la journée, à avoir 21 voitures de service, faisant chacune seulement 95,240 kilomètres ; chacun des 4 groupes d'accumulateurs faisant faire à la voiture 23,810 kilomètres.

Done :

Voitures de service	21
Voitures de réserve	5
Total	<u>26 voitures.</u>

Poids d'accumulateurs. — Le tableau, page 45 du poids des groupes d'accumulateurs ne peut pas nous servir ici, car la longueur parcourue par chacun d'eux est réellement de 23,810 kilomètres au lieu de 25 kilomètres portés sur le tableau.

Le poids brut de chacun des 4 groupes sera déduit de la formule (H) où il vient en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$(7500 + x) 23,810 \times 0,005 = x;$$

d'où : x , poids brut d'un groupe = 1014 kilogrammes.

Donc par voiture, $1014 \times 4 = 4056$ kilogrammes.

Et pour les 21 voitures de service :

4056×21	85 176 kilogrammes
15 % de réserve	<u>12 776 —</u>
D'où, poids total brut d'accumulateurs	<u>97 952 kilogrammes.</u>

Correspondant à un poids de plaques,
par groupe = 710 kilogrammes.

Par voiture, $710 \times 4 = 2840$ kil.

Et pour 21 voitures de service, 2840×21 59 640 kilogrammes.

15 % de réserve 8 950 —

D'où, poids total des plaques = 68 590 kilogrammes.

Charge électrique des accumulateurs. — La charge de chaque kilogramme de plaques exigeant du moteur (voir page 40) un travail de 11 425 kilogrammètres, pour charger les 59 640 kilogrammes de plaques de service, il faudra par jour $59 640 \times 11 425 = 681 387 000$ kilogrammètres, soit 2 524 chevaux-heure.

Soit 140 chevaux pendant 18 heures environ.

On remarquera que les accumulateurs étant pris par la traction pendant un temps moins long, nous pouvons en consacrer davantage à la charge, pour diminuer un peu le capital moteur.

De ce qui précède, il est aisé de déduire les prix de revient des 13 articles constituant les frais de traction pure. (Voir leur nomenclature page 46).

a. Salaire du personnel au dépôt, moins celui qui est affecté à la force motrice :

Pour 2 groupes, nous avions par an (v. p. 47). 42 600 francs.

Nous avons ici environ 15 % de moins de plaques à surveiller, à charger, etc., mais le nombre de changements de groupes est notablement plus grand ; nous pensons qu'il n'y a pas compensation et qu'il faut ajouter ici un manœuvre à 1 800 fr.

1 800 —

Donc total annuel. 44 400 francs.

b. Cochers électriciens, 22 au lieu de 21, à cause de l'augmentation d'une voiture en service ; à 3 000 francs = 66 000 francs.

c. Force motrice de charge :

Par jour 2 524 chevaux-heure à 0 fr. 085 = 214 fr. 54.

Et par an, 214 fr. 54 × 365 = 78 307 fr. 10.

d. Intérêt du capital-accumulateurs. — Les 68 590 kilogrammes de plaques à 1 fr. 25 le kilogramme, avec boîtes, etc., représentent un capital de 85 737 fr. 50, dont l'intérêt à 6 % par an fait 5 144,50 francs.

e. Menues réparations aux accumulateurs, boîtes, etc., changement des plaques sans leur fourniture, 68 590 kilogrammes à 0 fr. 30 par an = 20 577 fr.

f. Amortissement des plaques d'accumulateurs. — Les plaques de service seules valent :

59 640 × 0,85 = 50 694 francs.

Le renouvellement moyen de deux fois par an constitue une dépense de 50 694 × 2 101 388 francs.

De laquelle il convient de déduire le prix des

plaques réformées, 59 640 × 2 × 0 fr. 20. 23 856 —

Reste dépense annuelle 77 532 francs.

g. Intérêt des dynamos réceptrices et des mécanismes des cars. — La dépense pour la transformation de chaque voiture a été estimée à 3 000 francs ; donc pour 26 voitures, le capital résultant de ce fait sera 78 000 francs, dont l'intérêt à 6 % représente une dépense annuelle de 4 680 francs.

h. Réparations aux dynamos, mécanismes, etc., des cars. — Par voi-

ture nous avons déjà évalué cette dépense à 500 francs par an ; donc pour 26 voitures, nous aurons 13 000 francs.

i. Amortissement des dynamos et des mécanismes des cars. — En raison des circonstances spéciales, nous avons déjà dit qu'il aurait lieu à raison de 20 % par an ; il faut donc pour cela compter annuellement sur

$$78\,000 \times 0,20 = 15\,600 \text{ francs.}$$

j. L'huile, les chiffons, les menus détails pour les cars, à raison de 2 fr. 50 par jour et par voiture de service, font, par an, une dépense de :

$$21 \times 2,50 \times 365 = 19\,162 \text{ fr. 50.}$$

k. L'entretien, le renouvellement des outils au dépôt et sur les cars, peuvent être prévus annuellement pour 6 300 francs.

l. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge au dépôt, des transmissions, courroies, etc.

Il y aura environ 112 chevaux électriques, qui, à 200 francs le cheval, représentent un capital de 22 400 francs.

A 25 % par an pour tout : intérêt, amortissement, réparations, on aura une dépense annuelle de 5 600 francs.

m. Imprévus et divers, par an : 10 500 francs.

Récapitulation des dépenses annuelles relatives à la traction pure, avec quatre groupes d'accumulateurs par voiture et par jour.

	francs
a. Salaire du personnel au dépôt	44 400 »
b. Cochers-électriciens	66 000 »
c. Force motrice de charge.	78 307,10
d. Intérêt du capital accumulateurs	5 144,50
e. Menues réparations aux accumulateurs	20 577 »
f. Amortissement des plaques d'accumulateurs . . .	77 532 »
g. Intérêt des dynamos et des mécanismes des cars .	4 680 »
h. Réparations — — —	13 000 »
i. Amortissement — — —	15 600 »
j. Huile, chiffons, etc., pour les cars	19 162,50
k. Entretien et renouvellement des outils des cars, et du dépôt	6 300 »
l. Intérêt, amortissement et réparations des dyna- mos de charge, transmissions, courroies.	5 600 »
m. Imprévus et divers.	10 500 »
Total annuel pour toutes les voitures d'une ligne. .	366 803,10

Le nombre annuel de kilomètres parcourus par toutes les voitures étant de 730 000, le prix de la traction pure d'une voiture pendant un kilomètre ressort donc à 0 fr. 502.

La différence est peu appréciable avec le cas précédent.

Voyons, comme renseignement, quel serait approximativement le capital nécessaire, dans le cas de 4 groupes par voiture, pour installer la traction électrique sur une ligne :

	frances
Machines à vapeur et chaudières, 140 chevaux à 750 francs.	105 000 »
Machines électriques de charge, transmissions, courroies.	22 400 »
Agencement des dépôts, montage, etc	18 000 »
Accumulateurs électriques.	85 737,50
Transformation des cars.	78 000 »
Outilage du dépôt et des cars	6 300 »
Imprévus et divers	<u>21 562,50</u>
	Total. <u>337 000</u> »

Soit $\frac{337\ 000}{21} = 16\ 048$ francs par voiture en service.

5^e Traction avec 5 groupes par voiture et par jour.

Nombre de voitures. — Au lieu de 20 voitures faisant chacune ses 100 kilomètres, on sera amené, vu la fréquence des changements de groupes d'accumulateurs qui immobiliseront chaque voiture pendant une fraction appréciable de la journée, à avoir 22 voitures de service faisant chacune seulement 91 kilomètres ; chacun des 5 groupes d'accumulateurs ferait donc faire 18,200 kilomètres à la voiture.

Donc :

Voitures de service.	22
Voitures de réserve	<u>5</u>
Total.	<u>27</u> voitures.

Poids d'accumulateurs. — Le tableau du poids des groupes d'accumulateurs de la page 45 ne peut nous servir ici, puisque la longueur parcourue est de 18,200 kilomètres au lieu de 20 portés sur le tableau.

Le poids brut de chacun de nos groupes sera donné par la formule (H) où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs, on a :

$$(7\ 500 + x) 18,200 \times 0,005 = x.$$

D'où $x = 750$ kilogrammes poids brut d'un groupe.

Done par voiture $750 \times 5 = 3\ 750$ kilogrammes.

Et pour les 22 voitures de service $3\ 750 \times 22 = 82\ 500$ kilog.

15 % de réserve..... 12 375 —

D'où poids brut total d'accumulateurs 94 875 kilog.

correspondant à un poids de plaques par groupe = 525 kilogrammes.

Done, par voiture, $525 \times 5 = 2\ 625$ kilogrammes.

Et pour 22 voitures de service :

2 625 \times 22..... 57 750 kilogrammes

Réserve 15 %..... 8 663 —

D'où poids total des plaques..... 66 413 kilogrammes.

Charge électrique des accumulateurs. — La charge de chaque kilogramme de plaques exigeant du moteur (v. p. 40) un travail de 11 425 kilogrammètres, pour charger les 57 750 kilogrammes de plaques de service, il faudra par jour $57\ 750 \times 11\ 425 = 659\ 793\ 750$ kilogrammètres. Soit 2 444 chevaux-heure ; soit 130 chevaux pendant 19 heures environ.

De ce qui précède, nous allons déduire les prix de revient des 13 articles constituant les frais de la traction pure (voir leur nomenclature p. 46).

a. Salaire du personnel au dépôt, moins celui qui est affecté à la force motrice :

Pour 2 groupes, nous avions par an..... 42 600 francs

Pour 5 groupes, nous avons presque 20 % en moins de plaques à surveiller, à charger, etc., mais le nombre de changements de groupes est bien plus grand ; nous pensons donc qu'en résumé il faut ici ajouter 2 manœuvres à chacun

1 800 francs par an, soit..... 3 600 —

Donc total annuel. 46 200 francs.

b. Cochers-électriciens, 23 au lieu de 21, à cause de l'augmentation de 2 voitures de service, à 3 000 fr. = 69 000 francs par an.

c. Force motrice de charge. — Par jour : 2 444 chevaux-heure, à 0 fr. 085 = 207 fr. 40, et par an : $207,40 \times 365 = 75\ 701$ francs.

d. Intérêt du capital-accumulateurs :

66 413 kilogrammes de plaques, à 1 fr. 25, avec boîtes, etc., représentent un capital de 83 016 fr. 25, dont l'intérêt annuel à 6 % fait 4 981 francs.

e. Menues réparations aux accumulateurs, boîtes, etc., changement des plaques sans leur fourniture :

66 413 kilogrammes à 0 fr. 30 par an, soit : 19 923 fr. 90.

f. Amortissement des plaques d'accumulateurs :

Les plaques de service seules valent $57\ 750 \times 0\ \text{fr.}\ 85 = 49\ 087\ \text{fr.}\ 50$.

En moyenne, renouvellement total deux fois par an, constituant une dépense de 49 087 fr. 50	$\times 2$	98 175 francs.
De laquelle il faut déduire le prix des plaques réformées,		
$57\ 750 \times 2 \times 0\ \text{fr.}\ 20$		<u>23 100</u> —
Reste, dépense annuelle.		<u>75 075 francs.</u>

g. Intérêt des dynamos réceptrices et des mécanismes des cars. — Il y a 27 voitures; la dépense pour la transformation de chacune d'elles étant évaluée à 3 000 francs, cela fera un capital de 81 000 francs, dont l'intérêt à 6 % représente une dépense annuelle de 4 860 francs.

h. Réparations aux dynamos et aux mécanismes des cars :

Par voiture, nous avons évalué à 500 francs cette dépense annuelle; pour 27 voitures, nous aurons donc 13 500 francs.

i. Amortissement des dynamos, mécanismes, etc., des cars :

Nous avons déjà supposé qu'en raison des circonstances spéciales, il avait lieu à raison de 20 % par an; de ce fait, il faut donc compter annuellement sur $81\ 000 \times 0120 = 16\ 200$ francs.

j. L'huile, les chiffons, les menus détails pour les cars, à 2 fr. 50 par jour et par voiture de service, font par an une dépense de

$$22 \times 2,50 \times 365 = 20\ 075 \text{ francs.}$$

k. L'entretien et le renouvellement des outils au dépôt et sur les cars peuvent être estimés annuellement à 6 600 francs.

l. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge au dépôt, des transmissions, courroies, etc. :

Il y aura environ 104 chevaux électriques, à 200 francs le cheval, ce qui représentera un capital de 20 800 francs;

A 25 % pour intérêt, amortissement, réparations, etc., on aura par an une dépense de 5 200 francs.

m. Imprévus et divers, 11 000 francs.

Récapitulation des dépenses relatives à la traction pure, avec cinq groupes d'accumulateurs par voiture et par jour.

	francs
a. Salaire du personnel au dépôt.	46 200 »
b. Cocheurs-électriciens	69 000 »
c. Force motrice de charge.	75 701 »
d. Intérêt du capital accumulateurs	4 981 »
e. Menues réparations aux accumulateurs.	19 923,90
f. Amortissement des plaques d'accumulateurs . .	75 075 »
g. Intérêt des dynamos, mécanismes, etc., des cars.	4 860 »
h. Réparations — —	13 500 »
i. Amortissement — —	16 200 »
j. Huile, chiffons, etc., pour les cars	20 075 »
k. Entretien et renouvellement des outils des cars et du dépôt	6 600 »
l. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, courroies, transmissions. . . .	5 200 »
m. Imprévus et divers	11 000 »
Total annuel pour toutes les voitures d'une ligne .	368 315,90

Le nombre annuel de kilomètres parcourus par toutes les voitures, étant de 730 000, le prix du kilomètre de traction pure d'une voiture ressort donc ici à 0 fr. 505.

On voit que, par rapport à l'hypothèse précédente, la différence du prix de revient du kilomètre-voiture est insignifiante, et qu'il y a tendance maintenant à augmentation.

Nous pouvons aussi voir approximativement quel serait le capital nécessaire, dans le cas des cinq groupes par voiture, pour installer la traction électrique sur une ligne :

	francs.
Machines à vapeur et chaudières, 130 chevaux à 750 fr.	97 500 »
Machines électriques de charge, transmissions, courroies, etc.	20 800 »
Agencement des dépôts, montages, etc.	18 000 »
Accumulateurs électriques	83 016,25
Transformation des cars	81 000 »
Outilage des dépôts et des cars.	6 600 »
Imprévus et divers.	21 083,75
Total.	328 000 »

Soit $\frac{328\,000}{22} = 14\,900$ francs par voiture de service.

Puisque maintenant le prix de revient du kilomètre-voiture tend à augmenter,

il devient inutile d'étudier les cas suivants, c'est-à-dire avec davantage de groupes d'accumulateurs par voiture et par jour.

6^e Observations sur le débit des plaques. — Il est une question, celle du débit des plaques, qui est trop importante pour que nous ne nous y arrêtons pas.

Même dans les conditions spéciales où seront construits les accumulateurs pour la traction, il ne faut pas oublier qu'il est un régime moyen de débit pour les plaques qu'il convient de ne pas dépasser si l'on veut que leur amortissement n'excède pas nos précédentes prévisions.

Dans la pratique, le régime sera d'ailleurs très variable à cause des inégalités de la voie, des différences de chargement, des rampes, des démarriages, etc., etc. mais, pour ne pas compliquer inutilement cette étude, nous considérerons seulement le travail moyen normal, en admettant que l'allure moyenne normale d'une voiture sera 2,638 mètres par seconde, correspondant à une vitesse de 9,500 kilomètres à l'heure.

Dans le cas de deux groupes, si la voiture faisait tout d'une traite, sans arrêt, les 50 kilomètres que doit fournir chaque groupe, à cette allure normale moyenne, elle mettrait $\frac{50,000}{9,500} = 5,263$ heures.

Comme la quantité à fournir par chaque kilogramme de plaques est de 6,92 ampères-heure (voir page 40), il s'ensuit que le débit moyen normal par kilogramme de plaques sera $\frac{6,92}{5,263} = 1,31$ ampère.

On arriverait au même résultat, mais moins rapidement, en partant directement du travail développé pour la traction, en se rappelant que l'effort moyen par tonne traînée est de 10 kilogrammes, que la tension moyenne a été supposée de 1,80 volt, que les coefficients de rendement du mécanisme et de la dynamo réceptrice du car sont respectivement 0,833 et 0,75 ; que le poids total à traîner dans le cas qui nous occupe de deux groupes est de $7,500 + 2,500 = 10$ tonnes, et qu'enfin le poids des plaques seules est de 1 750 kilogrammes.

Le débit par kilogramme de plaques serait en effet

$$\frac{10 \times 10 \times 2,638 \times g}{1,80 \times 1750 \times 0,833 \times 0,75} = 1,31 \text{ ampère.}$$

Dans ce cas, les accumulateurs, au point de vue du débit, travaillent donc dans de bonnes conditions.

Dans le cas de trois groupes d'accumulateurs par chaque voiture, si cette dernière devait faire d'une seule traite, sans aucun arrêt, les 33,333 kilo-

mètres que doit fournir chacun des groupes, elle mettrait, à l'allure moyenne normale de 9,500 kilomètres par heure, pour les parcourir

$$\frac{33,333}{9,500} = 3,51 \text{ heures.}$$

Le débit moyen par kilogramme de plaques serait donc $\frac{6,92}{3,51} = 1,97$ ampère. Ce qui est déjà un régime un peu dur, mais acceptable.

Dans le cas de quatre groupes pour une voiture, cette dernière, pour parcourir les 23,810 kilomètres (voir page 53) que chaque groupe doit fournir, à l'allure moyenne adoptée, tout d'une fois, mettrait $\frac{23,810}{9,500} = 2,50$ heures.

Le débit moyen par kilogramme de plaques deviendrait donc :

$$\frac{6,92}{2,50} = 2,77 \text{ ampères.}$$

Ce qui est un régime moyen trop forcé.

Et pour le cas de cinq groupes pour chaque voiture, si cette dernière avait à faire d'une seule traite les 18,200 kilomètres (voir page 56) que doit fournir chaque groupe, à l'allure moyenne de 9,500 kilomètres à l'heure, elle mettrait $\frac{18,200}{9,500} = 1,92$ heure.

Le débit moyen par kilogramme de plaques serait donc $\frac{6,92}{1,92} = 3,60$ ampères. Ce qui est un régime moyen beaucoup trop violent.

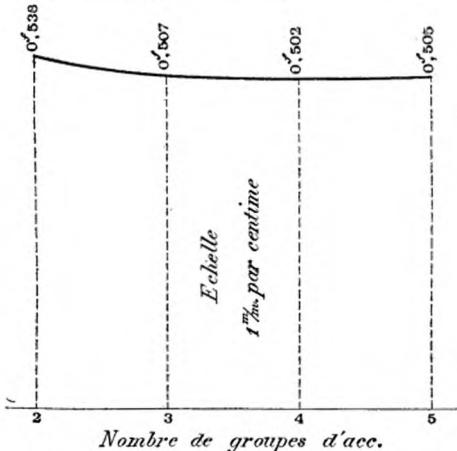
Il est bon de bien remarquer que les résultats précédents ne sont que des débits moyens, et que les courbes, les rampes, les démarriages, etc., etc., les feront augmenter, et quelquefois très notablement; mais, d'un autre côté, on ne doit pas oublier que les fréquents arrêts aux bureaux de correspondance, et pour la montée et la descente des voyageurs, seront très favorables à la dépolarisation des accumulateurs, dépolarisation qui sera d'ailleurs entretenue dans une certaine mesure par les trépidations de la voiture en marche.

Enfin, nous ne devons pas oublier non plus de noter que les débits prévus sont calculés dans l'hypothèse que la voiture est toujours au complet; or, dans la pratique, il est loin d'en être toujours ainsi; les débits, en général, se trouveront donc de ce fait fort diminués et améliorés par conséquent.

En résumé, au point de vue du débit, le cas de 2 groupes par voiture et pour la journée est bon; le cas de 3 groupes est acceptable; le cas des 4 groupes donne un régime trop sévère et qui pourrait occasionner une ruine des plaques plus rapide que celle que nous avons prévue; enfin, l'hypothèse des 5 groupes doit être franchement rejetée comme imposant aux plaques un débit beaucoup trop violent.

7^o Conclusions sur la voiture automobile. — Avec un seul groupe d'accumulateurs par voiture et par jour, le poids du groupe est si grand que ce cas doit être écarté.

Nous avons réuni en la courbe ci-dessous les prix de revient du kilomètre-voiture pour 2, 3, 4 et 5 groupes par voiture et par jour.



Avec 2 groupes, le prix de revient prévu du kilomètre-voiture est 0,538 franc, et le débit moyen des plaques est bon.

Avec 3 groupes, le prix prévu est 0,507 franc, et le débit moyen des plaques est encore acceptable.

Avec 4 groupes, le prix prévu est 0,502 franc, mais le débit moyen des plaques est très forcé.

Avec 5 groupes et au-dessus, le prix prévu de la traction va en s'élargissant (0,505 franc pour 5 groupes), et le débit des plaques devient tellement excessif qu'il est de nature à provoquer une ruine des plaques bien plus rapide que celle que nous avons admise, ce qui augmenterait beaucoup le prix de revient prévu par kilomètre-voiture.

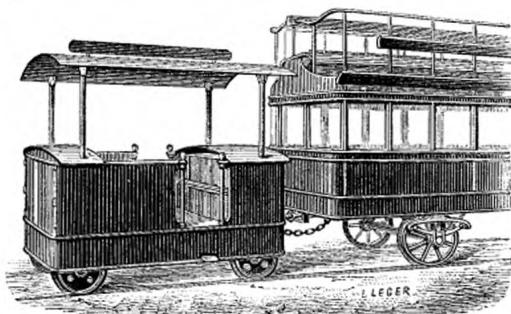
Donc, *dans les conditions que nous avons adoptées, nous noterons que le cas de trois groupes d'accumulateurs par voiture et par jour, avec son débit moyen acceptable, et son prix de revient prévu du kilomètre-voiture de 0,507 franc, nous paraît le plus favorable, et qu'on devra l'adopter quand les circonstances et les exigences de l'exploitation le permettront.*

Dans d'autres conditions, les conclusions pourraient naturellement être différentes, notre étude n'ayant pour but que de donner des résultats approximatifs pour les tramways de Paris, et seulement une méthode de calcul pour les autres réseaux.

CHAPITRE II

Locomotive électrique

La solution de la traction électrique par une locomotive complètement indépendante est certainement, à première vue, la plus séduisante : en effet, dans ce cas, le matériel ancien des voitures peut rester intact, sauf quelques légères modifications, et, d'autre part, on est maître de construire la locomotive comme l'on veut, c'est-à-dire de disposer les accumulateurs, la dynamo réceptrice, les mécanismes, etc., le plus commodément possible pour les diverses manœuvres et l'entretien ; — tout cela constitue évidemment des avantages très-appréciables. Mais, comme on va le voir, l'étude de la question démontre vite que la traction par un remorqueur indépendant ne peut convenir qu'avec des rampes très-faibles, — et c'est un cas qui se présente assez rarement dans le réseau de tramways des villes.



Ainsi à Paris, dont les tramways ont servi de base à cette étude, ce mode de traction serait impraticable sur le plus grand nombre de lignes. D'ailleurs, pour mieux préciser, nous continuerons à baser nos calculs sur le même exemple que nous avons déjà choisi pour notre étude de la « Voiture automobile », c'est-à-dire à considérer un car de 50 places de la Compagnie générale des Omnibus de Paris, — et nous continuerons à adopter les divers chiffres et coefficients contenus dans les préliminaires, pages 38 et suivantes.

(I) Nous rappellerons en plus que l'effort de traction, que nous avons supposé en moyenne de 10 kilogrammes par tonne traînée, augmente de 1 kilogramme par millimètre de rampe par mètre.

Cette augmentation n'est du reste pas autre chose que l'effort qui, sur une rampe, sollicite en arrière un poids donné, et qui est égal à la composante parallèle à la voie de ce poids; cette composante = $p \sin \alpha$, où p est le poids considéré et α l'angle de la voie avec l'horizon.

(J) Nous admettrons, quant à la locomotive électrique spécialement, que le coefficient d'adhérence dans les conditions moyennes ordinaires est de 1/10. Par certains temps humides, il peut bien descendre au-dessous de cette fraction, mais on peut l'augmenter, dans ces cas peu fréquents, par l'emploi judicieux de sable, et l'adjonction de brosses et de balais pour nettoyer les rails.

Nous avons dit, page 43, que la voiture, avec tous ses voyageurs, pèse 7 000 kilogrammes ; — voyons quel devrait être le poids de la locomotive capable de remorquer cette charge.

A Paris, sur les lignes de tramways, les rampes vont jusqu'à environ 55 millimètres et quelquefois un peu plus encore ; si ce sont là évidemment des rampes exceptionnelles, elles n'en existent pas moins ; il faut donc pouvoir les franchir. Du reste, ce qui est moins rare, ce sont les courbes, où la traction est également très-laborieuse, sans oublier certains temps *gras* qui nuisent à l'adhérence, et qu'il faut prévoir.

Pour remorquer la voiture du poids de 7 000 kilogrammes sur une rampe de 55 millimètres, il faudrait un effort de traction de :

$$e = 7\,000 (0,010 + 0,055) = 455 \text{ kilogr.} \quad (I)$$

Pour avoir le poids de la locomotive d'une adhérence suffisante, il faut remarquer que, en outre de cet effort de 455 kilogrammes, la locomotive sur cette rampe de 55 millimètres devra en développer un autre, pour sa traction propre de 10 kilogrammes par tonne de son propre poids, augmenté aussi de 1 kilogramme par millimètre de rampe, de sorte que l'effort relatif à la locomotive seule sera :

$$e' = y (0,010 + 0,055)$$

où y est le poids de la locomotive en kilogrammes.

Donc pour traîner l'ensemble de la locomotive et de la voiture à voyageurs il faudra un effort de :

$$E = e + e' = 455 + y (0,010 + 0,055)$$

Et pour que l'adhérence de la locomotive destinée à exercer cet effort soit suffisante, il faut écrire :

$$455 + y (0,010 + 0,055) = 0,1 y$$

où :

455 représente l'effort en kilogrammes pour traîner le car ;
 y le poids de la locomotive en kilogrammes ;
0,055 le sinus de l'angle de la voie avec l'horizon ;

Et $0,1 y$ l'adhérence de la locomotive (J).

Cette adhérence a pour expression exacte:

$$0,1 y \cos \alpha,$$

où $y \cos \alpha$ représente la composante du poids de la locomotive perpendiculaire à la voie, — mais dans les chemins de fer on néglige généralement $\cos \alpha$, qui est toujours tellement voisin de l'unité qu'il ne modifierait pas sensiblement les résultats ; — dans le cas qui nous occupe, pour une rampe de 55 millimètres par mètre, $\cos \alpha = 0,9985$; nous le négligerons donc.

Résolvant l'équation, on trouve que y , c'est-à-dire le poids de la locomotive est égal à 13 000 kilogrammes !

On voit donc que dans le cas de rampes de 55 millimètres, la locomotive électrique est impraticable, car il serait vraiment peu habile de traîner au total $7\,000 + 13\,000$ soit 20 000 kilogrammes pour remorquer en réalité un car de 7 000 kilogrammes. — Le prix de revient du kilomètre-voiture serait absolument ruineux. La voie devrait être consolidée pour supporter une pareille locomotive, ou bien on devrait mettre trois essieux à cette dernière et subir alors les mauvais rendements, résultats inévitables de cette nouvelle complication ; — sans compter les difficultés insurmontables pour arrêter rapidement et fréquemment une telle masse, pour la remettre en mouvement, etc.

Ce calcul montre la cause générale de l'insuccès des remorqueurs mécaniques à Paris : on était, en effet, placé entre les deux termes de ce dilemme insoluble : ou bien faire les locomotives suffisantes, mais alors impraticables ; — ou bien les faire plus légères, mais insuffisantes comme adhérence.

Bien que les considérations précédentes puissent suffire à notre étude — faite surtout en vue de la traction sur le réseau des tramways de Paris, — nous allons cependant, et comme exemple propre à faciliter une étude analogue sur n'importe quelle ligne, étudier le cas de la locomotive électrique pour une application plus pratique que lorsque les rampes atteignent 55 millimètres par mètre.

Etudions, par exemple, le cas où les rampes ne dépassent pas 30 millimètres par mètre, mais insistons bien alors sur ce fait que nos calculs ne sauraient plus se rapporter au réseau de Paris en général.

L'effort de traction exigé par le car seul, avec ses voyageurs, sur une rampe de 30 millimètres, serait de :

$$7\,000 (0,010 + 0,030) = 280 \text{ kilogr.}$$

Et le poids de la locomotive, pour avoir l'adhérence convenable, sera déduit de l'équation suivante :

$$280 + y (0,010 + \sin. \alpha) = 0,1 y$$

ou

$$280 + y \times 0,040 = 0,1 y.$$

Effectuant, on trouve que y , le poids de la locomotive $= 4\,667$ kilogrammes. Le poids total à traîner serait donc $7\,000 + 4\,667 = 11\,667$ kilogrammes.

Voyons maintenant quel serait le poids d'accumulateurs nécessaire dans les diverses hypothèses déjà faites dans l'étude de la voiture automobile, c'est-à-dire en supposant :

1^o Un seul groupe d'accumulateurs par voiture, servant à faire les 100 kilomètres de la journée ;

2^o Deux groupes par voiture faisant alors chacun 50 kilomètres ;

3^o Trois groupes faisant alors chacun $33\frac{1}{3}$ kilomètres.

Et ainsi de suite.

La locomotive devant peser 4 667 kilogrammes, si nous admettons que le chariot qui la constitue, sa dynamo réceptrice, ses mécanismes, etc., pèsent ensemble environ 1 200 kilogrammes, il restera donc 3 467 kilogrammes que les accumulateurs pourront constituer en tout ou en partie, selon leur poids nécessaire, que les calculs suivants vont nous révéler.

Si le poids brut nécessaire d'accumulateurs dépassait ces 3 467 kilogrammes, la différence en plus interviendrait alors comme poids à traîner en plus du total prévu plus haut de 11 667 kilogrammes.

Si le poids brut d'accumulateurs nécessaire n'atteignait pas ce chiffre de 3 467 kilogrammes, il faudrait combler la différence par un lest quelconque pour conserver au remorqueur son poids total indispensable de 4 667 kilogrammes ; mais alors il y aurait sans doute avantage à mettre plus d'accumulateurs, pour diminuer autant que faire se pourrait les changements de groupes au dépôt, et pour réduire le débit en ampères par kilogramme de plaques.

1^{er} cas : La locomotive fait les 100 kilomètres quotidiens avec le même groupe d'accumulateurs. — Dans la voiture automobile (voir page 43) et pour ce même cas d'un seul groupe, ce dernier pèse 7 500 kilogrammes ; dans le cas de la locomotive, et *d fortiori*, ce poids sera nécessairement supérieur à 7 500 kilogrammes puisqu'il y aura en plus à traîner le poids du chariot qui constitue la locomotive ; ce poids du groupe unique dépassera donc de beaucoup les 3 467 kilogrammes disponibles sur la locomotive pour les accumulateurs.

Le poids du groupe sera donc déduit de l'équation suivante :

$$[11\,667 + (x - 3\,467)] \times 0,005 \times L = x$$

où :

11 667 = le poids en kilos de la locomotive, plus du car et de ses voyageurs.

0,005 = le poids brut en kilos d'accumulateurs nécessaire au transport de 1 kilogramme à 1 kilomètre (voir page 40).

x le poids brut d'accumulateurs cherché en kilos.

$x - 3\,467$ le poids en plus des 11 667 kilogrammes à traîner.

L la longueur à parcourir en kilomètres, qui est égale ici à 100.

Résolvant l'équation on trouve que x , le poids brut d'accumulateurs, est 8 200 kilogrammes.

L'énormité de ce chiffre montre qu'il est impraticable de faire faire les 100 kilomètres quotidiens avec le même groupe d'accumulateurs. Notons pour mémoire que dans ce cas le poids de la locomotive avec ses accumulateurs atteindrait $8\ 200 + 1\ 200 = 9\ 400$ kilogrammes, et que le poids total à traîner serait conséquemment de $9\ 400 + 7\ 000 = 16\ 400$ kilogrammes ! sans compter que pour porter 8 200 kilogrammes d'accumulateurs, l'hypothèse que le chariot de la locomotive avec la dynamo et les mécanismes ne pèse que 1 200 kilogrammes ne serait plus exacte, et qu'il faudrait compter sur un poids bien plus élevé.

2° Avec 2 groupes d'accumulateurs faisant chacun 50 kilomètres. — Le poids de chaque groupe ne dépassant pas les 3 467 kilogrammes disponibles sur la locomotive se calcule très-aisément par la formule :

$$11\ 667 \times 0,005 \times 50 = x$$

Effectuant les calculs on trouve $x = 2\ 916,75$ kilogrammes, poids brut de chaque groupe.

Si l'on y ajoute le poids du chariot du remorqueur, de la dynamo et des mécanismes, qui est de 1 200 kilogrammes, comme nous l'avons vu précédemment on a $4\ 116,75$ kilogrammes, mais comme le poids nécessité par l'adhérence de la locomotive est de 4 667 kilogrammes, on sera obligé de mettre 550,25 kilogrammes d'un lest quelconque.

Il vient bien à l'idée de créer sur la locomotive une plate-forme, un compartiment, pour recevoir des voyageurs ; cela peut se faire, mais les voyageurs ne sauraient constituer un lest, car ils sont incertains, et malheureusement le poids de la locomotive est inéluctable.

D'ailleurs le contrôle des voyageurs de la locomotive serait rendu plus difficile, à moins qu'ils ne fussent astreints quand même à passer par l'arrière de la voiture remorquée ; et ensuite le fait de mettre des voyageurs sur la locomotive n'est-il pas lui-même une tendance à reconstituer la voiture automobile ? — Il est curieux de voir comme le raisonnement, de déduction en déduction, vient aider le calcul pour acheminer les recherches vers une solution plus judicieuse sitôt que la locomotive tend à devenir plus pesante, c'est-à-dire lorsque les rampes augmentent.

3° Avec 3 groupes d'accumulateurs par voiture.

Le poids brut de chacun d'eux est :

$$11\ 667 \times 0,005 \times 33,333 = 1\ 944,500 \text{ kilog.}$$

4° *Avec 4 groupes*, le poids brut de chacun d'eux est :

$$11\,667 \times 0,005 \times 25 = 1\,458,375 \text{ kilog.}$$

Et ainsi de suite.

Mais remarquons que toujours le poids total de tous les groupes, qu'il y en ait 2, ou 3, ou 4, ou davantage par voiture, sera toujours le même ; et que ce poids total sera égal à :

$$11\,667 \times 0,005 \times 100 = 5\,833,50 \text{ kilog.}$$

En effet, nous voyons que l'on a :

Avec 2 groupes :	$2\,916,75 \times 2 = 5\,833,50$ kil.
Avec 3 groupes :	$1\,944,50 \times 3 = 5\,833,50$ —
Avec 4 groupes :	$1\,458,375 \times 4 = 5\,833,50$ —

Et ainsi de suite.

Il n'en peut pas d'ailleurs être autrement, car le poids de chaque groupe d'accumulateurs, qui fait lui-même partie du poids total à traîner, ne peut plus modifier ce poids total quand il y a 2 groupes ou davantage de groupes par voiture et par jour, puisqu'on est même obligé de parfaire le poids de la locomotive avec un lest inerte. Il en résulte qu'il y a toujours le même poids total à traîner : 11 677 kilogrammes (locomotive et voiture à voyageurs), sur une même longueur totale : 100 kilomètres.

Ce n'est donc plus comme avec la voiture automobile, où le poids des accumulateurs diminuant, le poids total à traîner diminuait d'autant, conséquemment le travail aussi, et avec lui toutes les dépenses qui en découlent.

Donc avec la locomotive et dans l'hypothèse de rampes de 30 millimètres par mètre, le cas d'un seul groupe étant écarté comme impraticable, ainsi que nous l'avons vu page 67, il est fatal que le cas des groupes le moins nombreux ensuite, c'est-à-dire avec deux groupes par voiture et par jour, sera le meilleur, puisque les autres cas, avec davantage de groupes, ne diminueront ni le poids total des accumulateurs, ni la force motrice de charge, etc., tout en augmentant le nombre des changements de groupes qui entraîneraient une augmentation de personnel.

Mettons, néanmoins, comme renseignement, en un tableau, le poids d'accumulateurs de chaque groupe pour les divers cas.

NOMBRE de groupes d'accumulateurs pour la traction d'une voiture pendant une journée	LONGUEUR en kilomètres parcourue par chaque groupe	POIDS BRUT de chaque groupe en kilogrammes	POIDS NET des plaques de chaque groupe en kilogrammes	POIDS BRUT total de tous les groupes en kilogrammes	POIDS NET des plaques de tous les groupes en kilogrammes
1 groupe	100 kilom.	8 200 kilog.	5 740 kilog.	8 200 kilog.	5 740 kilog.
2 —	50 —	2 916,75	2 041,725	5 833,50	4 083,45
3 —	33,333 —	1 944,50	1 361,15	5 833,50	4 083,45
4 —	25 —	1 458,375	1 020,862	5 833,50	4 083,45
5 —	20 —	1 166,70	816,69	5 833,50	4 083,45

Et commençons notre étude détaillée des prix de revient de la traction d'une voiture par kilomètre.

1° Avec un seul groupe. — Cas reconnu impraticable.

2° Avec 2 groupes d'accumulateurs, faisant chacun 50 kilomètres:

Nombre de voitures : Avec la voiture automobile, il faut pour chaque ligne 20 voitures de service, plus 5 de réserve, soit en tout 25 voitures.

Avec la traction par locomotive il faudra toujours le même nombre de voitures.

Nombre de locomotives : il faudra également 20 locomotives de service et 5 de réserve ; en tout 25.

Poids d'accumulateurs. — Le poids brut de chacun des deux groupes est 2 916,75 kilogrammes ; donc il faudra :

Pour une locomotive	$2 916,75 \times 2 =$	<u>5 833,50 kil.</u>
Pour les 20 locomotives . . .	$5 833,50 \times 20 =$	<u>116 670 kil.</u>
Pour réserve 15 %		<u>17 500 kil.</u>
Poids total brut d'accumulateurs		<u>134 170 kil.</u>

Correspondant à un poids de plaques de, par groupe, 2 041,725 kilog.

Par locomotive	$2 041,725 \times 2 =$	<u>4 083,45 kil.</u>
Pour les 20 locomotives . . .	$4 083,45 \times 20 =$	<u>81 669 kil.</u>
Réserve 15 %		<u>= 12 250 kil.</u>
Poids total des plaques . . .		<u>93 919 kil.</u>

Charge électrique des accumulateurs. — Rappelons que nous avons vu, page 40, que chaque kilogramme de plaque exige du moteur de charge un

travail de 11 425 kilogrammètres ; donc pour les 81 669 kilogrammes de plaques de service, il faudra par jour $11\ 425 \times 81\ 669 = 933\ 068\ 325$ kilogrammètres.

Soit 3 456 chevaux-heure.

Soit encore 224 chevaux pendant environ 15 heures.

Nous pouvons maintenant établir le prix de revient de la voiture-kilomètre. Ce prix comprendra :

- a.* Salaire du personnel au dépôt, affecté à la traction, moins le salaire des chauffeurs et mécaniciens affectés à la force motrice de charge qui est compris plus loin (*c*) dans le prix de la force motrice.
- b.* Salaire des cochers-électriciens.
- c.* Force motrice pour le chargement électrique des accumulateurs.
- d.* Intérêt du capital-accumulateurs.
- e.* Menues réparations aux accumulateurs : renouvellement des boîtes, isolants, acide, eau, etc., main-d'œuvre pour le remplacement des plaques, mais non leur fourniture.
- f.* Amortissement des plaques d'accumulateurs.
- g.* Intérêt du capital-locomotives.
- h.* Réparations aux locomotives.
- i.* Amortissement des locomotives.
- j.* Huiles, chiffons, et menus détails pour les locomotives.
- k.* Entretien et renouvellement de l'outillage relatif à la traction, au dépôt et sur les locomotives.
- l.* Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, des transmissions, des courroies, etc., au dépôt.
- m.* Imprévus et divers.

A déduire : la recette provenant des plaques d'accumulateurs mises hors d'usage.

Comme toujours, nous supposerons le cas le plus défavorable d'un dépôt ne servant qu'à une seule ligne.

a. Salaire du personnel au dépôt, etc. :

Cette dépense serait la même que pour le même cas de deux groupes de la voiture automobile, soit	42 600 fr.
Si nous n'avions 17 % de plus de plaques à soigner, à charger, etc., de ce fait il faut bien compter sur 2 manœuvres en plus à 1 800 francs, soit.	3 600 fr.
d'où :	
Total du salaire du personnel au dépôt.	<u>46 200 fr.</u>

b. Salaire des cochers-électriciens :

Comme pour le cas de la voiture automobile, soit 21 cochers-électriciens à 3 000 fr. = 63 000 fr.

c. Force motrice pour le chargement des accumulateurs :

0 fr. 085 par cheval-heure, comprenant : intérêt et amortissement du moteur et des chaudières ; salaire des mécaniciens et des chauffeurs ; charbon ; huiles et chiffons pour moteur, pour dynamos de charge et pour transmissions ; entretien et réparations du moteur et des chaudières.

Par jour :

$$3 456 \times 0,085 = 293 \text{ fr. 76}$$

Et par an :

$$293,76 \times 365 = 107 222 \text{ fr. 40}$$

d. Intérêt du capital-accumulateurs :

Nous avons besoin de 93 919 kilogrammes de plaques, qui reviennent à 1 fr. 25 le kilogramme, compris boîtes, montage, eau acidulée, etc. ; d'où un capital de :

$$93 919 \times 1,25 = 117 398 \text{ fr. 75}$$

dont l'intérêt à 6 % = 7 043 fr. 90.

e. Menues réparations aux accumulateurs, aux boîtes, isolants, eau, acide, changement des plaques sans leur fourniture, etc. :

Par an, en comptant 0 fr. 30 par kilogramme de plaques, on aura de ce fait :

$$93 919 \times 0,30 = 28 175 \text{ fr. 70}$$

f. Amortissement des plaques d'accumulateur :

Les plaques de service seules, sans boîtes ni rien autre, reviendraient à 0 fr. 85 le kilogramme ; elles coûtent donc :

$$81 669 \times 0,85 = 69 418 \text{ fr. 65.}$$

Supposons toujours qu'en moyenne le renouvellement aura lieu deux fois par an ; d'où une dépense annuelle de 69 418,65 \times 2 = 138 837,30 francs
 De laquelle il faut déduire le prix des plaques mises hors d'usage, à raison de 0,20 par kilogramme ; de ce fait une recette annuelle de 81 669 \times 2 \times 0,20 = 32 667,60 »
 Reste une dépense annuelle de = 106 169,70 francs

g. Intérêt du capital-locomotives :

Chaque locomotive coûtera environ 4 000 francs, compris dynamo réceptrice, mécanismes, chariot, etc. ; nous comptons même dans ce prix les menues appro�iations des voitures à voyageurs existantes :

Le capital immobilisé de ce fait sera :

$$25 \times 4\,000 = 100\,000 \text{ francs}$$

dont l'intérêt à 6 % constitue une dépense annuelle de 6 000 francs.

h. Réparations aux locomotives :

Nous évaluerons ces dépenses à 500 francs par an et par voiture, soit annuellement pour les 25 voitures, 12 500 francs.

i. Amortissement des locomotives :

Il sera très-actif à cause des circonstances auxquelles seront soumises les locomotives. Nous l'estimerons à 20 % par an ; de ce fait on aura une dépense annuelle de :

$$100\,000 \times 0,20 = 20\,000 \text{ francs}$$

j. L'huile, les chiffons, les menus détails pour les locomotives, peuvent être évalués à 3 francs par jour et par remorqueur en service.

Soit donc par an $3 \times 20 \times 365 = 21\,900$ francs.

k. Entretien et renouvellement de l'outillage relatif à la traction, au dépôt et sur les locomotives :

Nous les évaluerons, comme dans le cas de la voiture automobile, à raison par an de 6 000 francs.

l. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, des transmissions, courroies, etc., au dépôt :

Il y aura environ 179 chevaux électriques, à 200 francs le cheval, qui représentent donc un capital de 35 800 francs.

A 25 % pour tout : intérêt, amortissement et réparations, cela fait une dépense annuelle de 8 950 francs.

m. Imprévus et divers, par an, 10 000 francs.

D'où : **Récapitulation** des dépenses annuelles relatives à la traction des cars de 50 places d'une ligne, au moyen de locomotives électriques indépendantes, et avec deux groupes d'accumulateurs par locomotive, faisant chacun 50 kilomètres par jour :

	francs
<i>a. Salaire du personnel au dépôt</i>	46 200 »
<i>b. Cochers-électriciens</i>	63 000 »
<i>c. Force motrice de charge</i>	107 222,40
<i>d. Intérêt du capital accumulateurs</i>	7 043,90
<i>e. Menues réparations aux accumulateurs</i>	28 175,70
<i>f. Amortissement des plaques d'accumulateurs</i>	106 169,70
<i>g. Intérêt du capital-locomotives</i>	6 000 »
<i>h. Réparations aux locomotives</i>	12 500 »
<i>i. Amortissement des locomotives</i>	20 000 »
<i>j. Huiles, chiffons, menus détails pour les locomotives</i>	21 900 »
<i>k. Entretien et renouvellement de l'outillage sur les locomotives et au dépôt</i>	6 000 »
<i>l. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, transmissions, etc.</i>	8 950 »
<i>m. Imprévus et divers</i>	<u>10 000 »</u>
Total annuel de la traction pure pour toutes les voitures d'une ligne	<u>443 161,70</u>

Le nombre annuel de kilomètres parcourus par toutes les voitures étant de $100 \times 20 \times 365 = 730 000$.

Le prix de la traction pure du kilomètre d'une voiture ressort donc ici à 0,607 franc.

Voyons maintenant quel serait approximativement le capital nécessaire pour installer sur une ligne de tramways, dans le cas qui nous occupe, la traction électrique au moyen de locomotives indépendantes.

	francs
Machines à vapeur et chaudières, 224 chevaux à 750 francs	168 000 »
Machines électriques de charge, transmissions, courroies, etc	35 800 »
Agencement des dépôts et montage, etc	18 000 »
Accumulateurs	117 398,75
Locomotives	100 000 »
Outilage du dépôt et sur les locomotives	6 000 »
Imprévus et divers	26 801,25
Total	<u>472 000 »</u>

Soit $\frac{472 000}{20} = 23 600$ francs par voiture en service.

3^o Pour les autres cas avec plus de deux groupes par voiture et par jour, nous ne pouvons que répéter ce que nous avons dit page 68, c'est-à-dire rappeler qu'ils reviendront plus cher. Nous allons du reste le vérifier d'une manière rapide en examinant chacune des 13 dépenses partielles qui composent le prix total de la traction pure.

a. Le salaire du personnel au dépôt augmentera, car le nombre de changements de groupes devenant plus grand exigera plus de personnel au dépôt, d'autant plus que le poids total d'accumulateurs à soigner, à charger, etc., reste le même qu'avec deux groupes, ainsi que nous l'avons vu page 68.

b. Le salaire des cochers-électriciens reste le même.

c. La force motrice de charge reste la même, puisque le poids total de plaques à charger reste le même.

Pour la même raison *d*, *e* et *f*, c'est-à-dire l'intérêt des accumulateurs, les menues réparations qu'on aura à leur faire et l'amortissement des plaques restent pareils à ce que nous avions pour deux groupes.

g, *h*, *i* et *j* ont une tendance à augmenter, car le plus grand nombre de changements de groupes immobilisera pendant plus de temps les locomotives, et exigera que leur nombre soit un peu augmenté. — Donc l'intérêt des locomotives, leurs réparations, leur amortissement, l'huile et les chiffons qui leur seront nécessaires augmenteront.

k. L'entretien et le renouvellement de l'outillage au dépôt et sur les locomotives augmenteraient légèrement avec le nombre de ces dernières.

l. L'intérêt, l'amortissement, les réparations des dynamos de charge, de transmissions, des courrois resteraient les mêmes.

m. Les imprévus et divers auraient plutôt une légère tendance à augmenter, à mesure que le nombre de remorqueurs deviendrait plus grand.

Donc, dans les cas de plus deux groupes d'accumulateurs par voiture et par jour, le prix de revient du kilomètre-voiture serait plus élevé qu'avec deux groupes, sans amener aucune compensation favorable, au contraire. Il est par conséquent inutile de les étudier.

On voit donc que si sur une ligne il se trouve des rampes de 30 millimètres par mètre, la traction pure d'une voiture par kilomètre au moyen d'un remorqueur électrique indépendant revient à **0 fr. 607** au moins.

S'il existait des rampes plus fortes, le prix de la traction augmenterait, parce que la locomotive devrait être plus lourde, et que le poids total à traîner, voiture et locomotive, deviendrait conséquemment plus considérable.

Si aucune rampe n'atteignait 30 millimètres par mètre, le prix de la traction

pure baisserait, parce que la locomotive serait plus légère, et que par conséquent le poids total à traîner diminuerait aussi.

Mais d'une manière générale, le poids total à traîner, lors même que toute la ligne serait en palier, et en ligne droite, ce qui évidemment en pratique ne se rencontre jamais, sera toujours plus élevé avec la locomotive qu'avec la voiture automobile, car les appropriations de cette dernière pour recevoir les accumulateurs, la dynamo et les mécanismes, pèseront toujours un peu moins que le chariot nu de la locomotive.

4^e Conclusions sur la locomotive électrique. — Sur les lignes où se trouvent des rampes de 55 millimètres et au-dessus, comme il s'en rencontre à Paris, la locomotive électrique est impraticable pour la traction des tramways.

Sur des lignes qui auraient des pentes de 30 millimètres, le prix du kilomètre-voiture serait de 0 fr. 607, c'est-à-dire déjà d'environ 20 % plus élevé qu'avec la voiture automobile avec laquelle le prix du kilomètre-voiture est de 0 fr. 507.

Donc, tout en reconnaissant les commodités fort appréciables qu'offre pour l'exploitation en général, la locomotive indépendante, on ne pourrait la préférer à la voiture automobile que sur des lignes ayant des rampes très-faibles, et dans des circonstances particulières, de telle sorte que ces commodités ne fussent pas compensées et au-delà par une trop forte augmentation du prix du kilomètre-voiture.

Notons aussi pour mémoire qu'avec les locomotives les dépôts devraient être plus grands, d'où légère augmentation encore du prix de revient.

CHAPITRE III

Dispositif électrique à chariot séparé

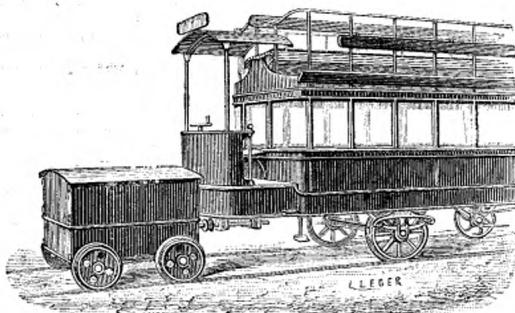
SYSTÈME PAUL GADOT, BREVETÉ S. G. D. G.

La solution que nous allons étudier consiste principalement à mettre la dynamo réceptrice et les mécanismes sur la voiture elle-même qui a donc également la ou les roues motrices, et à mettre les accumulateurs, seuls, sur un petit chariot indépendant, placé en avant ou en arrière de la voiture, chariot que l'on

attèle ou que l'on détèle avec la plus grande facilité, ainsi que l'on fait avec un cheval.

La question du changement d'accumulateurs devient donc très-simple, puisque chaque chariot contient un seul groupe complet d'accumulateurs et que par conséquent la manutention se fait toujours sur l'ensemble des accumulateurs d'un groupe avec le chariot.

Les accumulateurs, sauf les cas de visite et de réparation, ne sont jamais sortis de leur chariot respectif ; le groupe est manœuvré, chargé, etc., tout ensemble sans en être enlevé.



Il n'est pas indispensable que le chariot roule pendant les trajets ; il peut être soulevé, porté, par la voiture à voyageurs, mais cela chargerait d'autant, au moins l'un des essieux. L'important est que le groupe, le chariot, roule de la station au dépôt et *vice versa*, et quel que soit le mode adopté, afin que pendant les changements de groupes la voiture reste à la station. On pourrait aussi étudier un chariot allant de la station au dépôt et réciproquement, et portant les groupes à fixer aux voitures.

En tous cas, la question de l'adhérence n'est plus à considérer, puisque la voiture à voyageurs, qui est motrice, pèse toujours bien plus qu'il ne serait nécessaire pour remorquer ou pour pousser le petit chariot à accumulateurs. Si le poids de ces derniers diminue, l'ensemble du poids total à traîner diminuera donc avec lui, comme dans le cas de la voiture automobile.

Il devient donc intéressant, comme pour cette dernière, de rechercher de quelle manière, la plus économique possible, devra se faire le travail des accumulateurs, et de supposer successivement que le service quotidien est fait pour chaque voiture :

1^o *Avec un seul groupe d'accumulateurs servant à faire les 100 kilomètres de la journée.*

2^o *Avec 2 groupes faisant chacun 50 kilomètres, et dont le second est substitué au premier vers le milieu du jour.*

3° *Avec 3 groupes faisant chacun 33,333 kilomètres.*

Et ainsi de suite.

Il va sans dire que nous continuerons à considérer la traction d'un car de 50 places de la Compagnie générale des Omnibus de Paris, et à adopter les divers chiffres et coefficients contenus dans les préliminaires page 38 et suivantes.

Nous avons vu page 39 que la voiture
avec tous ses voyageurs pèse..... 7 000 kilogrammes.
Le poids de la dynamo réceptrice et des
mécanismes sur chaque voiture sera d'en-
viron..... 400 —
Poids total de la voiture seule..... 7 400 kilogrammes.

Le poids du chariot seul qui contient le groupe d'accumulateurs, varie avec le poids de ce groupe ; nous supposerons d'une manière générale que le poids du chariot est égal au quart, soit 25 %, du poids du groupe qu'il a à porter.

Le poids brut d'accumulateurs est donné pour chaque cas par les deux équations suivantes :

$$(P + z + x) L \times 0,005 = x$$

et

$$z = 0,25 x$$

où

P est le poids total en kilogrammes de la voiture avec ses voyageurs, la dynamo réceptrice et les mécanismes ;

z le poids en kilogrammes du chariot des accumulateurs, sans ces derniers ;

L la longueur à parcourir en kilomètres.

0,005 le poids brut en kilogrammes d'accumulateurs nécessaire au transport de 1 kilogramme à 1 kilomètre, chiffre adopté page 40.

Et enfin x le poids brut d'accumulateurs cherché, en kilogrammes.

Remplaçant z par sa valeur en fonction de x , on a :

$$(P + 0,25 x + x) L \times 0,005 = x ;$$

ou plus simplement ;

$$(K) \quad (P + 1,25 x) L \times 0,005 = x$$

Commençons maintenant l'étude de chaque cas.

1° *Traction d'une voiture avec un seul groupe par jour faisant 100 kilomètres.*

Il vient :

$$(7 400 + 1,25 x) 100 \times 0,005 = x$$

Résolvant on trouve que :

$$x = 9\,867 \text{ kilogrammes}$$

poids brut du groupe d'accumulateurs.

On voit, par l'énormité de ce poids, qu'on devra renoncer à faire la traction toute une journée, avec le même groupe.

2^o Traction d'une voiture avec 2 groupes faisant chacun 50 kilomètres.

On a :

$$(7\,400 + 1,25 x) 50 \times 0,005 = x$$

Effectuant les calculs, il vient :

$$x = 2\,691 \text{ kilogrammes}$$

poids brut de chacun des deux groupes.

Notons en même temps que le chariot à accumulateurs pèsera

$$2\,691 \times 0,25, \text{ soit } 673 \text{ kilogrammes}$$

3^o Traction avec 3 groupes, faisant chacun 33,333 kilomètres:

Il vient :

$$(7\,400 + 1,25 x) 33,333 \times 0,005 = x$$

d'où

$$x = 1\,558 \text{ kilogrammes}$$

poids brut de chacun de 3 groupes.

Le chariot à accumulateurs pèsera :

$$1\,558 \times 0,25 = 390 \text{ kilogrammes}$$

4^o Avec 4 groupes faisant chacun 25 kilomètres :

On a :

$$(7\,400 + 1,25 x) 25 \times 0,005 = x$$

Résolvant, on trouve :

$$x = 1\,096 \text{ kilogrammes}$$

poids brut de chacun des 4 groupes.

Le poids du chariot à accumulateurs sera 274 kilogrammes.

5^o Avec 5 groupes faisant 20 kilomètres chacun :

On aura :

$$(7\,400 + 1,25 x) 20 \times 0,005 = x$$

LA TRACTION ÉLECTRIQUE ET LA TRACTION ANIMALE

d'où

$$x = 846 \text{ kilogrammes}$$

poids brut de chacun des 5 groupes.

Le chariot pèsera 212 kilogrammes.

Si nous nous souvenons (voir page 40) que pour 5 kilogrammes brut d'accumulateurs, il y a 3,500 kilog. de plaques, nous pourrons dresser le tableau suivant :

NOMBRE de groupes d'accumulateurs pour la traction d'une voiture pendant une journée	LONGUEUR en kilomètres parcourue par chaque groupe	POIDS BRUT de chaque groupe d'accumula- teurs en kilogrammes	POIDS NET des plaques de chaque groupe en kilogrammes	POIDS BRUT total de tous les groupes en kilogrammes	POIDS NET des plaques de tous les groupes en kilogrammes
1 groupe	160	9 867	6 907	9 867	6 907
2 —	50	2 691	1 884	5 382	3 768
3 —	33,333	1 558	1 091	4 674	3 273
4 —	25	1 096	767	4 384	3 068
5 —	20	846	592	4 230	2 960

Chaque changement de groupes est ici très-simple ; la voiture est laissée à la station ; le chariot avec ses accumulateurs est conduit au dépôt où l'on prend un autre chariot muni d'un autre groupe d'accumulateurs, que l'on amène à la station pour l'atteler à la voiture. On voit combien cet ensemble d'opérations peu compliquées ressemble à ce que l'on fait avec la traction animale pour remplacer les chevaux.

Voyons dans chaque cas, ce que pèse l'ensemble du groupe d'accumulateurs et de son chariot :

Avec 2 groupes par voiture et par jour = $2691 + 673 = 3364$ kil.

— 3 — — = $1558 + 390 = 1948$ kil.

— 4 — — = $1096 + 274 = 1370$ kil.

— 5 — — = $846 + 212 = 1058$ kil.

Pour conduire de la station au dépôt, un chariot et son groupe épuisé, et pour ramener du dépôt à la station un autre chariot et son groupe fraîchement chargé au point de vue électrique, on emploierait un cheval conduit par un homme pour le cas de 2 groupes, peut-être aussi pour le cas de 3 groupes ; un manœuvre seul suffirait presque pour le cas de 4 groupes et certainement pour le cas de 5 groupes ; car n'oublions pas que la station et le dépôt sont très voisins, et qu'avec une allure qui n'a pas besoin d'être très-rapide, et une voie

assez bien entretenue comme elle peut l'être ici, l'effort pour la traction d'une tonne peut descendre à 6 ou 7 kilogrammes.

Du reste pour simplifier, nous supposerons que pour tous les cas on emploiera un homme et un cheval ; ce dernier coûtera au plus 1200 francs d'achat, et sa journée de nourriture et d'entretien, amortissement, etc., environ 4 fr. 50 ou 4 fr. 75 ; avec l'intérêt, l'assurance, etc., mettons 5 francs par jour, soit 1 800 francs par an, c'est-à-dire la même dépense que pour un manœuvre.

Commençons maintenant notre étude détaillée des prix de revient de la traction d'une voiture par kilomètre.

1^o Avec un seul groupe faisant les 100 kilomètres quotidiens : Cas reconnu précédemment impraticable.

2^o Avec 2 groupes faisant chacun 50 kilomètres.

Nombre de voitures : Nous compterons qu'il faut ici, comme avec la voiture automobile : 20 voitures de service et 5 de réserve ; en tout 25 voitures.

Nombre de chariots ou de groupes :

Par voiture de service il y a 2 chariots.

Pour les 20 voitures de service, il y aura.	40 chariots
Réserve, 15 %	<u>6 —</u>
En tout.	<u>46 chariots</u>

Poids d'accumulateurs. — Le poids brut de chacun des deux groupes est 2 691 kilogrammes, et pour deux groupes 5 382 kilogrammes.

Pour les 20 voitures (40 groupes), il faudra. . .	107 640 kilog.
Pour réserve 15 %.	<u>16 146 —</u>
D'où poids total brut d'accumulateurs	<u>123 786 kilog.</u>

Correspondant à un poids de plaques de :

Par groupe : 1 884 kilogrammes ; par voiture (2 groupes) 3 768 kilogrammes.

Pour les 20 voitures (40 groupes), il faudra donc	75 360 kilog.
Réserve, 15 %.	<u>11 304 —</u>
Poids total de plaques.	<u>86 664 kilog.</u>

Charge électrique des accumulateurs. — Nous avons vu page 40, que chaque kilogramme de plaques exige du moteur de charge un travail de 11 425 kilogrammètres, donc pour les 75 360 kilogrammes de plaques de service, il faudra par jour :

$$11 425 \times 75 360 = 860 988 000 \text{ kilogrammètres.}$$

LA TRACTION ÉLECTRIQUE ET LA TRACTION ANIMALE

Soit : 3 189 chevaux-heure.

Soit encore 210 chevaux pendant environ 15 heures.

Ces divers chiffres vont nous permettre d'établir le prix de revient de la traction pure d'une voiture par kilomètre.

Ce prix comprendra :

a. Salaire du personnel au dépôt affecté à la traction, moins le salaire des chauffeurs et mécaniciens affectés à la force motrice, qui est compris plus loin (*c*) dans le prix de la force motrice.

b. Salaire des cochers-électriciens.

c. Force motrice pour le chargement électrique des accumulateurs.

d. Intérêt du capital-accumulateurs.

e. Menues réparations aux accumulateurs : renouvellement des boîtes, isolants, acide, eau, etc., main-d'œuvre pour le remplacement des plaques mais non leur fourniture.

f. Amortissement des plaques d'accumulateurs.

g. Intérêt des machines électriques et des mécanismes des cars.

h. Réparations aux machines électriques et aux mécanismes des cars.

i. Amortissement des machines électriques et des mécanismes des cars.

j. Intérêt, amortissement et réparations des chariots.

k. Huile, chiffons, etc. pour les dynamos et les mécanismes des cars et pour les chariots.

l. Entretien *etc* renouvellement de l'outillage sur les voitures et au dépôt.

m. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, des transmissions, des courroies, etc., au dépôt.

n. Imprévus et divers.

o. *A déduire* : la recette provenant des plaques d'accumulateurs mises hors d'usage.

Comme dans les études précédentes nous supposerons le cas le plus défavorable d'un dépôt ne servant qu'à une seule ligne.

a. Salaire du personnel au dépôt.

Dans le même cas de deux groupes par voiture, pour la voiture automobile, nous avions 115 000 kilogrammes de poids brut d'accumulateurs, ici nous en

avons 123 786, mais les manœuvres sont incomparablement plus faciles et plus rapides dans le dispositif que nous étudions, car chaque groupe épuisé est maintenant amené directement à la charge électrique, et le groupe nouveau va directement de la charge à la station.

Avec la voiture automobile, au contraire, on est obligé d'abord de séparer les groupes en au moins deux parties pour mettre l'une à droite, l'autre à gauche de la voiture ; et de faire des manœuvres intermédiaires pour entrer les accumulateurs dans les voitures et les en sortir.

De l'ensemble de simplifications avec le dispositif à chariot nous économiserons 3 manœuvres à	
1800 francs	5 400 francs
Et un électricien à 2 700 francs	2 700 —
Soit.	8 100 francs
Mais nous aurons un cheval en plus, soit par an.	1 800 —
Il reste comme économie annuelle	<u>6 300 francs</u>
Or le salaire du personnel au dépôt était avec la voiture automobile de.	42 600 francs
Diminution avec le dispositif	6 300 —
Le salaire du personnel au dépôt sera donc ici de	36 300 francs

b. Salaire des cochers-électriciens. — 21 cochers-électriciens comme pour le même cas de la voiture-automobile, à 3 000 francs = 63 000 francs.

c. Force motrice pour le chargement des accumulateurs. — Comme dans les cas précédents, nous compterons 0,085 franc par cheval-heure comprenant intérêt, amortissement du moteur et des chaudières, salaire des chauffeurs et mécaniciens, charbon, huiles et chiffons pour moteurs et pour dynamos de charge et transmissions ; entretien et réparations du moteur et des chaudières.

Par jour = $3189 \times 0,085 = 271,06$ francs.
et par an $271,06$ francs $\times 365 = 98\,936,90$ francs.

d. Intérêt du capital-accumulateurs :

Nous aurons en tout 86 664 kilogrammes de plaques, qui reviennent chacun à 1,25 franc, prix comprenant boîtes, montage, eau acidulée, etc.. d'où un capital de $86\,664 \times 1,25$, soit 108 330 francs, dont l'intérêt à 6 % donne 6499,80 francs par an.

e. Menues réparations aux accumulateurs. — Aux boîtes, isolants, eau, acide, changement des plaques sans leur fourniture, etc.

Les manœuvres de changement de groupes se font ici tout par roulement, sans aucune secousse ; les accumulateurs, leurs boîtes, etc., ne se fatigueront donc pas aussi vite, nous ne compterons ici que 0,25 fr. par kilogramme de plaques

et par an, au lieu de 0,30 franc que nous avions prévu dans l'étude de la voiture automobile et de la locomotive.

Donc nous aurons par an une dépense de :

86 664 \times 0,25 soit 21 666 francs

f. Amortissement des plaques d'accumulateurs. — Les plaques de service seules, reviendront à 0,85 franc le kilogramme, elles coûteraient donc :

$$75360 \times 0,85 = 64056 \text{ francs.}$$

Le renouvellement en moyenne, ayant lieu deux fois par an, à cause des circonstances violentes auxquelles sont exposées les plaques, nous aurons donc annuellement une dépense de :

g. Intérêt des dynamos et des mécanismes des cars. — Pour l'achat de la dynamo-réceptrice, des mécanismes, de leur montage sur la voiture et des diverses appropriations de cette dernière, nous compterons sur une dépense de 2 600 francs par voiture, soit pour les 25 voitures un capital de 65 000 francs, dont l'intérêt à 6 % représente une dépense annuelle de 3 900 francs.

h. Réparations aux dynamos et aux mécanismes des cars. — Ces dépenses peuvent s'évaluer par an à 450 francs par voiture, soit pour les 25 voitures à 11 250 francs.

Un peu moins élevé qu'avec la voiture-automobile, car ici la voiture ne subira pas les détériorations inévitables avec les changements d'accumulateurs.

i. Amortissement des dynamos et des mécanismes des cars. — Comme précédemment nous supposerons qu'il a lieu à raison de 20 % par an ; de ce fait on aura une dépense annuelle de $65\ 000 \times 0,20 = 13\ 000$ francs.

— Chaque chariot coûtera environ 540 francs ; nous avons vu page 80 qu'il y en a 46, de ce fait on aura donc un capital immobilisé de $540 \times 46 = 24\,840$ francs.

Nous compterons 20 % pour l'intérêt, l'amortissement, les réparations, ce qui fera une dépense annuelle de 4 968 francs.

k. Huiles, chiffons, etc., pour les dynamos et mécanismes des cars, e pour les chariots. — Nous compterons 2,75 francs par jour et par voiture de service, soit donc par an $= 2,75 \times 20 \times 365 = 20\,075$ francs.

l. L'entretien, le renouvellement des outils au dépôt et sur les voitures sera, comme pour la voiture automobile, par an de 6 000 francs.

m. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, des transmissions, etc., au dépôt. — Il y aura environ 168 chevaux électriques, à 200 francs le cheval, qui représenteront un capital de 33 600 francs, à 25 % pour le tout : intérêt, amortissement et réparations, cela occasionnera une dépense annuelle de 8 400 francs.

n. Imprévus et divers. — Par an, 10 000 francs.

Résumons maintenant toutes ces dépenses.

Récapitulation des dépenses annuelles relatives à la traction pure des cars de 50 places d'une ligne, au moyen du dispositif à chariot, avec 2 groupes d'accumulateurs par car, faisant chacun 50 kilomètres par jour.

	francs
<i>a. Salaire du personnel au dépôt</i>	36 300 »
<i>b. Salaire des cochers-électriciens</i>	63 000 »
<i>c. Force motrice de charge</i>	98 936,90
<i>d. Intérêt du capital-accumulateurs.</i>	6 499,80
<i>e. Menues réparations aux accumulateurs.</i>	21 666 »
<i>f. Amortissement des plaques d'accumulateurs . .</i>	97 968 »
<i>g. Intérêt des dynamos, mécanismes, etc., des cars . .</i>	3 900 »
<i>h. Réparations — —</i>	11 250 »
<i>i. Amortissement — —</i>	13 000 »
<i>j. Intérêt, amortissement et réparations des chariots</i>	4 968 »
<i>k. Huile, chiffons, etc., pour dynamos et mécanismes des cars et pour les chariots.</i>	20 075 »
<i>l. Entretien et renouvellement de l'outillage sur les voitures et au dépôt.</i>	6 000 »
<i>m. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, transmissions, courroies. . .</i>	8 400 »
<i>n. Imprévus et divers</i>	10 000 »
Total annuel de la traction pure pour toutes les voitures d'une ligne	401 963,70

Le nombre annuel de kilomètres parcourus par toutes les voitures étant de $100 \times 20 \times 365 = 730\,000$, le prix de la traction pure d'une voiture par kilomètre revient donc ici à 0,551 franc.

Comme renseignement voyons quel serait approximativement le capital néces-

saire pour installer sur une ligne de tramways, la traction électrique dans le cas que nous venons d'étudier.

	francs
Machines à vapeur et chaudières, 210 chevaux à 750 francs	157 500 »
Machines électriques de charge, transmissions, courroies, etc.	33 600 »
Agencement des dépôts, montages, etc.	18 000 »
Accumulateurs électriques.	108 330 »
Transformation des cars	65 000 »
Chariots pour les accumulateurs	24 840 »
Outillage du dépôt et des cars.	6 000 »
Un cheval	1 200 »
Imprévus et divers	24 530 »
Total	439 000 »

Soit $\frac{439\,000}{20} = 21\,950$ francs par voiture en service.

Continuons par l'étude du cas suivant :

3° Avec 3 groupes par voiture et par jour faisant chacun 33,333 kilomètres.

Nombre de voitures, comme dans le cas précédent (voir page 80), 25 voitures.

Nombre de chariots ou de groupes :

Par voiture de service il y a 3 chariots.

Pour les 20 voitures de service, il y aura	. . . . .	60 chariots
Réserve 15 %	. . . . .	9 —
En tout.	. . . . .	69 —

Poids d'accumulateurs. — Le poids brut de chacun des trois groupes est 1 558 kilogrammes ; pour trois groupes il sera donc 4 674 kilogrammes.

Pour les 20 voitures (60 groupes)	. . . . .	93 480 kilog.
Réserve, 15 %	. . . . .	14 022 —
Poids brut total d'accumulateurs.	. . . . .	107 502 —

Correspondant à un poids de plaques de :

Par groupe 1 091, et par voiture (3 groupes) 3 273 kilogrammes.

Pour les 20 voitures (60 groupes)	65 460 kilog.
Réserve 15 %.	9 819 »
Poids total des plaques.	<u>75 279 kilog.</u>

Charge électrique des accumulateurs. — La charge électrique de 1 kilogramme de plaques, exige du moteur un travail de 11 425 kilogrammètres (voir page 40), donc pour les 65 460 kilogrammes de plaques de service, il faudra par jour :

$$65\,460 \times 11\,425 = 747\,880\,050 \text{ kilogrammètres.}$$

Soit 2 770 chevaux-heure ;

Soit encore 163 chevaux pendant 17 heures environ.

D'où les prix de revient des 14 articles qui composent les frais de traction pure et dont la nomenclature se trouve pages 81 et suivantes.

a. Salaire du personnel au dépôt, moins celui qui est affecté à la force motrice.

Pour 2 groupes nous avions (voir page 80) par an 36 300 francs.

Pour 3 groupes nous avons 13 % de moins de plaques à surveiller, à charger, etc., mais aussi plus de changements de groupes, etc.; tout cela se compensera à peu près, nous conserverons donc le même chiffre annuel de 36 300 fr.

b. Salaire des cochers-électriciens. — Comme dans le cas précédent de 2 groupes, 21 cochers-électriciens à 3 000 francs = 63 000 francs.

c. Force motrice pour le chargement des accumulateurs. — Par jour 2 770 chevaux-heure à 0,085 franc = 235,45 francs.

et par an $235,45 \times 365 = 85\,939,25$ francs.

d. Intérêt du capital-accumulateurs. — 75 279 kilogrammes de plaques à 1,25 franc compris boîtes, etc., représentant un capital de 94 098,75 francs, dont l'intérêt annuel à 6 % fait 5 645,95 francs.

e. Menues réparations aux accumulateurs, boîtes, etc, et changement des plaques sans leur fourniture :

$$75\,279 \times 0,25 \text{ fr.} = 18\,819,75 \text{ fr.}$$

f. Amortissement des plaques d'accumulateurs. — Les plaques de service seules, valent $65\,460 \times 0,85 = 55\,641$ francs.

Le renouvellement moyen de deux fois par an	
constituera donc une dépense de $55\,641 \times 2 =$	111 282 francs
Dont il faut déduire le prix des plaques mises	
hors d'usage = $65\,460 \times 2 \times 0,20 \text{ fr.} = . . .$	26 184 —
Reste dépense annuelle	<u>85 098 —</u>

g. Intérêt des dynamos et des mécanismes des cars. — Même chose qu'avec deux groupes (voir page 83), 3 900 francs.

h. Réparations aux dynamos et aux mécanismes des cars. — Même chose qu'avec deux groupes, 11 250 francs.

i. Amortissement des dynamos et des mécanismes des cars. — Comme avec deux groupes, soit par an 13 000 francs.

j. Intérêt, amortissement et réparations des chariots à accumulateurs — Chaque chariot coûtera environ 320 francs; nous avons vu page 85 qu'il y en 69; il y aura donc de ce fait un capital immobilisé de

$$320 \times 69 = 22\,080 \text{ francs.}$$

Comme avec deux groupes, nous compterons 20 % pour l'intérêt, l'amortissement et les réparations, ce qui constituera une dépense annuelle de 4 416 francs.

k. Huiles, chiffons, etc., pour les dynamos et les mécanismes des cars, et pour les chariots. — Comme avec deux groupes (voir page 84), par an 20 075 francs.

l. L'entretien, le renouvellement des outils au dépôt et sur les voitures, sera comme avec deux groupes, soit par an 6 000 francs.

m. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, de transmissions, des courroies, etc., au dépôt. — Il y a 130,40 chevaux électriques, à 200 francs l'un, cela constituera donc un capital de 26 080 francs.

A 25 % pour intérêt, amortissement, réparations, etc., on aura par an une dépense de 6 520 francs.

s. Imprévus et divers. — Par an 10 000 francs.

Récapitulation des dépenses annuelles relatives à la traction pure des cars, de 50 places d'une ligne, au moyen du dispositif à chariot, avec trois groupes d'accumulateurs par voiture, faisant 33,333 kilomètres par jour:

	francs
<i>a. Salaire du personnel au dépôt</i>	36 300 »
<i>b. Salaire des cochers-électriciens</i>	63 000 »
<i>c. Force motrice de charge..</i>	85 939,25
<i>d. Intérêt du capital accumulateurs..</i>	5 645,95
<i>e. Menues réparations aux accumulateurs</i>	18 819,75
<i>f. Amortissement des plaques d'accumulateurs . . .</i>	85 098 »
<i>g. Intérêt des dynamos et des mécanismes des cars .</i>	3 900 »
<i>h. Réparations — — —</i>	11 250 »
<i>i. Amortissement — — —</i>	13 000 »

<i>j.</i> Intérêt, amortissement et réparations des chariots	4 416	»
<i>k.</i> Huile, chiffons, etc., pour dynamos et mécanismes des cars, et pour les chariots	20 075	»
<i>l.</i> Entretien et renouvellement de l'outillage sur les voitures et au dépôt	6 000	»
<i>m.</i> Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, courroies, transmissions	6 520	»
<i>n.</i> Imprévus et divers	10 000	»
Total annuel de la traction pure pour toutes les voitures d'une ligne	369 963,95	

Le nombre annuel des kilomètres parcourus par toutes les voitures, étant de $100 \times 20 \times 365 = 730 000$, le prix de la traction d'une voiture par kilomètre ressort donc ici à 0,507 franc.

Avec toujours le dispositif à chariot, et par rapport au cas précédent de deux groupes d'accumulateurs par voiture, c'est une économie de 8 %.

Par rapport à la voiture automobile, et pour le même cas de trois groupes par voiture, le prix de revient du kilomètre-voiture reste le même, mais le dispositif à chariot serait certainement bien préférable pour les commodités de l'exploitation en général.

Nos conclusions seront d'ailleurs développées plus loin; en attendant, et comme renseignement, voyons quel serait le chiffre approximatif du capital nécessaire pour installer la traction électrique sur une ligne de tramways dans le cas que nous venons d'étudier.

	francs
Machines à vapeur et chaudières, 163 chevaux à 750 francs.	122 250 «
Machines électriques de charge, transmissions, courroies	26 080 »
Agencement des dépôts, montage, etc.	18 000 »
Accumulateurs électriques	94 098,75
Transformation des cars	65 000 »
Chariots pour les accumulateurs	22 080 »
Outillage du dépôt et des cars	6 000 »
Un cheval	1 200 »
Imprévus et divers	22 291,25
Total.	<u><u>377 000</u></u> »

Soit $\frac{377 000}{20} = 18 850$ francs par voiture en service.

4° Traction avec 4 groupes par voiture et par jour:

Nombre de voitures. — Comme dans le cas de 2 groupes (voir page 80), 25 voitures.

Nombre de chariots ou de groupes :

Par voiture il y a 4 chariots.

Pour les 20 voitures de service, il y aura	80 chariots
Réserve 15 0/0	<u>12</u> —
En tout	<u><u>92 chariots</u></u>

Poids d'accumulateurs. — Le poids brut de chacun des 4 groupes est de 1 096 kilogrammes; pour 4 groupes il sera donc de 4 384 kilogrammes.

Pour les 20 voitures (80 groupes) il sera	87 680 kilog.
Réserve 15 0/0.	<u>13 152</u> —
Poids brut total d'accumulateurs.	100 832 kilog.

Correspondant à un poids de plaques de :

Par groupe 767 kilogrammes, et par voiture 3 068 kilogrammes.

Pour les 20 voitures (80 groupes).	61 360 kilog.
Réserve 15 0/0	<u>9 204</u> —
Poids total des plaques	70 564 kilog.

Charge électrique des accumulateurs. — Ainsi que nous l'avons vu (page 40), la charge électrique de 1 kilogramme de plaques exige du moteur un travail de 11 425 kilogrammètres; donc, pour les 61 360 kilogrammes de plaques de service, il faudra par jour :

$$61 360 \times 11 425 = 701 038 000 \text{ kilogrammètres.}$$

Soit 2 596 chevaux-heure.

Soit 144 chevaux pendant 18 heures environ.

De ce qui précède, nous pourrons facilement conclure les prix de revient des 14 articles qui composent les frais de traction pure, et dont la nomenclature se trouve page 81.

a. Salaire du personnel au dépôt, moins celui qui est affecté à la force motrice :

Pour 2 groupes nous avions par an (voir page 80)	36 300 francs
Pour 4 groupes nous avons ici environ 19 0/0 de moins de plaques à surveiller, à charger, etc., mais le nombre de changements de groupes est notablement plus grand; nous estimons qu'il n'y a pas compensation et qu'il faut ajouter ici, soit pour un manœuvre, soit pour un cheval	<u>1 800</u> =
Donc total.	<u><u>38 100 francs</u></u>

b. Salaire des cochers-électriciens. — Comme avec 2 ou avec 3 groupes; soit par an 21 cochers-électriciens à 3 000 francs, $= 63\,000$ francs.

c. Force motrice de charge. — Par jour 2 596 chevaux-heure, à 0,085 franc, $= 220,66$ francs, et par an $220,66 \times 365 = 80\,540,90$ francs.

d. Intérêt du capital-accumulateurs. — 70 564 kilogrammes de plaques, à 1,25 franc, compris boîtes, etc., représentent un capital de 88 205 francs, dont l'intérêt à 6 % constitue une dépense annuelle de 5 292,30 francs.

e. Menues réparations aux accumulateurs, boîtes, etc., et changement des plaques sans leur fourniture. — 70 564 kilogrammes, à 0,25 franc, font par an 17 641 francs.

f. Amortissement des plaques d'accumulateurs. — Les plaques de service seules valent $61\,360 \times 0,85 = 52\,156$ francs.

Le renouvellement ayant lieu en moyenne deux fois par an constituera une dépense de

$52\,156 \times 2 =$	104 312 francs
d'où il faut déduire le prix des plaques hors de	
service $= 61\,360 \times 2 \times 0,20 =$	<u>24 544 —</u>
Reste, dépense annuelle	<u><u>79 768 francs</u></u>

g. Intérêt des dynamos et des mécanismes des cars. — Même chose qu'avec 2 groupes (voir page 83), par an 3 900 francs.

h. Réparations aux dynamos et aux mécanismes des cars. — Même chose qu'avec 2 groupes, par an 11 250 francs.

i. Amortissement des dynamos et des mécanismes des cars. — Comme avec 2 groupes, soit par an 13 000 francs.

j. Intérêt, amortissement et réparations des chariots à accumulateurs. — Chaque chariot coûtera 230 francs environ; or, nous avons vu page 89 qu'il y en a 92; il y aura donc de ce fait un capital immobilisé de $230 \times 92 = 21\,160$ francs.

Nous compterons, comme dans les deux cas précédents, 20 % pour l'intérêt, l'amortissement et les réparations, ce qui occasionnera une dépense annuelle de 4 232 francs.

k. Huiles, chiffons, etc., pour les dynamos et les mécanismes des cars, et pour les chariots. — Comme avec 2 groupes (voir page 84), par an 20 075 francs.

l. L'entretien, le renouvellement des outils au dépôt et sur les voitures, sera comme avec 2 groupes, c'est-à-dire par an de 6 000 francs.

m. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos de charge, des transmissions, courroies, etc., au dépôt. - Il y a 115,20 chevaux électriques qui à 200 francs chacun, représentent un capital de 23 040 francs.

A 25 % pour intérêt, amortissement, réparations, etc., cela constituera une dépense annuelle de 5 760 francs.

m. Imprévus et divers, par an 10 000 francs.

Récapitulation des dépenses annuelles relatives à la traction pure des cars de 50 places d'une ligne, au moyen du dispositif à chariot, avec 4 groupes d'accumulateurs par voiture faisant, chacun 25 kilomètres par jour :

	francs
<i>a. Salaire du personnel au dépôt</i>	38 100 »
<i>b. Salaire des cochers-électriciens</i>	63 000 »
<i>c. Force motrice de charge</i>	80 540,90
<i>d. Intérêt du capital-accumulateurs.</i>	5 292,30
<i>e. Menues réparations aux accumulateurs.</i>	17 641 »
<i>f. Amortissement des plaques d'accumulateurs . . .</i>	79 768 »
<i>g. Intérêt des dynamos, mécanismes, etc., des cars .</i>	3 900 »
<i>h. Réparations — —</i>	11 250 »
<i>i. Amortissement — —</i>	13 000 »
<i>j. Intérêt, amortissement et réparations des chariots .</i>	4 232 »
<i>k. Huile, chiffons, etc., pour les dynamos et méca-</i> <i>nismes des cars et pour les chariots</i>	20 075 »
<i>l. Entretien et renouvellement de l'outillage sur les</i> <i>voitures et au dépôt</i>	6 000 »
<i>m. Intérêt, amortissement et réparations des dynamos</i> <i>de charge, transmissions, courroies</i>	5 760 »
<i>n. Imprévus et divers.</i>	<u>10 000 »</u>
Total annuel de la traction pure pour toutes les voi- tures d'une ligne	358 559,20

Le nombre annuel de kilomètres parcourus par toutes les voitures d'une ligne étant :

$$100 \times 20 \times 365 = 730 000,$$

le prix de revient de la traction pure d'une voiture par kilomètre ressort donc à 0 fr. 491.

A titre de renseignement, nous pouvons apprécier quel serait le capital approximatif nécessaire pour installer, sur une ligne de tramways, la traction électrique dans le cas que nous venons d'étudier.

	francs
Machines à vapeur et chaudières, 144 chevaux, à 750 francs.	108 000 »
Machines électriques de charge, transmissions, courroies, etc..	23 040 »
Agencement des dépôts, montages, etc.	18 000 »
Accumulateurs électriques	88 205 »
Transformation des cars	65 000 »
Chariots pour les accumulateurs	21 160 »
Outilage du dépôt et des cars	6 000 »
Un cheval	1 200 »
Imprévus et divers	21 395 »
Total	352 000 »

Soit $\frac{352\,000}{20} = 17\,600$ francs par voiture en service.

5° Observations sur le débit des plaques — Nous ne pouvons manquer ici de nous arrêter sur la question si importante du débit des plaques, et, pour éviter des répétitions, nous prierons le lecteur de se reporter aux observations que nous avons faites à ce sujet, pages 60 et suivante, lors de l'étude sur la voiture automobile.

Pour les cas de 2 et 3 groupes d'accumulateurs, en partant du nombre de kilomètres parcourus par chaque groupe d'accumulateurs, de la même vitesse moyenne normale (sans les arrêts) de 9,500 kilomètres par heure, et de la capacité admise de 6,92 ampères-heure par kilogramme de plaques; comme les mêmes raisonnements peuvent s'appliquer ici au dispositif à chariot, nous retrouverons les mêmes résultats qu'avec la voiture automobile, et nous les rappellerons pour mémoire :

Avec 2 groupes par voiture et par jour, le débit moyen normal par kilogramme de plaques est de 1,81 ampère.

Avec 3 groupes, il est 1,97 ampère.

Pour 4 groupes, ici le chiffre des kilomètres est un peu différent que pour le même cas de la voiture automobile, mais le raisonnement reste le même; nous dirons donc :

Si la voiture et son chariot faisaient d'une seule traite, sans aucun arrêt, les 25 kilomètres que chaque groupe doit fournir, à l'allure moyenne adoptée, ils mettraient à les parcourir :

$$\frac{25}{9,500} = 2,63 \text{ heures.}$$

Le débit moyen par kilogramme de plaques deviendrait donc :

$$\frac{6,92}{2,63} = 2,63 \text{ ampères.}$$

Comme avec la voiture automobile, nous pouvons vérifier, et nous ne le ferons que pour le cas de 2 groupes afin de ne pas fatiguer inutilement l'attention, qu'on aurait les mêmes résultats, mais par une voie plus longue, en partant du travail développé par la traction, et en nous rappelant : que l'effort moyen par tonne trainée est de 10 kilogrammes ; que la vitesse par heure de 9,500 kilomètres donne 2,638 mètres par seconde ; que la tension moyenne de décharge a été supposée de 1,80 volt ; que les coefficients de rendement des mécanismes et de la dynamo réceptrice du car sont respectivement 0,833 et 0,75 ; que le poids total à traîner est, dans le cas de 2 groupes, de :

$$7,400 + 3,364 = 10,764 \text{ tonnes,}$$

et qu'enfin le poids des plaques seules d'un groupe est de 1 884 kilogrammes.

En effet, on trouverait que le débit par kilogramme de plaques serait :

$$\frac{10 \times 10,764 \times 2,638 \times g}{1,80 \times 1884 \times 0,833 \times 0,75} = 1,31 \text{ ampère.}$$

c'est-à-dire ce que nous avons déjà trouvé plus haut.

En résumé, comme nous l'avons dit page 60 pour la voiture automobile, nous dirons ici pour le dispositif à chariot que, au point de vue du débit, le cas de 2 groupes par voiture et par jour est bon ; le cas de 3 groupes est acceptable, et le cas de 4 groupes donne un régime très forcé et qui pourrait occasionner une ruine des plaques plus rapide encore que celle que nous avons prévue.

Et comme le débit continue à augmenter avec le nombre de groupes, il devient inutile d'étudier les cas des 5 groupes et au-dessus de 5 groupes.

6° Conclusions sur le dispositif à chariot. — Avec un seul groupe d'accumulateurs par voiture et par jour, le poids du groupe unique est tellement grand que ce cas doit être rejeté.

Nous avons réuni, en une courbe ci-dessous, les prix de revient du kilomètre-voiture pour les cas que nous avons étudiés de 2, 3 et 4 groupes par voiture et par jour.

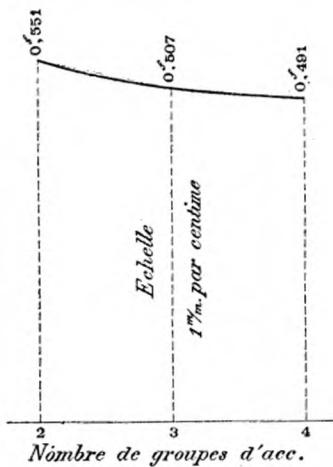
Avec 2 groupes, le prix de revient prévu du kilomètre-voiture est 0 fr. 551, et le débit moyen des plaques est bon.

Avec 3 groupes, le prix de revient est 0 fr. 507, et le débit moyen des plaques est encore acceptable.

Avec 4 groupes, le prix de revient du kilomètre-voiture est 0 fr. 491, mais le débit moyen est très forcé.

Enfin, avec 5 groupes et au-dessus, les débits seraient tellement forcés que ces cas sont à rejeter.

Donc, dans les conditions adoptées, nous noterons que le cas de 3 groupes d'accumulateurs par voiture et par jour, avec son débit moyen acceptable, et son prix de revient du kilomètre-voiture de 0 fr. 507, paraît le plus favorable, et qu'on devra le préférer quand les circonstances et les besoins de l'exploitation le permettront.



Si l'on adoptait d'autres conditions, il va sans dire que les conclusions pourraient différer; notre étude, comme nous l'avons écrit page 62, étant faite dans le but de donner des résultats approximatifs pour le réseau de Paris, et seulement une méthode de calcul pour les autres.

On voit par les conclusions précédentes que, comme pour la voiture automobile, le dispositif à chariot donne sa meilleure solution avec 3 groupes d'accumulateurs, et qu'on trouve alors le même prix du kilomètre-voiture qu'avec la voiture automobile.

Mais ce dispositif permet, pendant les changements de groupes, de laisser la voiture à la station, tandis qu'avec la voiture automobile cette dernière est obligée d'aller au dépôt, et de subir inévitablement des détériorations par le fait de ces changements.

En résumé, on peut dire que ce dispositif donnerait au service la même élasticité, et présenterait presque les mêmes commodités que la locomotive indépendante, dont il n'a pas les inconvénients.

Nous pensons donc qu'il constituerait la meilleure solution, et qu'il aurait encore le grand avantage de pouvoir commencer à être appliqué sans exiger de trop coûteuses appropriations aux voitures existantes.

CHAPITRE IV

Traction animale

Ainsi que nous l'avons déjà dit, notre étude, au point de vue des chiffres, se rapporte au réseau de tramways de Paris : il était indispensable en effet de fixer les idées par un exemple, et nous avons naturellement choisi le plus important qui existe.

A Paris, c'est la Compagnie générale des Omnibus qui exploite la presque totalité des lignes de tramways, et pour donner une idée de l'importance de cette Compagnie et justifier ainsi le choix de l'exemple que nous avons pris, nous dirons qu'en 1888, dernière année étudiée dans ce travail et qui n'a pas été la plus prospère, elle a transporté 192 217 257 voyageurs, dont 71 348 133 par ses voitures de tramways.

Pendant la même année les omnibus seuls ont fourni un parcours total de 19 055 466 kilomètres, soit 476 fois le tour de la Terre ; et les tramways seuls un parcours total de 8 508 890 kilomètres : plus de 212 fois le tour du globe !

Le capital de la Compagnie générale des Omnibus de Paris au 31 décembre 1888 était d'environ 110 000 000 de francs.

Nous allons étudier la traction animale pour chacune des années 1883, 1884, 1885, 1886, 1887 et 1888. Pour apprécier exactement le prix de la traction pure, nous avons puisé tous nos renseignements aux sources officielles, c'est-à-dire au bureau de statistique de la Compagnie générale des Omnibus de Paris et aux rapports que son Conseil d'administration et sa Commission de comptabilité présentent chaque année aux actionnaires sur l'exercice précédent.

Ces rapports ne donnent pas un compte séparé du prix de la traction pure, mais l'abondance des renseignements qu'ils contiennent permet de l'établir en y mettant quelque attention.

Du reste pour rendre notre comparaison entre la traction animale et la traction électrique aussi exacte et aussi inattaquable que possible, nous avons recherché et compté toute les dépenses d'exploitation avec chevaux qui se trouveraient annulées si l'on y substituait la traction par accumulateurs électriques telle que nous l'avons étudiée précédemment.

Comme nous l'avons dit plus haut, notre étude de la traction animale comprendra les six dernières années, afin de nous faire une idée plus exacte du prix de revient moyen du kilomètre-voiture sur les lignes de tramways.

Ce prix de revient moyen sera comparé, dans le cinquième chapitre de ce travail, avec ceux que nous avons précédemment trouvés pour la traction électrique.

**1^o Traction animale des tramways de Paris
pendant l'année 1883.**

Pour avoir le prix de la traction pure, nous avons recherché le total moyen des dépenses relatives à la journée de cheval, nous avons multiplié ce total par le nombre moyen de chevaux par voiture, et en divisant le produit par le nombre moyen de kilomètres parcourus quotidiennement par chaque voiture nous avons eu l'un des principaux éléments du prix de la traction d'une voiture par kilomètre.

A cela nous avons ajouté la part d'intérêt à 6 % afférente à chaque kilomètre, du capital-chevaux, du capital-harnais, du capital-machine à comprimer les fourrages, et du capital-concasseurs; et nous avons eu ainsi le prix exactement comparable à celui que nous avons trouvé pour la traction électrique, où nous avions en effet compté ce même intérêt de 6 %, pour les accumulateurs, les appropriations des voitures, les moteurs, les dynamos de charge, etc.

Dépenses par journée de cheval (1)

	francs
Solde et prime des cochers.	0,4607
Entretien et renouvellement des harnais	0,1104
Solde des inspecteurs de cavalerie.	0,0056
Solde des chefs de dépôt.	0,0251
Solde des piqueurs	0,0238
Prime de conservation de cavalerie.	néant.
Service vétérinaire, infirmerie et médicaments.	0,0242
Solde des palefreniers.	0,2720
Solde des relayeurs et cötiers, employés divers.	0,2333
Achat d'eau	0,0130
Nourriture des chevaux.	2,4092
Renouvellement des chevaux	0,4439
Ferrage des chevaux	0,1167
Chevaux au labour	0,0567
Entretien du mobilier du dépôt et brossesuses	0,0367
	<hr/> 4,2313
<i>d'où il faut déduire : la recette des fumiers par journée de cheval (voir le tableau n° 8).</i>	<hr/> 0,0970
Reste par journée de cheval.	<hr/> 4,1343

Or, si nous consultons le tableau n° 15, nous verrons que, le parcours moyen quotidien d'une voiture de tramway a été de 94,206 kilomètres en 1883, et que

1. Voir le rapport du Conseil d'administration et de la Commission de comptabilité de la Compagnie générale des Omnibus de Paris : Exercice 1883, tableau n° 7 bis. — A. Maulde et C^{ie}, imprimeurs, 144, rue de Rivoli, Paris.

pendant cette même année le nombre moyen de chevaux par voiture a été de 13,95, y compris ceux d'infirmerie, de labour, de corvée et d'inspection ; le prix du kilomètre-voiture serait donc ;

$$\frac{4,1343 \times 13,95}{94,206} = 0 \text{ fr. } 612$$

Mais, ainsi que nous venons de le dire, il faut ajouter à ce prix la part d'intérêt à 6 %, afférante à chaque kilomètre-voiture, des capitaux spécialement immobilisés par le fait de la traction animale.

Or, si nous regardons le tableau n° 11, nous verrons que :

Les 3 503 chevaux affectés aux tramways représentent un capital de	4 223 043 fr. 53
A la page 10 nous voyons que les harnais valent	1 437 909 fr. 65
A la page 11 les presses à fourrages sont estimées.	169 351, 95
A la page 11 les concas- seurs sont notés pour	<u>3 115, 60</u>
De ces trois chapitres, il résulte un total de	1 610 337 fr. 20
affecté (voir tableau n° 11) à un effectif total de 13 673 chevaux pour les omnibus, tramways, etc.	
Faisant la proportion, on trouve que pour les 3 503 chevaux de tramways seuls, le ca- pital immobilisé pour ces trois raisons se- rait	412 575, 97
<i>Le capital total immobilisé pour les tramways</i> <i>sera donc</i>	<u>4 635 619 fr. 50</u>

dont l'intérêt à 6 % représente une dépense annuelle de 278 737 fr. 10.

Or le tableau n° 15 nous apprend que le nombre total de kilomètres parcourus par toutes les voitures de tramways pendant l'année 1883 a été de 9 141 730 ; nous aurons donc à ajouter par kilomètre $\frac{278 737,10}{9 141 730} = 0 \text{ fr. } 031$

Nous avions déjà d'autre part. 0, 612

*Le prix de la traction pure d'une voiture de tram-
way, avec les chevaux, est donc revenu par kilo-
mètre et en 1883, à.* 0 fr. 643

**2^e Traction animale des tramways de Paris
pendant l'année 1884 (1).**

Dépense par journée de cheval :

Solde et prime des cochers	0,4600
Entretien et renouvellement des harnais	0,1765
Solde des inspecteurs de cavalerie.	0,0067
Solde des chefs de dépôt.	0,0239
Solde des piqueurs	0,0232
Prime de conservation de cavalerie.	0,0018
Service vétérinaire, infirmerie et médicaments . . .	0,0196
Solde des palefreniers	0,2764
Solde des relayeurs et côtiers, employés divers . . .	0,2133
Achat d'eau	0,0121
Nourriture des chevaux	2,2260
Renouvellement des chevaux	0,2930
Ferrage des chevaux	0,1039
Chevaux au labour	0,0561
Entretien du mobilier des dépôts et des brossseuses . .	0,0335
	3,9260
<i>A déduire :</i> Recette des fumiers par journée de cheval (2)	0,0950
Reste par journée de cheval	<u><u>3,8310</u></u>

Or le tableau n° 15 nous montre qu'en 1884, le parcours moyen quotidien d'une voiture de tramway a été de 94,507 kilomètres, et que le nombre moyen des chevaux par voiture a été de 13,67, y compris ceux d'infirmerie, de labour de corvée et d'inspection. Le prix du kilomètre-voiture serait donc :

$$\frac{3,8310 \times 13,67}{94,507} = 0 \text{ fr. } 565.$$

Mais il faut ajouter à cela la part d'intérêt afférente à chaque kilomètre-voiture, des capitaux spécialement affectés à la traction animale.

Le tableau n° 11 nous apprend que les 3 272 chevaux affectés aux tramways, repré- sentent un capital de	3 951 005 fr. 28
A la page 11 nous voyons que les harnais sont notés pour	1 471 703 fr. 43

1. Voir le rapport du Conseil d'Administration et de la Commission de Comptabilité de la Compagnie générale des Omnibus de Paris: Exercice 1884, tableau n° 7 bis.

2. Voir d° d°, le tableau n° 8.

qui à 6 % d'intérêt représente une dépense annuelle de 262 078 fr. 69.

Or le tableau n° 15 nous montre que le nombre total de kilomètres parcourus par toutes les voitures de tramways dans l'année 1884 a été de 9 069 356 ; nous aurons donc à ajouter :

$$\frac{262\ 078,69}{9\ 069\ 356} = 0 \text{ fr. } 029$$

Nous avions déjà d'autre part 0, 565

Le prix de la traction pure d'une voiture de tramway avec les chevaux, est donc revenu en 1884, par kilomètre à 0 fr. 594

3^e Traction animale des Tramways de Paris pendant l'année 1885 (1).

Dépense par journée de cheval :

	francs
Solde et prime des cochers	0,4799
Entretien et renouvellement des harnais.	0,1054
Solde des inspecteurs de cavalerie	0,0061
Solde des chefs de dépôt	0,0247
Solde des piqueurs	0,0248
Prime de conservation de cavalerie	0,0013
Service vétérinaire, infirmerie et médicaments	0,0171
Solde des palefreniers	0,2791

1 Voir le Rapport du Conseil d'administration et de la Commission de Comptabilité de la Compagnie générale des Omnibus de Paris: Exercice 1885, tableau n° 7 bis.

Solde des relayeurs et cotiers, employés divers.	0,2013
Achat d'eau	0,0129
Nourriture des chevaux.	2,0362
Renouvellement des chevaux	0,3252
Ferrage des chevaux	0,1058
Chevaux au labour	0,0578
Entretien du mobilier, des dépôts et des brossseuses .	0,0355
	3,7122
<i>A déduire : Recette des fumiers par journée de cheval (2)</i>	0,0831
Reste par journée de cheval	<u>3,6291</u>

Or le tableau n° 15 nous apprend qu'en 1885, le parcours moyen quotidien d'une voiture de tramway a été de 90,694 kilomètres, et que le nombre moyen de chevaux par voiture a été de 12,91 y compris ceux d'infirmerie, de labour, de corvée et d'inspection.

Le prix du kilomètre-voiture reviendrait donc à :

$$\frac{3,6291 \times 12,91}{90,694} = 0 \text{ fr. } 517.$$

Mais il faut ajouter à cela la part d'intérêt afférente à chaque kilomètre-voiture des capitaux relatifs à la traction animale.

Le tableau n° 11 nous apprend que les 3386 chevaux affectés aux tramways représentent un capital de.	4 040 870 fr. 50
A la page 13 nous lisons que les harnais valent.	1 397 476 fr. 89
A la page 14 les machines à compresser les fourrages sont cotées.	128 588, 05
A la page 15 les concasseurs sont évalués à.	2 733, 90
Donc un total de.	<u>1 528 798, 84</u>
affecté (voir le tableau n° 11) à un effectif total de 12565 chevaux pour omnibus, tramways, etc.	
En faisant la part de ce qui revient proportionnellement aux 3386 chevaux de tramways, on trouve pour eux un capital immobilisé de.	<u>411 978, 66</u>
D'où un capital total de. =	<u>4 452 849 fr. 16</u>

qui à 6 % d'intérêt représente une dépense annuelle de 267 170 fr. 95.

2. Voir le Rapport du Conseil d'administration de la Commission de Comptabilité de la Compagnie générale des Omnibus de Paris : Exercice 1885, tableau n° 8.

Or le tableau n° 15 nous indique que le nombre total de kilomètres parcourus par toutes les voitures de tramways dans l'année 1885 a été de 8 479 031 ; nous aurons donc à ajouter pour chaque kilomètre-voiture :

4^o Traction animale des Tramways de Paris pendant l'année 1886 (1).

Dépenses par journée de cheval :

	francs
Solde et prime des cochers	0,4943
Entretien et renouvellement des harnais.	0,1061
Solde des inspecteurs de cavalerie	0,0053
Solde des chefs de dépôt	0,0249
Solde des piqueurs	0,0248
Prime de conservation de cavalerie	0,0012
Service vétérinaire, infirmerie et médicaments.	0,0174
Solde des palefreniers	0,2739
Solde des relayeurs et cötiers, employés divers	0,2033
Achat d'eau	0,0126
Nourriture des chevaux	1,9102
Renouvellement des chevaux	0,4662
Ferrage des chevaux	0,1082
Chevaux au labour	0,0771
Entretien du mobilier des dépôts et des brossesuses	0,0445
<hr/>	
<i>A déduire : Recette des fumiers par journée de cheval (2)</i>	<i>0,0895</i>
<i>Reste par journée de cheval</i>	<i>3,6806</i>

1. Voir le rapport du Conseil d'administration et de la Commission de comptabilité de la Compagnie générale des Omnibus de Paris : Exercice 1886, tableau n° 7 bis.
 2. Voir *idem*, le tableau n° 8.

Or, le tableau n° 15 nous montre qu'en 1886, le parcours moyen quotidien d'une voiture de tramway a été de 90,703 kilomètres, et que le nombre moyen de chevaux par voiture a été de 12,65, y compris ceux d'infirmerie, de labour, de corvée et d'inspection.

Le prix du kilomètre-voiture serait donc :

$$\frac{3,6806 \times 12,65}{90,703} = 0 \text{ fr. } 513.$$

Mais à celà il convient d'ajouter la part d'intérêt afférente à chaque kilomètre-voiture des capitaux relatifs à la traction animale.

Le tableau n° 11 nous montre que les 3194 chevaux affectés aux tramways forment un capital de . . . 3741304 fr. 42

A la page 9 nous voyons que les

harnais sont évalués à 1399471 fr. 42

A la page 12 les machines à comp-
primer font 105461 fr. 25

A la page 18 les concasseurs sont
cotés. 2209 fr. 95

D'où un total de 1 507 142 fr. 62

qui sert (voir le tableau n° 11) à un effectif général de 12 661 chevaux pour omnibus, tramways, etc.

Faisant la proportion de ce qui revient aux 3 194 chevaux des tramways, on trouve pour eux un

capital immobilisé de 370 565 fr. 89

D'où un capital total de. 4 111 870 fr. 31

dont l'intérêt à 6 % représente une dépense annuelle de 246 712 fr. 22.

Mais le tableau n° 15 nous indique que le nombre total de kilomètres parcourus par toutes les voitures de tramways, dans l'année 1886, a été de 8 413 974 ; nous aurons donc à ajouter pour chaque kilomètre-voiture :

$$\frac{246\,712,22}{8\,413\,974} = 0 \text{ fr. } 029$$

Nous avions déjà d'autre part 0, 513

Le prix de la traction pure d'une voiture de tramway, avec les chevaux, est donc revenu en 1886 par kilomètre à 0 fr. 542

**5° Traction animale des Tramways de Paris
pendant l'année 1887 (1).**

Dépenses par journée de cheval :

	francs
Solde et prime des cochers	0,4954
Entretien et renouvellement des harnais	0,0947
Solde des inspecteurs de cavalerie	0,0066
Solde des chefs de dépôt	0,0231
Solde des piqueurs	0,0261
Prime de conservation de cavalerie	0,0011
Service vétérinaire, infirmerie et médicaments	0,0261
Solde des palefreniers	0,2796
Solde des relayeurs et cötiers, employés divers	0,2128
Achat d'eau	0,0123
Nourriture des chevaux	1,8783
Renouvellement des chevaux	0,3841
Ferrage des chevaux	0,1019
Chevaux au labour	0,0357
Entretien du mobilier des dépôts et des brossesuses	0,0340
	<hr/> 3,6118
<i>A déduire : Recette des fumiers par journée de cheval (2)</i>	<hr/> 0,0911
<i>Reste par journée de cheval</i>	<hr/> <u>3,5207</u>

Or le tableau n° 15 nous indique qu'en 1887, le parcours moyen quotidien d'une voiture de tramway a été de 92,257 kilomètres, et que le nombre moyen de chevaux par voiture a été de 12,81, y compris ceux d'infirmerie, de labour, de corvée et d'inspection.

Le prix du kilomètre-voiture serait donc :

$$\frac{3,5207 \times 12,81}{92,257} = 0 \text{ fr. } 489.$$

Mais il faut ajouter à ceci la part d'intérêt afférente à chaque kilomètre-voiture des capitaux spécialement appliqués à la traction animale.

1. Voir le Rapport du Conseil d'Administration et de la Commission de Comptabilité de la Compagnie générale des Omnibus de Paris : Exercice 1887, tableau n° 7bis.

2. Voir d° d°, tableau n° 8.

Le table n° 11 nous montre que les 3 230 chevaux affectés aux tramways forment un capital de . . . 3 688 487 fr. 81
 A la page 12 les harnais sont estimés à 1 376 519 fr. 64
 A la page 10 les machines à compimer sont notées pour 105 617 » 93
 Les concasseurs, même chose qu'en 1886 2 209 » 95
 D'où un total de 1 484 347 fr. 52
 affecté (voir tableau n° 11) à un effectif général de 12 822 chevaux, tant pour omnibus que pour tramways, etc.
 Faisant la répartition, on trouve que pour les 3 230 chevaux de tramways, le capital immobilisé est de 373 923 » 14
 D'où un capital de 4 062 410 fr. 95

dont l'intérêt à 6 % représente une dépense annuelle de 243 744 f. 65.

Or le tableau n° 15 nous indique que le nombre total de kilomètres parcourus par toutes les voitures de tramways dans l'année 1887 a été de 8 402 576 ; nous aurons donc à ajouter pour chaque kilomètre-voiture :

243 744,65		= 0 fr. 029
8 402 576		
Déjà nous avions d'autre part		<u>0 » 489</u>
<i>Le prix de la traction pure d'une voiture de tramway, avec les chevaux, est donc revenu en 1887 par kilomètre à . . . 0 fr. 518</i>		

6° Traction animale des Tramways de Paris pendant l'année 1888 (1).

Dépenses par journée de cheval :

	francs
Solde et prime des cochers	0,4898
Entretien et renouvellement des harnais	0,1036
Solde des inspecteurs de cavalerie	0,0069
Solde des chefs de dépôt	0,0216
Solde des piqueurs	0,0271

1. Voir le Rapport du Conseil d'Administration et de la Commission de Comptabilité de la Compagnie générale des Omnibus de Paris : Exercice 1888, tableau n° 7 bis.

Prime de conservation de cavalerie	0,0010
Service vétérinaire, infirmerie et médicaments	0,0178
Solde des palefreniers	0,2743
Solde des relayeurs et cötiers, employés divers	0,2099
Achat d'eau	0,0097
Nourriture des chevaux	1,9285
Renouvellement des chevaux	0,4045
Ferrage des chevaux	0,1022
Chevaux au labour	0,0168
Entretien du mobilier des dépôts et des brossesuses	0,0328
	3,6465
<i>A déduire : Recette des fumiers par journée de cheval (2)</i>	0,0880
Reste par journée de cheval	<u>3,5585</u>

Or, le tableau n° 15 nous indique qu'en 1888 le parcours moyen quotidien d'une voiture de tramway a été de 93,376 kilomètres, et que le nombre moyen de chevaux par voiture a été de 12,87 y compris ceux d'infirmerie, de labour, de corvée et d'inspection.

Le prix du kilomètre-voiture serait donc :

$$\frac{3,5585 \times 12,87}{93,376} = 0 \text{ fr. } 490$$

Mais nous devons ajouter à ceci, la part d'intérêt afférente à chaque kilomètre-voiture des capitaux spécialement immobilisés par la traction animale.

Le tableau n° 11 nous apprend que les 3 451 chevaux affectés aux tramways représentent un capital de 3 796 231 fr. »

A la page 12 les harnais sont évalués à 1 356 318 fr. 64

A la page 9 les machines à compléter les fourrages à 109 958 fr. 35

Les concasseurs, comme en 1887 2 209 fr. 95

Donc un total de 1 468 486 fr. 94

qui sert (voir au tableau n° 11) à un nombre total de 13 517 chevaux tant pour omnibus que pour tramways, etc.

Si l'on répartit, on trouve que pour les 3 451 chevaux des tramways, le capital immobilisé est de 374 916 fr. 65

D'où un capital de 4 171 147 fr. 65

Dont l'intérêt à 6 0/0 représente une dépense annuelle de 250 268 fr. 86.

2. Voir le Rapport du Conseil d'Administration et de la Commission de Comptabilité de la Compagnie générale des Omnibus de Paris : Exercice 1888, tableau n° 8.

Or le tableau n° 15 nous montre que le nombre total de kilomètres parcourus par toutes les voitures de tramways dans l'année 1888 a été de 8 508 890 ; nous aurons donc à ajouter pour chaque kilomètre-voiture :

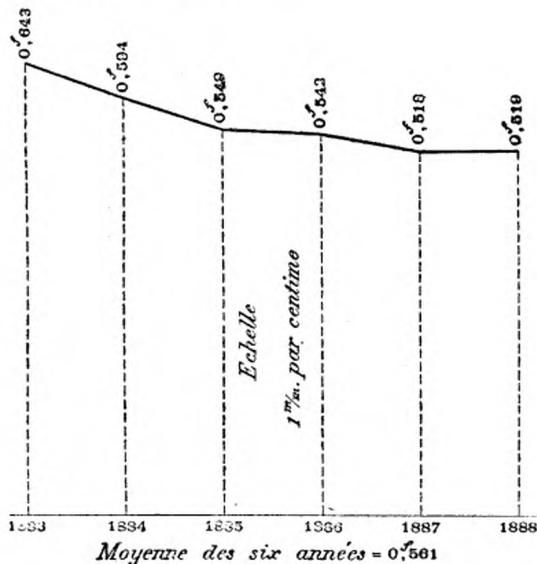
$$\frac{250\,268,86}{8\,508\,890} = 0 \text{ fr. } 029$$

Or, d'autre part, nous avions déjà 0 fr. 490

Le prix de la traction pure d'une voiture de tramway avec les chevaux, est donc revenu en 1888 par kilomètre à . 0 fr. 519

7^e Conclusions sur la traction animale des tramways à Paris.

Pour faciliter l'appréciation du prix de revient du kilomètre-voiture avec les chevaux, sur les lignes de tramways à Paris, nous avons réuni en une courbe les résultats de ces six dernières années :



Ces six dernières années présentent évidemment une période favorable, puisque aux deux extrémités la courbe se relève.

L'abaissement des prix de la traction provient certainement en grande partie d'une Administration intelligente et puissamment organisée, mais il est également une conséquence naturelle de l'abaissement du prix des fourrages, et de circons-

tances heureuses sur lesquelles la vigilance la plus soutenue ne peut avoir que peu ou point d'effet.

Ainsi par exemple, en 1887, qui a été une année exceptionnellement bonne, la nourriture des chevaux, qui intervient pour la moitié environ dans le prix de la traction, n'a été que de 1 fr. 8796 par jour, alors qu'en 1883 elle était de 2 fr. 4092, c'est-à-dire 28 % plus cher.

En 1887, le renouvellement des chevaux a été de 0 fr. 3841 par journée de cheval, tandis qu'en 1883 il était de 0 fr. 4439, soit 15 % plus élevé.

Sans donc baser d'appréciations sur des années de disette des fourrages, ou sur des éventualités d'épidémie sur les chevaux, on peut néanmoins constater que la traction animale, même pendant des périodes relativement calmes, est sujette à des fluctuations importantes contre lesquelles la meilleure administration est à peu près impuissante.

La traction électrique ne présenterait évidemment pas ce danger; au contraire, si l'on considère les progrès absolument extraordinaires et rapides de la science électrique pendant ces dernières années, on peut prédire, sans être accusé d'optimisme, que la mise en exploitation régulière de la traction par accumulateurs serait bientôt suivie de perfectionnements notables.

En résumé, pour en revenir à notre sujet, nous noterons que, pendant les six dernières années, qui vont de 1883 à 1888, le prix de la traction, par chevaux et par kilomètre-voiture, a été en moyenne sur les tramways de Paris de **0 fr. 561.**

Pendant cette même période, le capital moyen immobilisé par les chevaux, par leurs harnais, par les machines à comprimer les fourrages et les concasseurs à maïs, a été de 4 300 312 fr. 62.

Or, toujours pendant ces six mêmes années, la moyenne des nombres maximum de voitures de tramways, mises en services (voir les tableaux n° 15 de chaque année), a été de 266.

Donc, par voiture de service, le capital moyen immobilisé par les chevaux, les harnais, les machines à comprimer et les concasseurs, a été de 16 166 fr. 58 mettons 16 170 francs, en chiffres ronds.

Remarquons bien que nous n'avons encore rien dit du pavage, ni de la voie proprement dite, ni du loyer des dépôts, y compris les intérêts des capitaux employés en immeubles et constructions; nous examinerons ces questions plus loin dans nos conclusions générales, et l'on verra qu'elles fournissent de nouveaux arguments en faveur de la traction électrique.

CHAPITRE V

Conclusions générales

Si donc l'on ne considère que les frais de traction pure, on voit qu'à Paris, sur les lignes de tramways, pendant les six années étudiées, 1883 à 1888, la traction animale par voiture-kilomètre a coûté en moyenne 0 fr. 561

Tandis que la traction électrique au moyen d'accumulateurs électriques, soit par la voiture-automobile, soit par la voiture à chariot, n'aurait coûté que..... 0 fr. 507

Notons donc qu'on aurait obtenu par la traction électrique et par voiture-kilomètre une économie de..... 0 fr. 054

Mais il est encore plusieurs points importants qui viennent ajouter de nouveaux arguments en faveur de la traction électrique, c'est notamment la question du pavage, — et celle du loyer des dépôts, y compris les intérêts des capitaux employés en immeubles et constructions.

Il n'y a guère de raison pour que l'entretien et le renouvellement de la voie proprement dite, différent avec la traction électrique de ce qu'ils sont actuellement avec la traction animale; — mais l'entretien du pavage baissera assurément.

Considérons néanmoins que la réfection de la voie proprement dite entraînera forcément celle du pavage, et que la circulation des voitures étrangères restera toujours une cause de dégradation; — mais la dégradation causée par les chevaux mêmes du tramway sera annulée; de ce dernier fait nous pensons que l'entretien du pavage sera diminué d'un tiers.

Or, la Compagnie générale des Omnibus a dépensé, pour le pavage des voies de tramways à Paris: (Voir les Rapports du Conseil d'administration et de la Commission de comptabilité de la Compagnie générale des Omnibus. Pour chaque exercice, voir aux pages indiquées entre parenthèses).

	francs
En 1883 (page 28).	246 766,41
1884 (page 22).	227 941,17
1885 (page 24).	236 951,36
1886 (page 22).	246 895,44
1887 (page 20).	234 703,29
1888 (page 20).	233 806,10
Dont la moyenne annuelle est	237 843,96

Et, pendant les six mêmes années, le nombre total de kilomètres parcourus par an par toutes les voitures de tramways à Paris a été de (Voir aux tableaux n° 15) :

	kilomètres
En 1883.	9 141 730
1884.	9 069 356
1885.	8 179 031
1886.	8 413 974
1887.	8 402 576
1888.	8 508 890

Dont la moyenne annuelle est 8 669 259

Il en résulte pour la traction animale un supplément de dépense par kilomètre-voiture de $\frac{237\ 843,96}{8\ 669\ 259} = 0,027$ franc.

Et pour la traction électrique, un tiers en moins, d'après ce que nous avons dit plus haut, soit 0 fr. 018 seulement.

Donc en tenant compte du pavage, le prix du kilomètre-voiture, serait, avec la traction animale de..... 0 fr. 588

Tandis qu'avec la traction électrique il ne serait que de..... 0 fr. 525

Notons donc encore qu'on aurait, avec la traction électrique une économie par kilomètre-voiture de..... 0 fr. 063 en tenant compte du pavage.

Mais, pour que notre étude soit complète, il faut examiner aussi ce qu'il adviendrait des dépôts avec l'une et l'autre traction.

Or la Compagnie générale des Omnibus de Paris a dépensé en loyers des dépôts, y compris 6 0/0 des capitaux employés en immeubles et en constructions et rien que pour ses tramways de Paris (Voir aux tableaux n° 7 bis pour chaque exercice :

	francs
En 1883.	889 116,12
1884.	955 657,74
1885.	1 066 206,28
1886.	1 088 665 »
1887.	1 065 244,74
1888.	1 021 790,96

Dont la moyenne annuelle est 1 014 446,81

Ce qui donne par kilomètre-voiture une dépense moyenne de

$\frac{1\ 014\ 446,81}{8\ 669\ 259} = 0,117$ franc à ajouter au prix de la traction animale.

Nous pouvons approximativement nous rendre compte de ce que nous devrions

ajouter de ce même fait au prix de la traction électrique, en comparant les surfaces qu'exigeraient l'une et l'autre traction.

L'effectif moyen des chevaux présents dans les écuries (qui n'est pas le même que le nombre total de chevaux y compris ceux d'infirmerie, de labour, de corvée et d'inspection) et affectés aux tramways de la Compagnie générale des Omnibus de Paris a été par jour (voir tableaux n° 15) :

	chevaux
En 1883 de	3 621
1884 de	3 510
1885 de	3 309
1886 de	3 190
1887 de	3 152
1888 de	3 214
Dont la moyenne est	3 332,66

Mais pendant cette même période, le nombre maximum des voitures de tramways en service, a été :

	voitures
En 1883 de	267
1884 de	267
1885 de	262
1886 de	271
1887 de	263
1888 de	265
Dont la moyenne est de	266

Il y a donc $\frac{3\,332,66}{266} = 12,52$ chevaux présents aux écuries par chaque voiture de service.

Notons que nous aurions pu prendre le nombre moyen de chevaux par voiture y compris ceux d'infirmerie, de labour, de corvée et d'inspection, qui est un peu plus élevé; mais quelques chevaux très-rares relativement, ne seraient pas supprimés par la traction électrique, notamment ceux de corvée, nous avons donc pris les seuls qui réellement sont affectés aux tramways, ce qui n'est pas tout à fait exact, mais qui est en faveur de la traction animale.

Chaque cheval exige environ 4 mètres carrés.

Les 12,52 de chaque voiture exigeront chiffres ronds . 50 mètres carrés.
Or une voiture de tramway demande environ 18 —

Il faut donc, avec la traction animale, et par voiture de service, une surface de 68 mètres carrés.

En réalité il faut beaucoup plus, à cause des dégagements, magasins, passages, etc; mais ici nous ne recherchons qu'une surface de comparaison, et non

ce qu'il faudrait en pratique ; par hypothèse nous admettrons que la proportion des dégagements, etc., est la même avec la traction électrique qu'avec la traction animale, c'est évidemment faire la part belle à cette dernière, car il faudra moins de surfaces en dégagements, en magasins pour le charbon, etc., proportionnellement avec la traction électrique, qu'avec les chevaux qui entraînent des dégagements plus grands relativement, des magasins à fourrages relativement plus vastes, etc.

Considérant la traction électrique, nous supposerons qu'il faudra la même surface de dépôt avec la voiture automobile qu'avec le dispositif à chariot : car si celle-là demande des quais assez spacieux pour les changements de groupes, celui-ci exige une certaine surface pour les chariots eux-mêmes et pour leurs manœuvres. Nous raisonnons sur le cas du dispositif à chariot, qui d'ailleurs, pensons-nous, est la meilleure solution.

Il faudra par voiture en service :

Dans le cas de 3 groupes d'accumulateurs par jour, il faut 69 chariots (voir page 85) pour les 20 voitures de service, soit donc 3,45 chariots par voiture ; or, chaque chariot exigera environ 2,80 mètres carrés ; donc du fait des chariots, nous aurons $3,45 \times 2,80 = 9,66$ mètres carrés.

Le moteur de 163 chevaux, les chaudières, dynamos, exigeront environ 120 mètres carrés, soit par voi-

ture de service $\frac{120}{20} = 6$ —

La voiture elle-même demande 18 —

Il faut donc avec la traction électrique et par voiture de service, une surface de 33,66 mètres carrés

Mettons 34 mètres carrés, c'est donc la moitié de ce qu'exige la traction animale.

Donc par kilomètre-voiture, dans le cas de la traction électrique, nous devrons ajouter du fait des loyers des dépôts, y compris 6 % des capitaux employés en immeubles et en constructions une somme de $\frac{0,117}{2}$ soit 0,059 franc.

Résumons maintenant :

Si l'on tient compte des dépenses de traction pure, de celles d'entretien du pavage, et des loyers des dépôts, y compris 6 % des capitaux employés en immeubles et en constructions, le prix du kilomètre-voiture reviendrait à Paris :

Avec la traction animale.	0 fr. 705
— électrique	<u>0 fr. 584</u>

Ce qui constituerait avec la traction électrique une économie de	<u>0 fr. 121</u>
--	------------------

Soit de plus de 17 %, sur la traction animale.

Le nombre moyen total de kilomètres parcourus par an par toutes les voitures de tramways étant à Paris de 8 669 259, il en résulterait que la traction électrique ferait réaliser chaque année une économie totale de :

$$0,121 \times 8\ 669\ 259 = 1\ 048\ 980 \text{ francs.}$$

Cette économie ne serait évidemment réalisée tout entière que lorsqu'on aurait diminué les dépôts de moitié, ce qui après tout peut se faire en quelques années, mais dès les premiers temps et en ne tenant compte que de la traction pure et du pavage, on aurait une économie de 0 fr. 063 par kilomètre-voiture, et par an de :

$$0,063 \times 8\ 669\ 259 = 546\ 163 \text{ francs.}$$

A titre de renseignement, voyons quelle diminution de capital, entraînerait à Paris l'adoption de la traction électrique des tramways.

Nous avons vu, page 109, que la Compagnie générale des Omnibus dépense en moyenne et par année une somme de 1 014 446 fr. 81 en loyers des dépôts y compris 6 % des capitaux employés en immeubles et en constructions, et pour ses tramways seulement.

Cette somme à 6 % par an représente l'intérêt d'un capital de 16 907 446 francs.

La traction électrique exigeant des dépôts moitié moins grands qu'avec les chevaux, ce capital sera donc diminué de 8 453 723 fr.

Mais il y a à tenir compte d'une légère augmentation qui entraînerait d'autre part l'installation de la traction électrique. En effet, nous avons vu page 88 que par voiture de service le dispositif à chariot exigerait un capital de 18 850 francs.

Et avec la traction animale il n'en faut un que de (voir page 107) 16 170 francs.

Donc la solution du dispositif à chariot entraînerait une augmentation de capital par voiture de service de 2680 francs.

Et pour les 266 voitures de service en moyenne une augmentation totale de 712 880 »

Reste donc une diminution de capital de 7 740 843 fr.

qu'entraînerait l'adoption de la traction électrique au moyen du dispositif à chariot.

Avec la voiture automobile électrique, en se reportant page 52, on voit que par chaque voiture de service il faudrait un capital de 17 700 francs.

Soit en plus qu'avec la traction animale 1 530 francs.

En faisant des calculs analogues aux précédents, on voit qu'en adoptant la

traction électrique, au moyen de la voiture automobile, la diminution de capital serait de 8 046 843 francs.

Ce qui ne nous empêche pas de préférer le dispositif à chariot comme donnant plus de facilités dans l'exploitation, d'autant plus que les capitaux employés sont tous intervenus dans les évaluations du prix de la traction pure par leurs intérêts à 6 % par an.

En résumé, pour les tramways de Paris :

La traction électrique coûterait environ 17 % de moins que la traction animale, et réaliseraient annuellement une économie totale de 1 048 980 francs.

Elle amènerait une diminution de capital d'environ 8 000 000 de francs.

Et remarquons bien que les six années étudiées pour le prix de la traction animale représentent une période favorable qu'on ne peut espérer voir se reproduire régulièrement, tandis que la traction électrique bénéficiera constamment des progrès réalisés dans l'industrie, et chacun sait si les progrès ont été rapides en électricité pendant ces derniers temps.

Il y a donc forte présomption pour que le prix de la traction animale augmente encore, et que celui de la traction électrique diminue même dès les premiers mois d'une exploitation régulière.

Notons aussi que la traction animale a été comptée comme elle existe réellement, tandis que pour la traction électrique nous avons supposé la voiture toujours au complet; or, en pratique, il n'en est pas toujours ainsi, à beaucoup près, donc les accumulateurs travailleront en réalité moins que nous ne l'avons supposé, d'où légère économie encore sur la charge, et plus appréciable sur l'amortissement des plaques, d'où encore le moyen d'éclairer électriquement les voitures d'une manière confortable et sans augmentation de dépense.

Avec la traction électrique on aurait une facilité plus grande qu'avec les chevaux pour arrêter la voiture, la mettre en marche, modérer ou accélérer la vitesse, etc., et il est certain que l'allure moyenne normale pourrait être augmentée.

Avec le dispositif à chariot on changerait aussi facilement de groupes d'accumulateurs, qu'on change actuellement de chevaux.

Remarquons d'ailleurs que, soit avec la voiture automobile, soit avec le dispositif à chariot, et dans le cas de quatre groupes par voiture et par jour, cas qui serait le plus économique sans l'observation un peu contingente sur le débit trop violent des plaques, le poids du groupe, plus celui de la dynamo-réceptrice et des mécanismes, ne dépasserait guère le poids des deux chevaux et de leur harnais, etc., il y a donc, même dans l'état actuel de capacité énergique des accumulateurs, presque égalité entre les *poids morts* nécessités par chaque traction.

La traction électrique permettrait, avec une dépense proportionnelle ou à peu près, de doubler le nombre de voitures de service à certaines heures de la jour-

née, notamment entre 4 et 7 heures. Vers ce moment, en effet, l'affluence des voyageurs est énorme, et le service actuel devient très-insuffisant, tandis qu'il est très-large relativement aux autres heures de la journée.

Malheureusement, avec les chevaux il est impossible, sans sacrifices ruineux, d'entretenir une cavalerie double pour un service forcé d'à peine quelques heures par jour. Une observation analogue peut être faite pour les dimanches et fêtes.

Au point de vue hygiénique on aurait une grande propreté sur les parcours et l'on supprimerait la mauvaise odeur des écuries, d'où une plus-value probable des terrains et des immeubles environnants.

L'éclairage électrique des dépôts se ferait pour ainsi dire sans frais de courant électrique, avec les seules dépenses d'entretien des lampes et de leur amortissement; et les risques d'incendie seraient certainement moins grands que dans les dépôts avec chevaux qui nécessitent des approvisionnements considérables de fourrages, etc., d'où il résulterait un abaissement notable des primes d'assurances.

Nous pensons donc qu'à tous les points de vue la traction électrique de tramways au moyen des accumulateurs s'impose à Paris, et, sans doute, dans bien des grandes villes.

APPENDICE

Dans l'étude d'une exploitation de tramways, la question de traction est capitale, on ne saurait donc l'étudier avec trop de soin.

Un des premiers points à résoudre, et qui est certainement le plus important, — au point de vue technique et des conséquences qu'il a de tous genres, — c'est la détermination de l'effort moyen de traction par tonne traînée sur le parcours considéré, en comprenant toutes les circonstances : comme paliers, rampes, descentes, lignes droites et lignes courbes, allures diverses, arrêts et démarrages probables, etc., etc.

Une fois fixé, aussi bien que faire se pourra, sur ces circonstances, il faudra tracer la courbe des efforts aux vitesses normales acceptées, tant pour l'aller que pour le retour du trajet étudié, et en dégager l'ordonnée moyenne ou effort moyen par tonne traînée. — Dans ces calculs préliminaires il est bon de compter largement afin de ne pas avoir de mécomptes dans l'exploitation ultérieure.

Cette courbe des efforts est en général très-mouvementée, et l'effort moyen très-different d'une ligne à l'autre, lors même qu'il s'agit des divers trajets d'une même ville.

A première vue, et dans les trajets courants des villes, c'est-à-dire comportant des rampes ou descentes généralement admises, on pourrait être tenté de croire que l'effort moyen par tonne, si l'on comprend l'aller et le retour, varie dans des limites assez restreintes, les rampes dans un sens devenant des descentes dans l'autre et *vice-versa*; — mais il n'en est rien.

En effet, pour fixer les idées supposons par exemple que pour traîner à une certaine allure, une tonne en palier et en ligne droite sur une voie de tramway bien entretenue, avec des rails Marsillon, l'effort soit de 6 kilogrammes; — pour traîner le même poids sur une rampe de 14 millimètres par mètre, par exemple, toutes choses égales d'ailleurs, il faudra un effort de $6 + 14 = 20$ kilogrammes.

Au retour, la rampe de 14 millimètres deviendra descente, et chaque tonne traînée sera sollicitée par un effort de 14 kilogrammes, mais comme par hypothèse un effort de 6 kilogrammes est suffisant pour donner la vitesse voulue à la voiture, il faudra donc que le cocher fasse usage du frein et que ce frein absorbe en pure perte le travail correspondant aux 8 kilogrammes restants sur les 14, afin d'empêcher que l'allure ne s'accélère, ce qu'elle ferait d'une manière constante sans le frein. — En pratique même, il arrive plutôt qu'on fait absorber un peu plus au frein, quitte à faire travailler un tant soit peu le moteur.

Il n'y aura donc pas compensation, car l'effort ayant été de 20 kilogrammes à l'aller, et de zéro au retour, l'effort moyen ressort donc à 10 kilogrammes avec cette inclinaison de 14 millimètres par mètre, tandis qu'on devrait avoir seulement 6 kilogrammes s'il y avait eu compensation.

Théoriquement la compensation n'aurait lieu que si les descentes n'avaient jamais une inclinaison supérieure à celle qui est capable de fournir l'allure voulue, afin que le frein n'ait jamais à absorber de travail et devienne conséquemment inutile.

Plus les inclinaisons seront supérieures à ce que l'on peut appeler l'inclinaison d'équilibre, plus l'effort moyen dépassera l'effort moyen normal en palier.

Nous ne saurions trop rappeler qu'en pratique, une foule d'autres circonstances font encore varier l'effort moyen : l'état de la voie, les courbes, les différences d'allures, les démarrages, les arrêts brusques forcés, etc., ces derniers en tous cas nécessitant l'usage de freins et conséquemment une perte de travail.

A titre de renseignement nous donnons ci-après un tableau d'expériences, — déjà un peu anciennes, puisqu'elles datent de 1877 et 1878, — sur les efforts de traction par tonne traînée sur diverses lignes de tramways de Paris.

Ces essais ont été faits par la Compagnie Générale des Omnibus : on lestait les voitures avec des sacs de manière à ce que l'ensemble, c'est-à-dire y compris le poids de la voiture elle-même, pesât 6 000 kilogrammes, l'allure était celle des voitures en service normal, on arrêtait à tous les bureaux de correspondance, et enfin, on faisait un trajet aller et un trajet retour.

Ces essais ont donc été faits presque dans les mêmes circonstances qu'en service ordinaire, il y a cependant à signaler l'omission des arrêts et des démarra-

ges pour voyageurs isolés et autres causes, entre les bureaux de correspondance ; ce qui en service courant augmenterait un peu, mais non d'une manière négligeable, les efforts moyens de traction par tonne traînée.

DÉSIGNATION DES LIGNES	LONGUEUR DE LA LIGNE	LONGUEUR DES DEUX PARCOURS (aller et retour)	EFFORT MOYEN par tonne traînée sur les deux parcours aller et retour
	mètres	mètres	kilogs
Louvre à Vincennes	8045	16090	10,412
Villette à l'Étoile.	7365	14730	12,493
Villette au Trône.	4510	9020	11,656
Cours de Vincennes aux Halles.	5276	10752	8,541
Gare de l'Est à Montrouge.	6170	12340	9,056
La Chapelle au Square Monge.	6228	12456	11,730
Saint-Ouen à la Bastille.	6819	13638	13,130
Passy au Louvre	6225	12450	11,373
Louvre à Charenton	8153	16306	8,290
Bastille au pont de l'Alma.	5522	11044	8,232
Gare d'Orléans au Pont de l'Alma.	5560	11120	6,466
Muette à la rue Tronchet	5520	11040	10,525

L'examen de ce tableau, — où l'on voit que l'effort par tonne traînée varie de 6,466 kilogrammes (ligne de la gare d'Orléans au Pont de l'Alma), à 13,130 kilogrammes (ligne de St-Ouen à la Bastille), — montre avec quel soin on doit se rendre compte, pour chaque trajet, de l'effort de traction, — puisque de cet effort découlent directement l'estimation et la variation de presque toutes les dépenses de la traction pure, et indirectement celles de plusieurs autres dépenses d'administration, etc.

PAUL GADOT.

L'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE

à l'Exposition Universelle de 1889

PAR

M. POTIER,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES
PROFESSEUR A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE ET A L'ÉCOLE DES MINES.

Le caractère le plus saillant de l'Exposition de 1889, comparée à ses devancières, est le rôle prédominant qu'a joué l'électricité dans l'éclairage des palais, galeries et jardins, et qu'elle n'aurait pu remplir aux expositions antérieures. La faiblesse des machines génératrices de courant, les difficultés qu'on éprouvait à alimenter plusieurs lampes à arc dans le même circuit, n'auraient pas permis de réaliser un éclairage aussi puissant sans avoir à mettre en mouvement un nombre de dynamos dix fois plus grand que celui qui a suffi ; et, sans les lampes à incandescence, on n'aurait pas pu réaliser la variété d'effets qu'ont admirée les visiteurs de l'Exposition ; si la lampe à arc doit être pour longtemps encore l'appareil le mieux approprié à un éclairage industriel, elle est impropre à l'éclairage privé, et parmi tous les services rendus par Edison à ses contemporains, il en est peu d'autant considérables que l'introduction de la lampe à incandescence dans le vide et la conception de stations centrales distribuant, comme l'eau et le gaz, le courant électrique sous une forme appropriée aux éclairages les plus divers. C'est en 1882 seulement, que la première station centrale fut élevée à New-York, et l'exemple donné a été suivi dans l'ancien continent, moins rapidement toutefois qu'en Amérique ; en dehors de ces grandes usines électriques, nombre considérable d'installations privées, d'importance sans cesse croissante, a été fait des deux côtés de l'Océan, et pour satisfaire à ces besoins on a dû substituer aux modestes machines de Gramme et de Siemens des dynamos de puissance de plus en plus élevée ; telles étaient, parmi les machines fonctionnant sous les yeux du public, les dynamos Gramme, de 900 ampères et de 120 volts ; Edison (Compagnie continentale), de 800 ampères ; et Siemens (construite par la Société alsacienne), de 1 000 ampères, absorbant des puissances de 120 à

150 chevaux ; et une machine Ferranti à courants alternatifs de même puissance ; près d'une machine Farcot, de 1 000 chevaux, on voyait aussi une dynamo de M. Marcel Deprez, qui n'a pas fonctionné, construite pour absorber 500 chevaux.

Une autre application importante de l'électricité, dont la Société Gramme n'a pas cessé d'exposer des exemples depuis 1873, exige aussi des machines puissantes. Il s'agit de ce que l'on a appelé *transport de la force par l'électricité*, ou de l'emploi des dynamos comme machines motrices. Ces transmissions se sont faites d'abord à petites distance et pour de petites forces ; un certain nombre d'ateliers commandent les machines-outils par des dynamos. Presque tous les constructeurs, la Société Gramme, la Compagnie électrique, MM. Sautter et Lemonnier, la Société de l'éclairage électrique, la Compagnie continentale Edison, la Société pour la transmission de la force, M. Dulait, la Compagnie Thomson-Houston, exposaient des dynamos faisant mouvoir divers outils à des distances variables de la dynamo génératrice de courants. Deux compagnies américaines, l'Elektron Manufacturing Co et la C and C motor Co, n'exposaient même que des petits moteurs de force inférieure à un cheval et enroulés pour être employés sur les distributions Edison à 100 volts. Dans la plupart de ces applications le rendement des machines n'a pas une très grande importance ; il n'en est plus de même pour les transmissions à grande distance de grandes puissances ; si ce problème ne présente qu'un médiocre intérêt dans les pays de plaine où le combustible peut être obtenu à un prix modéré, il en est autrement dans le voisinage des montagnes où la force motrice, malgré l'aménagement des chutes d'eau, l'établissement de deux dynamos et la perte qu'entraîne la longueur du circuit, peut être produite à meilleur marché que par une machine à vapeur.

La Société pour la transmission de la force et, surtout la maison Cuenod Sautter, de Genève, et les ateliers d'Œrlikon, ont réalisé de semblables transmissions dans des conditions absolument industrielles. Les ateliers d'Œrlikon avaient exposé deux machines de M. Brown, spécialement destinées à cet usage : la dynamo génératrice, d'une puissance de 300 chevaux ; la réceptrice, de 200 chevaux.

L'électro-métallurgie, qui n'était pas représentée dans la classe 62, demande également des machines très puissantes. M. Crompton et les ateliers d'Œrlikon ont construit des machines dont le débit s'élève à 6 000 ampères pour la fabrication de l'aluminium et de ses alliages.

Ces exemples et d'autres plus fréquents qu'on pourrait recueillir en dehors de l'Exposition, suffisent pour prouver que la dynamo est entrée dans la grande industrie et que les éléments de sa construction méritent d'être étudiés avec autant de soin que ceux des machines à vapeur. Ces éléments sont de deux sortes : les uns mécaniques, les autres électriques ou magnétiques ; jusqu'en 1878 aucune règle, autre que des règles purement empiriques, ne permettait la détermination préalable des éléments magnétiques, sections des fers, nombre des tours

de fils sur les inducteurs et l'induit; si aujourd'hui cette détermination peut se faire avec une approximation suffisante, c'est surtout aux travaux théoriques et expérimentaux de MM. Marcel Deprez, Hopkinson et Kapp que les ingénieurs le doivent; c'est en grande partie à leur influence qu'on peut attribuer les progrès constatés par les diverses expositions qui se sont succédé depuis 1881, dans l'utilisation du fer et du cuivre, en vue des résultats à obtenir.

L'Exposition présentait une lacune regrettable en ce qui concerne les machines à courants alternatifs. Depuis que l'attention publique a été ramenée par les remarquables expériences de Gaulard, à l'exposition de Turin, sur la facilité avec laquelle les courants alternatifs se prêtent à la transformation, on a songé à en profiter pour établir des transmissions de force à grande distance, en envoyant sur la ligne un courant de faible intensité, transformé dans le voisinage de la machine réceptrice de manière à ne plus offrir de tensions inacceptables. L'utilisation de ces courants est subordonnée à la découverte d'un moteur à courants alternatifs aussi facile à mettre en marche que les moteurs à courants continus; la solution complète de ce problème ne paraît pas encore trouvée, mais des solutions approximatives en ont été données qu'il eût été intéressant de voir fonctionner.

Bien que les piles jouent un rôle de moins en moins important dans les applications industrielles proprement dites, on a cru devoir les décrire, dans la première partie de ce rapport, ainsi que les accumulateurs qui paraissent, au contraire, appelés à rendre d'importants services (1).

I. — Machines dynamos.

MACHINES A COURANT CONTINU

Les dynamos, ou génératrices, ou réceptrices à courant réellement continu exposées, contiennent toutes l'organe essentiel de la machine inventée par M. Gramme en 1869: le collecteur, organe dont la forme même n'a pas sensiblement varié; le fil est divisé en segments dont les extrémités correspondent aux touches de ce collecteur, et le courant se renverse successivement dans chacun de ces segments, après qu'il a été mis pendant quelques instants au court

1. Voir dans le 1^{er} fascicule de la 8^e partie l'article de M. A. Witz sur les *Piles et les Accumulateurs*.

circuit par le passage de ces touches sous des frotteurs ou balais, dont le nombre, toujours pair, dépend de la forme du champ magnétique dans lequel se meuvent le fil induit. Au nombre de deux dans les machines bipolaires, et dans les machines multipolaires (Alioth, Desroziers) où les groupes de segments induits sont associés en série, ces balais peuvent être en nombre égal à celui des pôles, lorsque les divers groupes sont accouplés en quantité, à moins que, par des connexions spéciales, le courant ne se divise entre ces groupes qu'après avoir pénétré dans le collecteur ; cette dernière disposition est généralement adoptée dans les machines multipolaires à grand débit ; l'écart angulaire des balais est alors le quotient de la circonférence entière par le nombre des pôles.

Les lames du collecteur sont isolées en général par l'interposition d'un isolant solide, carton bitumé, amiante ou mica ; dans les machines exposées par la Société alsacienne des constructions mécaniques (et dans une machine Emile Gérard, de Bruxelles), l'isolant est de l'air sous les balais ; sur chaque lame en bronze est vissé un prolongement en acier, et les balais frottent sur ces prolongements, qui peuvent être facilement remplacés.

INDUITS

L'induit Gramme a son noyau constitué par du fil de fer oxydé et verni ; ce fil, enroulé d'abord sur un mandrin, en est ensuite détaché, puis mastiqué et recouvert de ruban de toile imprégné de bitume ; lorsque la machine doit produire une grande différence de potentiel, des couches de fibre sont intercalées dans ce revêtement. On fixe ensuite à l'intérieur du noyau quatre pièces de bois à la place que doivent occuper les bras du croisillon d'entraînement ; le fil de cuivre est alors enroulé ; les morceaux de bois enlevés, et remplacés par des U en fibre, occupant toute la longueur de l'induit ; un croisillon formé d'un moyeu et de quatre bras, dont la hauteur est légèrement décroissante d'une extrémité à l'autre de l'induit, est ensuite introduit, et on achève de l'enfoncer à la presse. Le moyeu est claveté sur l'arbre, et le talon de la clavette fixé au moyeu par une vis.

M. Jaspar entraîne autrement l'induit ; deux tourteaux d'un diamètre notablement inférieur au diamètre intérieur de l'induit recouvert de fil sont clavetés sur l'arbre et portent quatre entailles chacun ; dans ces entailles pénètrent quatre lames de bronze jouant le rôle des bras du croisillon Gramme ; ces lames ont un côté rectiligne, celui qui s'applique sur la surface interne de l'induit ; mais elles sont plus hautes dans le sens radial, au milieu qu'aux extrémités ; de sorte qu'en rapprochant, au moyen de boulons parallèles à l'axe, les deux tourteaux l'un de l'autre, on rend ceux-ci parfaitement solidaires des lames de bronze qui déterminent l'entraînement du fil induit.

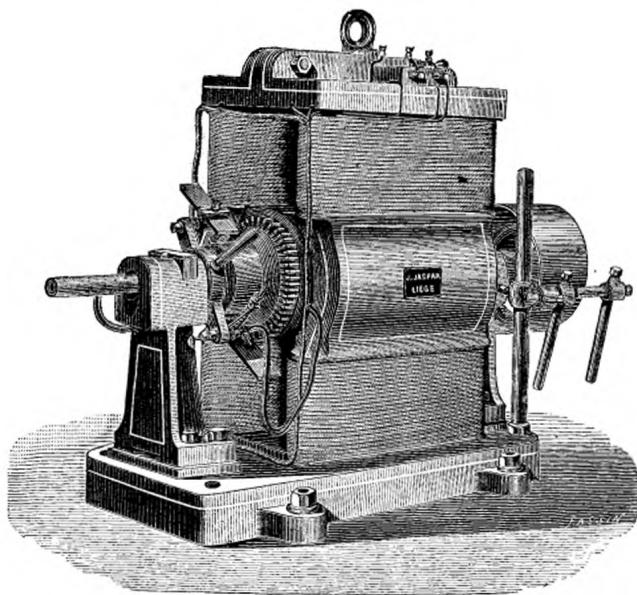


Fig. 1. — Machine Jaspar.

L'induit Sautter-Lemonnier a un noyau composé de disques de tôle; ceux-ci, isolés les uns des autres par du papier imprégné de gomme laque, sont enfilés sur une poulie à quatre bras en bronze dont la surface extérieure a été recouverte de papier isolant; les disques sont fortement serrés, puis le tout est recouvert de ruban isolant, ainsi que les parties des bras contre lesquelles viendra s'appuyer le fil induit.

Dans la construction de la maison Bréguet, la poulie est remplacée par une lanterne en bronze ajourée, portant deux joues dont l'une est fondue avec la lanterne, tandis que l'autre, filetée intérieurement, peut se visser à l'autre extrémité de la lanterne; on comprime ainsi la série des disques formant le noyau de l'induit. L'entrainement de cette lanterne est assuré par deux croisillons; les bras de ceux-ci sont tournés avec une légère conicité, comme les extrémités de la lanterne de leur côté interne; ces croisillons clavetés sur l'arbre sont serrés entre une embase de l'arbre et un écrou; enfin des ergots fixés sur les bouts des bras du croisillon et pénétrant dans des rainures pratiquées dans la lanterne achèvent d'assurer l'entrainement. Ces opérations faites, et la lanterne tournée, on la démonte pour procéder à l'empilage des disques et à l'enroulement qui ne présente aucune particularité.

Dans ces dispositifs, le croisillon solidaire de l'arbre agit sur le fil induit seulement pour entraîner le noyau; dans les induits Crompton, les disques eux-

mêmes portent quatre entailles, qui, lorsqu'ils sont montés, forment quatre cannelures longitudinales, dans lesquelles on enfonce une pièce de bois dur portant elle-même à l'intérieur une cannelure plus petite.

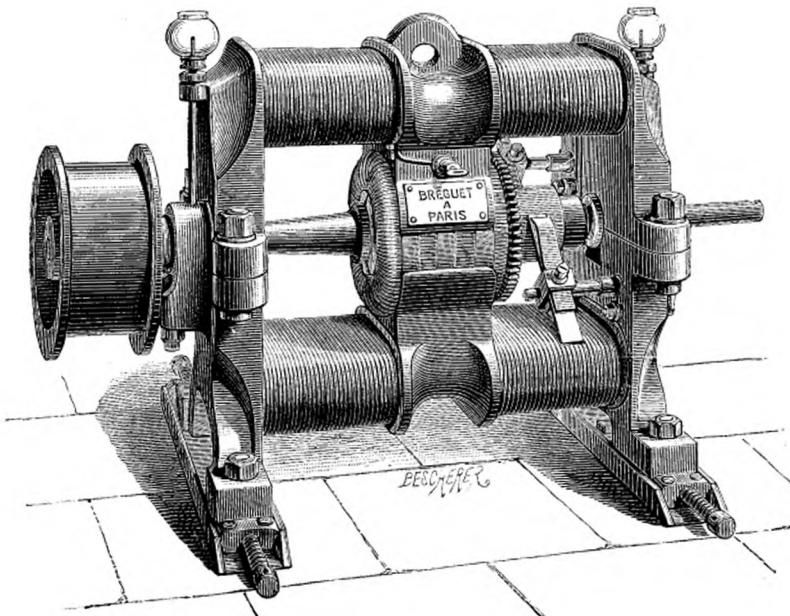


Fig. 2. — Dynamo Gramme construite par la maison Bréguet.

Dans une grande machine à anneau Gramme (') de 1^m,60 de diamètre le noyau de l'induit, qu'il eût été difficile de découper dans des disques en tôle, est formé de lames de fer perpendiculaires à l'axe, chevauchant l'une sur l'autre et reliées entre elles par des boulons; un mode de construction analogue, usité aussi dans des moteurs (Reckenzaum) qui ne figuraient pas à l'Exposition, est employé par le marquis de Contades; le fer de l'induit est formé de lames percées d'un trou vers chacune de leurs extrémités; ces lames sont assemblées par des broches, de manière à former une chaîne de Galle, pourvue d'autant de chainons que le collecteur a de segments; chaque bobine de fil induit est enroulée sur cette chaîne posée à plat; l'enroulement terminé, les deux chainons extrêmes sont rapprochés, fixés par une dernière broche et l'anneau est constitué.

Les induits à tambour ont aujourd'hui leur noyau constitué également par une série de disques en tôle; l'emploi de barres rigides et de disques en cuivre

1. Type I de Siemens, construite par la Société alsacienne.

formant l'induit des premières machines Edison a été abandonné, et l'enroulement est presque partout identique à celui des premières machines Siemens avec un nombre pair de bobines. La Compagnie française Edison monte les disques sur une bobine dont l'une des jones est mobile ; l'ensemble est serré par le fond rapporté, qui est fixé par de fortes vis. Chaque bobine induite est formée d'un paquet de fils, dont les extrémités sont logées dans une fraiseure étroite et profonde pratiquée dans les ailettes qui prolongent radialement les lames du collecteur.

Dans les machines Thury, les disques portent une série d'entailles, et la poulie sur laquelle ils sont enfilés porte sur sa jante un nombre égal de clavettes qui y sont fixées par des vis, pour assurer l'entrainement ; tandis que dans les machines Alioth, la lanterne clavetée sur l'arbre est formée de deux couronnes reliées par huit barres rectangulaires, dont quatre, correspondant aux bras, ont leur surface extérieure tournée suivant un rayon intérieur des disques ; les quatre autres, plus éloignées du centre pénètrent dans des entailles pratiquées dans les disques ;

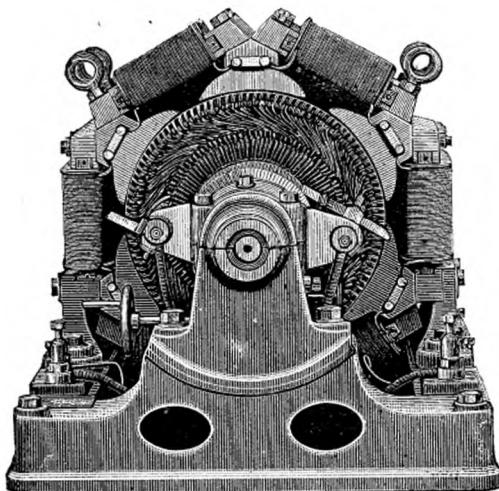


Fig. 3. — Machine Thury, construite par la maison Cuénod Sautter.

de plus, dans cette dernière machine, les disques, de 1 millimètre d'épaisseur, sont montés par paquets de dix, isolés les uns des autres par des espaces vides de 2 millimètres, ce qui, combiné avec la disposition du fil induit, produit une ventilation énergique.

Dans les machines Rechniewski, à tambour, les tôles sont clavetées sur un manchon en bronze et maintenues entre deux disques en fibre dont l'un est serré

par un écrou; elles sont aussi disposées par paquets entre lesquels des vides sont ménagés.

Le manchon, goupillé sur l'arbre, est muni de deux larges évidements. Une autre pièce de bronze, dont le prolongement porte le collecteur, est vissée sur l'arbre; elle porte aussi des évidements; dans ces vides sont des ailettes en hélice qui aspirent l'air extérieur et le refoulent entre les paquets de tôle. Cette machine se distingue en outre par la forme dentée, donnée aux disques de tôle, de celles qui ont été décrites ci-dessus.

Les enroulements de la plupart des machines sont en fil; ce qui produit pour les tambours une calotte de fils superposés à la partie opposée au collecteur dans les machines bipolaires, et dans les machines multipolaires (Thury) des bourrelets; dans les machines Westminster (construites par M. Andersen et exposées par la maison Latimer Clark, Murhead et C^{ie}), la portion de l'induit qui occupe les génératrices du tambour est formée de bandes minces de cuivre, de 4 millimètres d'épaisseur et de 1 centimètre de largeur (suivant le rayon), qui sont associées en quantité suffisante pour former des conducteurs ayant la section requise, et les barrettes ainsi formées sont séparées les unes des autres; ces barrettes couvrent la surface extérieure, et de plus se prolongent les unes en avant, les autres en arrière, de sorte que leurs extrémités se trouvent sur deux plans différents perpendiculaires à l'axe; les jonctions qui doivent relier une extrémité à l'autre sont réalisées dans un plan différent se composant d'une série de développantes de cercle dans le plan intérieur, et de bandes de cuivre radiales dans le plan postérieur, reliées par des fils parallèles à l'axe, et dont l'ensemble forme une espèce de collecteur; par cette disposition tout contact est évité entre deux portions du fil à des potentiels différents. M. Alioth (¹) emploie une disposition analogue dans ses machines quadripolaires; les jonctions sont alors réparties sur quatre plans différents, ce qui est nécessaire par le mode complexe d'enroulement adopté, les fils d'induit sont de petites barrettes rectangulaires en cuivre séparées par des intervalles de plus d'un millimètre.

Dans toutes les machines ci-dessus, il est nécessaire de frettter le fil induit sur sa périphérie; même dans les machines Rechniewski, où le fil est divisé en paquets logés dans les entailles des dents, ce frettage est indispensable; dans un des types créés par M. Brown (ateliers d'Erlikon), cette précaution est inutile: les disques de tôle sont percés de trous parallèles à l'axe, disposés sur une circonference voisine de la périphérie, et dans lesquels sont enfilés les fils de l'induit; aucune disposition ne permet de rapprocher autant le fer de l'induit des surfaces

1. Dans ces machines, M. Alioth forme tous les éléments de l'induit de cadres préparés à l'avance, constitués par deux génératrices et leurs connexions, occupant environ un quart de la périphérie du tambour et logés dans des rainures pratiquées dans les tôles.

polaires. Dans des moteurs de la Compagnie Edison, M. Picou pratique également des trous circulaires dans les tôles, mais ces trous communiquent à l'extérieur par une rainure, au moyen de laquelle on peut introduire successivement dans le trou les fils qui composent le conducteur induit au lieu de les enfiler comme dans la construction d'Œrlikon.

Dans les machines à anneau plat, telles que les machines du type Schuckert, construites par M. Fabius Henrion, l'induit a un noyau de fil de fer dont les couches sont séparées par du papier paraffiné; le noyau est ensuite recouvert de ruban et le fil induit enroulé dessus, laissant à la périphérie un intervalle notable; l'anneau ainsi constitué est revêtu du côté interne d'une couche isolante et on y fait pénétrer à mi-épaisseur un disque métallique destiné à être claveté sur l'arbre; des pattes sont ensuite placées par paires de chaque côté du disque, et serrées avec des boulons; ces pattes pincent l'induit et déterminent son entraînement. Dans les anneaux plats de MM. Steinlen et Ducommun, ces pattes, au lieu d'être indépendantes, font partie de deux plateaux fixés de chaque côté du disque central, tandis que M. Dulait serre l'anneau induit entre deux plateaux dont chacun possède une demi-gorge, ayant sensiblement le même profil que les pattes du montage Henrion.

Parmi les machines multipolaires, en tension, on doit citer particulièrement la machine Desroziers, construite par la maison Bréguet; cette machine ne renferme pas de fer dans l'induit. Soit par exemple une machine à 6 pôles; les lignes neutres qui séparent, sur la surface du disque, les champs magnétiques appartenant à ces divers pôles, divisent cette surface en six secteurs, et, si la surface du disque est couverte de fils radiaux, ceux-ci seront le siège de forces électro-motrices centripètes dans les secteurs 1, 3, 5, centrifuges dans les autres; supposons que le nombre des fils soit de 32, et que ceux-ci soient numérotés de 1 à 32; si le fil 1 coïncide avec une ligne neutre, les fils numérotés 6, 11, 16, 21, 26, 31, 4, 9, 14, 19, 24, 29, 2, 7, 12, seront alternativement dans un groupe de secteurs, et dans l'autre, tandis que le fil 17, diamétralement opposé au premier, tombera sur une ligne neutre.

Par suite, si l'on joint l'extrémité périphérique de 6 avec celle de 11, de 16 avec celle de 21, de 26, avec celle de 31, et ainsi de suite, le fil 1 se trouvera réuni au fil 17 par un circuit dans lequel les forces électromotrices des divers éléments sont toutes concourantes; si on continue à procéder de même en prenant les fils de 5 en 5 à partir du fil 17, on formera un nouveau circuit semblable au premier; l'ensemble aura employé tous les fils du disque, qui formeront un circuit sans fin, divisé par les éléments 1 et 17 en deux parties dans lesquelles les forces électromotrices induites seront égales et opposées, et formées par la répétition d'un certain nombre d'éléments tous semblables entre eux (comportant chacun deux rayons, une connexion extérieure et une intérieure) entièrement assimilable par conséquent à un anneau Gramme, et on recueillera un

courant, si l'on joint aux lames successives d'un collecteur. Chaque élément passant six fois par tour dans une position de four électro-motrice nulle, ce collecteur devra, avec ses deux balais, avoir trois fois plus de lames qu'il n'y a d'éléments, chaque lame devant être en communication permanente avec celles qui sont en avant et en arrière de 120° .

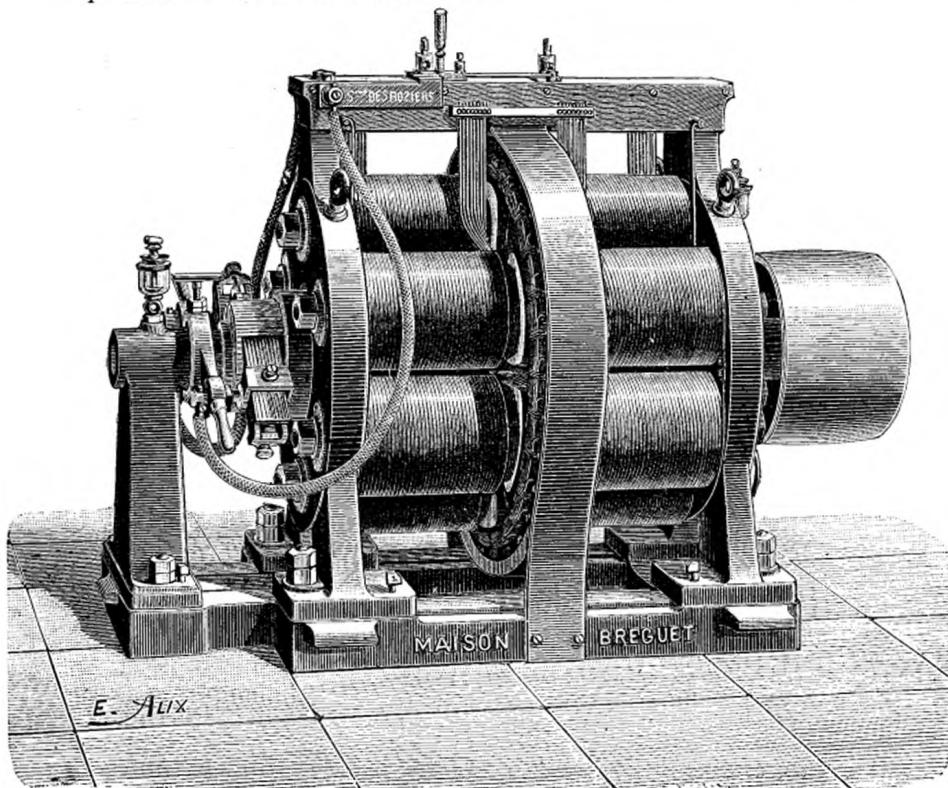


Fig. 4. — Machine Desroziers, construite par la maison Bréguet.

Pour réaliser cet enroulement, M. Desroziers emploie deux cartons. Chacun d'eux porte la moitié de l'enroulement, soit les éléments pairs pour l'un, et les éléments impairs pour l'autre ; dans chaque élément les fils radiaux sont placés d'un côté du carton, et les connexions en forme de développantes de cercle de l'autre côté ; le carton étant troué aux points convenables, les croisements sont ainsi évités ; on intercale ensuite entre les deux cartons un disque perforé ou étoile en mallechort ; on fait les soudures nécessaires pour établir la continuité du circuit (les deux cartons sont en contact par les faces qui portent les fils radiaux), et l'induit ainsi constitué est fixé sur un plateau d'entraînement porté par l'arbre ; deux couronnes en bronze protègent les connexions en dévelop-

pantes. En pratique, pour obtenir des forces électromotrices suffisantes, chaque élément est formé de plusieurs tours de fils embrassant chacun un sixième environ de l'espace compris entre les deux couronnes.

Les jonctions des lames du collecteur aux extrémités des sections de l'induit se font aussi sans croisements de fil au moyen d'un plateau dit *connecteur*, portant sur ses faces avant et arrière les séries de développantes, reliant une de ces extrémités aux lames qui sont à 120° en avant et en arrière.

Il est bien connu qu'en dehors des conditions mécaniques qui limitent la vitesse de rotation, la puissance d'une machine est limitée aussi par les étincelles qui se manifestent aux balais quand on pousse le débit, de telle sorte que pour une excitation donnée, on ne peut dépasser sur l'induit un certain nombre d'ampères-tours ; croissant avec le champ magnétique des inducteurs sous les pièces polaires, et avec l'entrefer, il croît généralement avec le diamètre de l'induit. Il a paru intéressant de comparer à ce point de vue les diverses machines pour lesquelles des renseignements suffisants ont été communiqués au jury.

Dans le tableau suivant on trouve en face du nom de chaque machine une première fraction dont le numérateur est le débit en ampères de la machine, et le dénominateur le nombre de pôles ; c'est donc le courant qui passe réellement dans le fil ; la seconde fraction a pour numérateur le nombre des génératrices extérieures, nombre de spires pour un anneau, le double de ce nombre pour un tambour, et pour dénominateur le diamètre, la troisième colonne donne le quotient de ces deux fractions, ou du nombre d'ampères-tours par le diamètre en centimètres.

Parsons	$\frac{400}{2} : \frac{30}{15} = 400$	Tambour.
Miot	$\frac{150}{4} : \frac{500}{40} = 468$	Anneau.
Crompton	$\frac{23}{2} : \frac{2160}{39.5} = 680$	
Rechniewski.	$\frac{110}{2} : \frac{192}{19.4} = 550$	Tambour.
Breguet C. L.	$\frac{80}{2} : \frac{180}{22} = 327$	Anneau.
Clark-Muirhead.	$\frac{400}{2} : \frac{108}{38} = 560$	
Téléphones de Zurich.	$\frac{40}{2} : \frac{528}{18.8} = 590$	Tambour.
Locomotive de Winterthur	$\frac{200}{2} : \frac{140}{30} = 460$	
Œrlikon	$\frac{360}{2} : \frac{100}{60} = 300$	Anneau.
Edison	$\left. \begin{array}{l} \frac{240}{2} : \frac{128}{29.8} = 512 \\ \frac{360}{2} : \frac{112}{34.5} = 550 \end{array} \right\}$	
Société Alsacienne	$\left. \begin{array}{l} \frac{250}{2} : \frac{120}{23.8} = 600 \\ \frac{500}{2} : \frac{120}{43.2} = 700 \\ I : \frac{1000}{6} : \frac{714}{160} = 740 \end{array} \right\}$	Anneau.

Cuenod Sautter HDT.	$\frac{750}{6} : \frac{270}{74.5} = 450$	Tambour.
Marcel Deprez	$\frac{35}{2} : \frac{1496}{50} = 823$	Anneau.
Jaspar	$\frac{300}{2} : \frac{120}{40} = 450$	
Lahmeyer	$\frac{60}{2} : \frac{152}{17} = 270$	Tambour.
Gramme	$\frac{1000}{2} : \frac{20}{33} = 450$	Anneau (1).

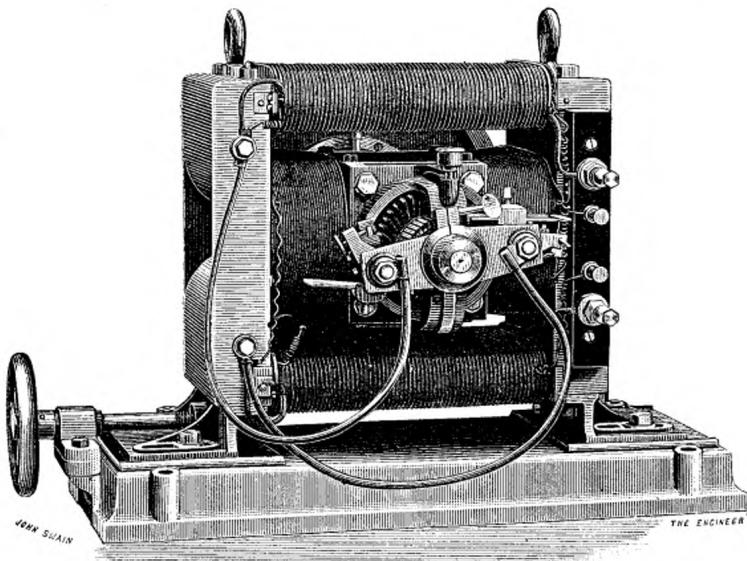


Fig. 5. — Machine Cuenod Sautter.

Dans l'examen de ces chiffres, on doit tenir compte de ce fait que certains constructeurs indiquent le débit maximum que la machine peut supporter, tandis que d'autres indiquent un débit plus faible, laissant une marge qui peut atteindre 20 %.

INDUCTEURS

La disposition générale des inducteurs est l'élément qui contribue le plus à la forme générale de la machine. Pour les machines bipolaires, les inducteurs sont souvent en forme de simple fer à cheval (Gramme, type dit *supérieur*. Rechniewski, Edison, Siemens, construit par la Société alsacienne) dans le plan per-

1. Galvanoplastie.

pendiculaire à l'axe de rotation (*); la denture de l'induit Rechniewski oblige à former le système inducteur de lames minces; dans les autres types, les noyaux des électro-aimants sont de fer forgé ou de fonte (ou acier fondu); l'emploi de ces matières permet de fondre d'une seule pièce le bâti, les noyaux et parfois les pièces polaires. L'induit est au-dessus des noyaux, sauf dans quelques machines Edison où il est à la partie inférieure; les pièces polaires doivent alors être séparées par une matière non magnétique du bâti, et, malgré cette séparation, des

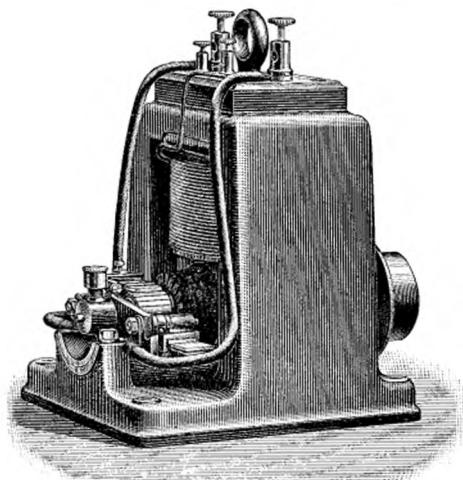


Fig. 6. — Machine Cuenod Sautter.

dérivations magnétiques importantes s'établissent par ce bâti. La forme des pièces polaires doit, dans ce type, être étudiée avec soin; la résultante des forces magnétiques sur l'anneau ou le tambour est verticale et peut déterminer sur les paliers une pression considérable. Cet inconvénient est évité par l'emploi d'inducteurs en double fer à cheval, les pièces polaires réunissant les pôles de même nom des noyaux opposés. Dans ce cas, l'enroulement peut être fait soit sur chacune des branches du fer à cheval, qui est alors fermé par une culasse; c'est la disposition des premières machines Siemens qu'on retrouve dans les machines Crompton, Postel-Vinay, Edison (type modifié) Jaspar et dans quelques machines Gramme, et aussi dans les machines à disques (Dulait, Henrion, Steinlen) (*);

1. Un certain nombre de moteurs Gramme, construits par la Compagnie électrique, ont les branches du fer à cheval parallèles à l'axe; de même dans la machine Sperry.

2. Cette culasse pouvant être raccourcie considérablement si les deux branches font un petit angle (machine Méritens).

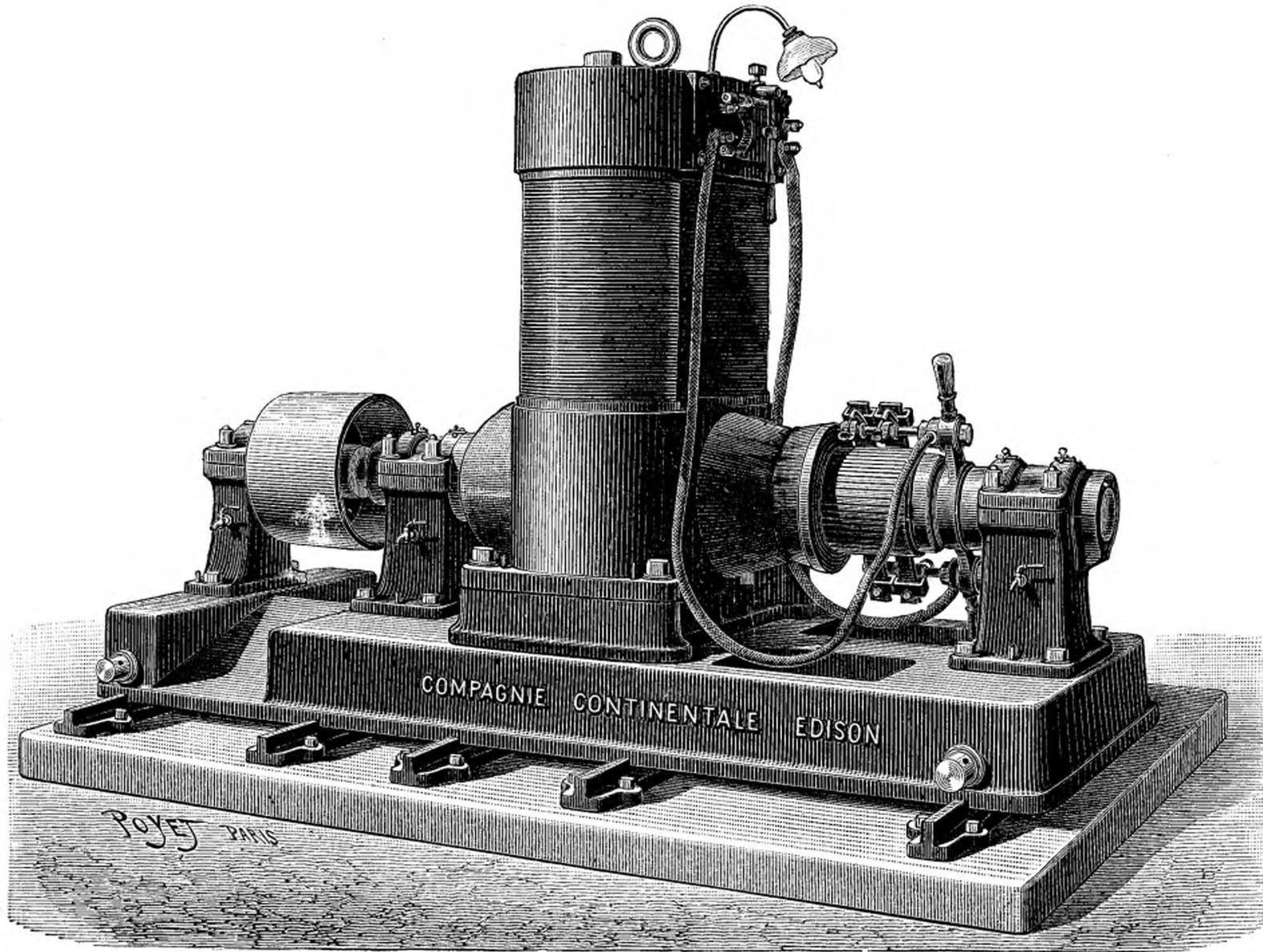


Fig. 7. — Machine de la Compagnie Edison

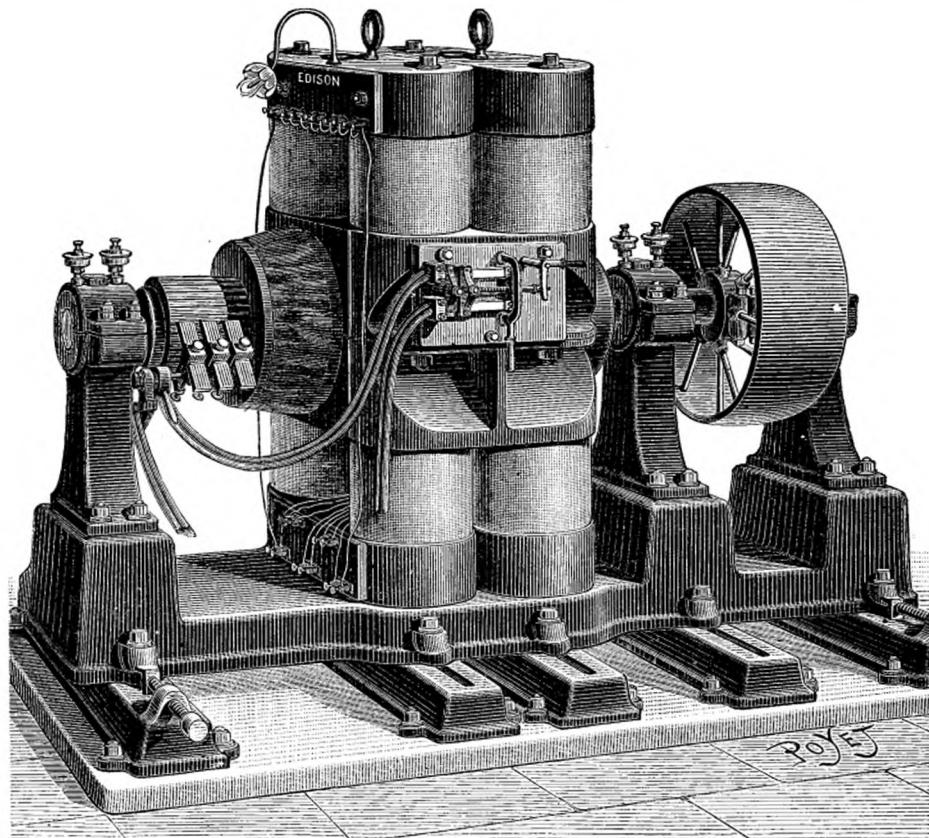


Fig. 8.— Machine de la Compagnie Edison.

soit un noyau unique pour chaque fer à cheval, comme dans le type dit *Manchester*; les deux noyaux sont alors verticaux, de chaque côté de l'induit, et réunis par des pièces polaires embrassant l'une le dessus, l'autre le dessous de l'anneau inducteur; ces pièces sont souvent en fonte, la pièce inférieure pouvant faire partie du bâti de la machine. Dans les machines à double anneau (Marcel Deprez) les inducteurs sont des barres droites portant l'enroulement et terminées à chaque bout par un épanouissement polaire.

Les machines multipolaires présentent également des formes diverses. Dans les machines à disque ou à anneau plat, les noyaux inducteurs sont disposés normalement, dans les autres, ils sont radiaux, en dehors de l'anneau ou du

tambour et implantés sur une culasse commune, circulaire ou polygonale (collection des modèles Gramme, machines à transmission de force d'Œrlikon, Em. Gérard), culasse dont une partie peut être couverte par l'enroulement (Alioth).

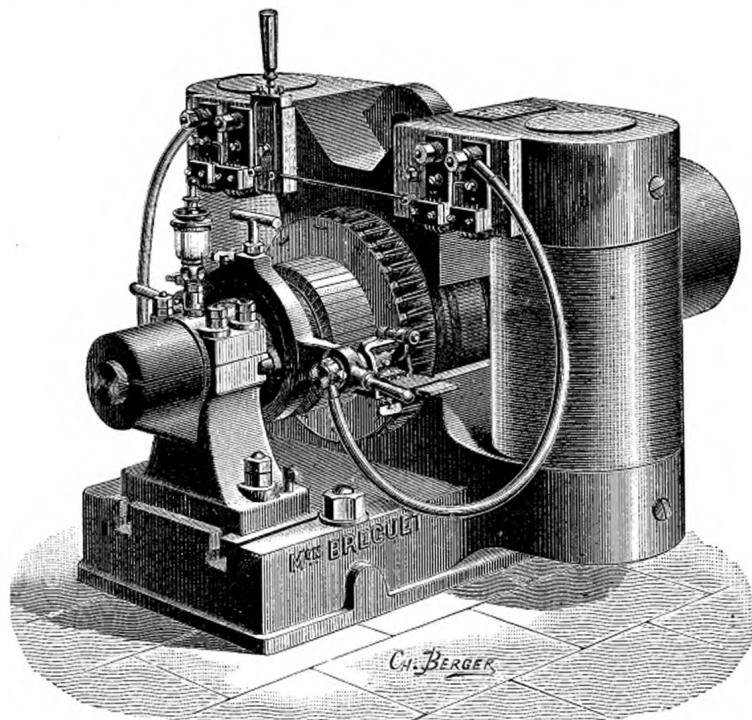


Fig. 9. — Machine Breguet.

Dans un des types les plus récents de machine Siemens à grand débit construit par la Société alsacienne, les inducteurs, implantés radialement sur une culasse commune, sont disposés comme les pignons des machines à courants alternatifs et l'armature, en forme d'anneau Gramme, les enveloppes, étant à porte-à-faux sur son axe; la même disposition générale s'observait dans un ancien type Gramme.

La culasse commune à des inducteurs radiaux extérieurs se retrouve aussi dans certaines machines bipolaires (Lahmeyer, Société de construction de locomotives Winterthur, Société des téléphones de Zurich) où cette culasse est développée de manière à former une véritable boîte enveloppant la machine; on diminue ainsi notablement toute action magnétique extérieure de la machine.

Dans le même ordre d'idées, on peut signaler une machine pour bateaux des ateliers d'Erlikon ; deux inducteurs horizontaux présentent leurs pôles de même nom légèrement épanouis aux extrémités d'un diamètre de l'anneau ; ils sont implantés sur les côtés verticaux d'un cadre en fonte dont les côtés horizontaux sont légèrement échancrés pour laisser passer l'anneau ; il se forme deux pôles sur cette culasse au milieu des échancrures, et, bien qu'avec deux noyaux, la machine est quadripolaire.

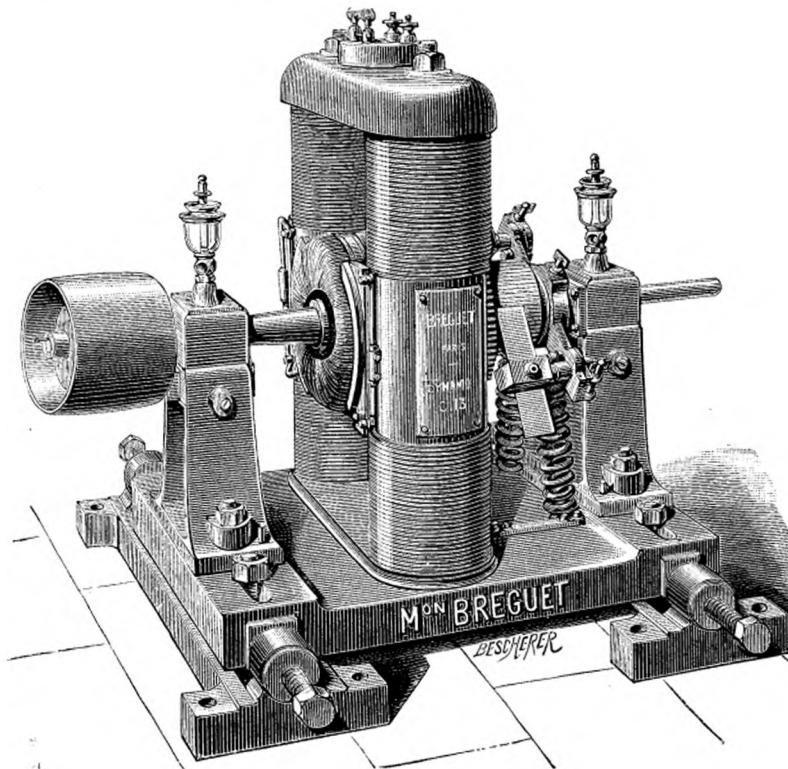


Fig. 10. — Machine Breguet.

M. Thury (maison Cuénod-Sautter) a introduit une autre forme, dans laquelle le circuit magnétique semble réduit à son minimum de longueur ; les épanouissements polaires en fonte, peu développés, sont réunis par des plaques de fer doux disposées tangentiellement au tambour, et sur lesquelles est enroulé le fil inducteur.

M. Miot emploie des formes analogues ; les noyaux des inducteurs sont courbés parallèlement à la circonférence de l'induit ; mais les épanouissements polaires, au lieu d'être distribués uniformément sur toute la circonférence, sont distribués par groupe de deux, appartenant à des noyaux différents, ces noyaux étant d'ailleurs séparés les uns des autres.

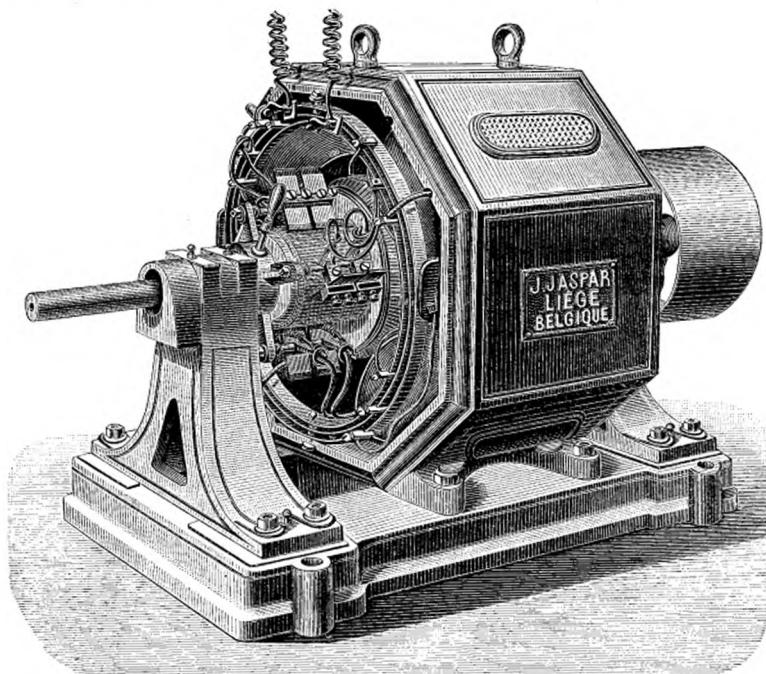


Fig. 11. — Dynamo multipolaire de la maison Jaspar.

En général, la forme adoptée est plutôt choisie en vue de convenances mécaniques que dans le but de satisfaire à des conditions magnétiques ; presque toutes se prêtent à une bonne utilisation du flux magnétique développé par les inducteurs, lorsque les proportions relatives du fer de l'induit, des épanouissements polaires et des sections des noyaux et culasses sont convenablement calculées. Dans la plupart des machines, la dépense d'excitation n'est qu'une très faible partie des pertes et est sans influence sur le rendement.

Les machines à courant continu employées actuellement s'excitent généralement elles-mêmes, le courant qui circule dans les inducteurs étant emprunté à la machine même. L'excitation en série est employée particulièrement pour les

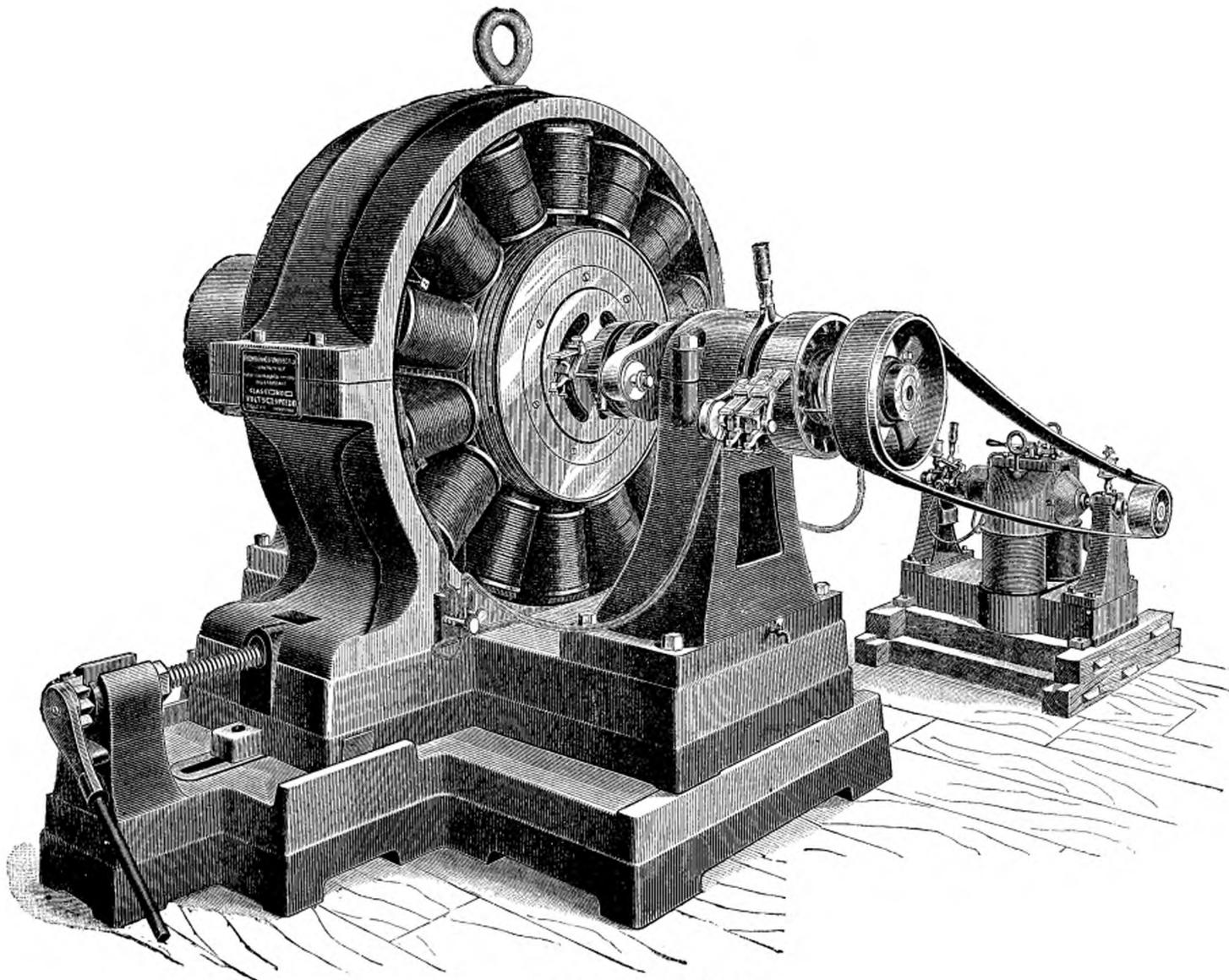


Fig. 12. — Machine Thomson.

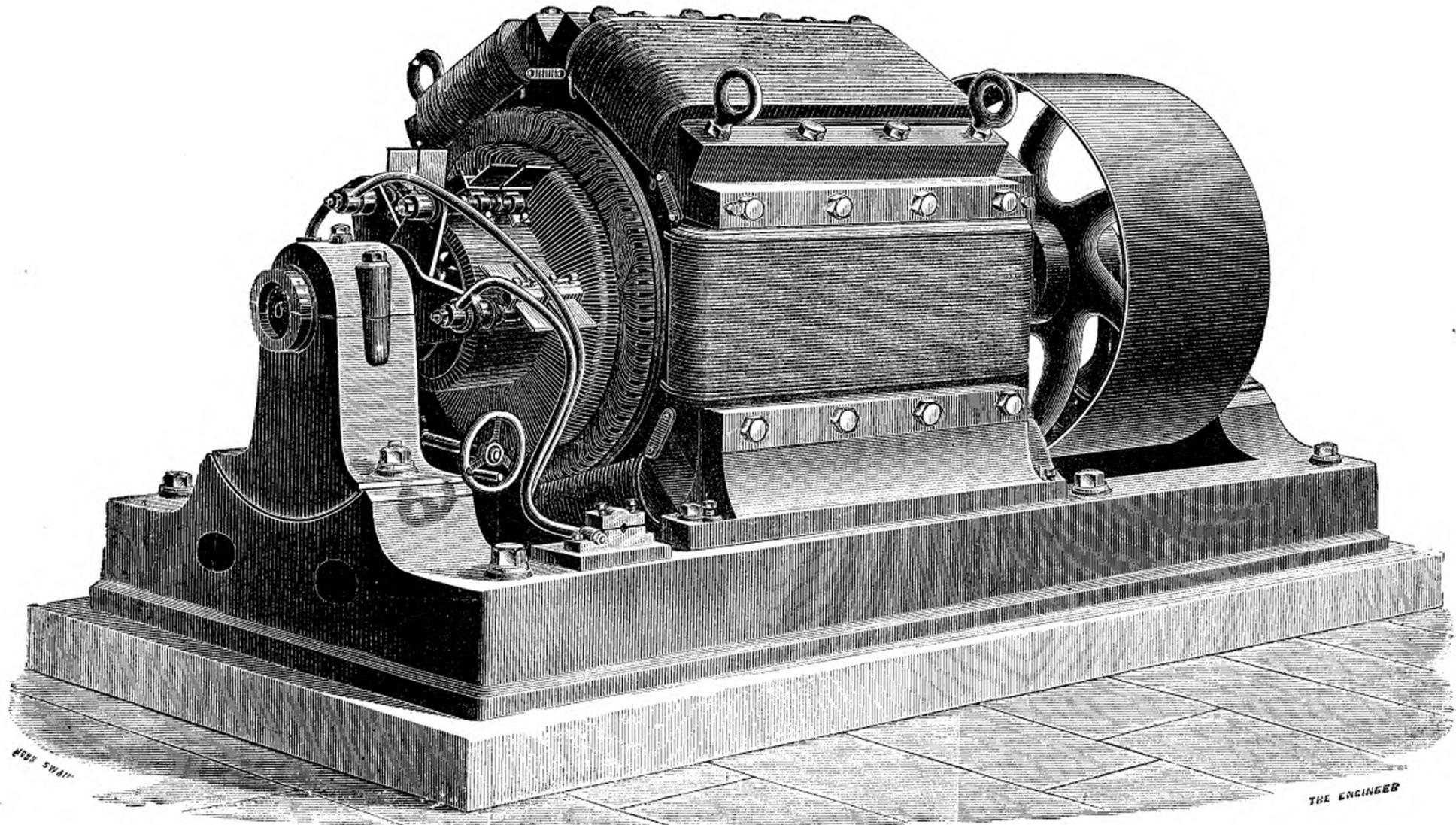


Fig. 13. — Machine Thury, de la maison Cuenod-Sautter,

machines à haute tension destinées à actionner une série d'arcs en tension; la vitesse de la dynamo étant supposée constante, la force électromotrice aux bornes de la machine passe par un maximum, quand le débit augmente, et est pratiquement constante dans de certaines limites, entre lesquelles doit se trouver l'intensité normale correspondant aux foyers employés; ces conditions, combinées avec l'emploi de lampes différentielles, réglant la résistance de chaque arc, assurent une grande régularité à l'éclairage, comme si la machine était à potentiel constant. Les machines, ainsi excitées par le courant général, jouissent de la propriété d'avoir un angle presque invariable pour le calage des balais. Le magnétisme de l'anneau et celui des inducteurs croissant et décroissant ensemble, il est même possible de trouver des sections de l'inducteur et du fer induit et des nombres de tours sur les deux tels que le calage des balais soit indéterminé; si on suppose le champ magnétique sensiblement uniforme dans l'entrefer, et le magnétisme de l'induit suffisant pour amener les balais sous les pièces polaires pour ne pas avoir d'étincelles, les balais pourront occuper une place quelconque sous ces pièces polaires sans que le rapport entre les forces magnétiques dues aux inducteurs seuls et à l'induit seul soit altéré, et par suite sans produire d'étincelles; leur changement de calage produira seulement une variation de la force électromotrice de la machine, qui pourra être réglée sur le nombre des foyers en activité, tout en conservant l'intensité normale; les machines à haute tension de MM. Steinlen et Henrion, se prêtent à ce mode de réglage.

L'excitation en série est employée également dans les « transports de force»; elle assure un rapport pratiquement constant entre les vitesses de la génératrice et de la réceptrice; dans l'exemple présenté par les ateliers d'Erlikon, ce rapport est égal à l'unité, le nombre de spires de la réceptrice étant plus faible que celui des spires induites sur la génératrice.

Dans les machines destinées à l'éclairage par incandescence et par l'arc, où les lampes sont placées en dérivation, la différence de potentiel aux bornes doit être sensiblement constante; il en est de même des distributions proprement dites de travail mécanique, avec moteurs indépendants à vitesse constante. Ces machines, à faible résistance d'induit, sont ordinairement excitées par un courant pris en dérivation sur les bornes de la machine et qui doit traverser, outre les inducteurs, des résistances réglables soit à la main, soit automatiquement; ce réglage est nécessaire pour parer, soit à la variation de la résistance des inducteurs par la température, soit aux variations de la vitesse de la machine, soit surtout à la réaction de l'induit, ou diminution de force électromotrice, qui résulte du déplacement qu'on est obligé de faire subir aux balais quand le débit de la machine varie, soit enfin à la résistance de l'induit même.

L'excitation compound ou mixte suffit généralement pour obvier aux derniers inconvénients. On fait concourir à cette excitation deux enroulements, l'un de fil fin en dérivation, l'autre de gros fil parcouru en général non par le courant de l'anneau, mais par le courant extérieur.

Le grave inconvénient qui résulte pour l'éclairage d'une variation, même faible, de la force électromotrice oblige d'ailleurs à marcher dans des conditions d'excitation bien déterminées ; il est nécessaire qu'une variation de l'excitation se traduise par une variation aussi faible que possible de la force électromotrice ; on sait que si, pour un débit déterminé, on construit la courbe exprimant les relations de cette force électromotrice et de l'excitation, cette courbe présente un coude assez marqué ; en deçà, la force électromotrice varie rapidement avec l'excitation ; au-delà, les variations sont lentes, d'où la nécessité pratique d'avoir des excitations assez fortes ; d'autre part, le prix relatif de cette excitation est elle-même plus forte ; on est donc amené à prendre une excitation dépassant le coude, mais d'une faible quantité.

L'excitation mixte est parfois réalisée en enroulant sur deux noyaux différents le gros fil et le fil fin ; par exemple dans la machine multipolaire à disque de M. Desrozières, une paire d'électro-aimants est seule recouverte de gros fil ; l'action est la même que ci-dessus ; mais dans les moteurs à vitesse constante de M. Picou, exposés par la Compagnie française Edison, le rôle des inducteurs à gros fil peut être interprété différemment. La machine est bipolaire et porte deux inducteurs à fil fin, diamétralement opposés, réunis par une culasse polygonale en fonte ; l'axe des deux électro-aimants à gros fil est perpendiculaire à celui des électro-aimants à fil fin, et est dirigé comme la ligne neutre du système à fil fin ; les balais sont placés sous les pièces polaires des inducteurs à gros fil, en bonne position, par conséquent pour un débit nul ; lorsque le débit croît, ces inducteurs à gros fil s'aimantent et présentent à l'extrémité voisine du balai un pôle de même nom que celui qui est développé dans l'anneau ou le tambour ; le nombre des tours de gros fil peut être déterminé de manière que la force électromotrice induite dans la spire en court circuit sous le balai soit de même sens que celle qui est induite dans la portion anneau où elle va entrer, et qu'il ne se produise pas d'étincelles ; les balais étant restés à la même place, sans décalage, la réaction d'induit est annulée, et la force électromotrice n'est abaissée que de la quantité correspondante à la résistance de l'induit. Aussi ces moteurs à calage fixe prennent-ils une vitesse très sensiblement constante, quand on les place en dérivation sur une distribution à potentiel constant (la différence entre la vitesse à vide et la vitesse en pleine charge a été trouvée de 50 tours sur 1 300 pour un moteur de 5 chevaux, et de 20 sur 1 100 pour un moteur de 8 chevaux à 110 volts).

On peut rapporter au même ordre d'idées l'action d'un enroulement sans fer, parcouru par le courant général, et que le professeur Thomson fait agir également sur les spires en court circuit dans ses machines à courant continu, d'ailleurs semblables au type D Siemens, ou supérieur Gramme. M. Miot arrive au même résultat en mettant à côté de l'induit un électro-aimant compensateur placé dans le circuit et dont les pôles sont voisins des balais.

MACHINES	1 ^{re} colonne	2 ^{re} colonne	3 ^{re} colonne	4 ^{re} colonne
FER A CHEVAL SIMPLE				
Société alsacienne (Siemens).	82,53	633	7,66	65,2
Élihu Thomson.	31,55	402	13 ⁹	62,5
Edison Picou.	20	220	11	27,6
Rechniewski.	10,50	77,4	7,37	12,6
DOUBLE FER A CHEVAL				
Westminster.	39,78	519	13,09	34,3
Edison (type Manchester).	40,2	576	14,4	42,8
Krebs (type Manchester).	32,4	703	21,7	31,3
Crompton.	14,2	470	33,1	34,2
Bréguet CA (anneau).	3,64	102	28,1	5,8
Edison (type 85).	82,35	953,5	11,66	94,7
ENVELOPPES DE FONTE				
Zurich (Société des locomotives).	16,6	234	13,3	23,47
Zurich (Société des téléphones).	7,67	145	18,9	9,6
Labmeyer.	4,04	112	27,8	4,6
MULTIPOLAIRES				
Alioth.	M	1,54	66,5	43,1
	Q	5,02	178	35,4
	T	17,71	355	20
	V	37,69	554	14,7
Œrlikon (Brown).	58,6	1.548	27,6	153
Miot.	12,2	186	15	21,5
Thury (HDT) 6 pôles.	73,5	972	13,2	109
Desroziers.	20,9	380	18	21,3

La dépense d'excitation d'une machine donnée peut varier à volonté avec le poids du cuivre qu'on consent à placer sur les électro-aimants inducteurs ou avec la densité du courant induit; on n'aurait donc aucune idée de la valeur des carcasses au point de vue magnétique en se bornant à comparer la dépense d'excitation à la puissance de la machine; celle-ci étant d'ailleurs variable avec la vitesse, il a paru qu'il convenait d'abord de réduire à une vitesse linéaire commune les puissances des diverses machines à composer, on a choisi la vitesse de 1 centimètre par seconde; la première colonne du tableau ci-dessous donne la puissance ainsi réduite ou quotient de la puissance de la machine par la vitesse en centimètres; la seconde colonne est la racine carrée du poids du cuivre de

par le nombre de watts dépensé dans l'excitation ; cette racine carrée est encore le produit de la longueur en mètres du fil inducteur par l'intensité du courant qui le traverse et par le facteur numérique 80 ; il eût donc été plus simple de mettre dans cette seconde colonne le produit de la longueur du fil par l'intensité ; mais ces renseignements n'étant pas généralement ceux qui sont donnés, on a préféré la première méthode de calcul ; la troisième colonne renferme le quotient des deux premières.

Le quotient des chiffres de la troisième colonne par 12,5 représente le nombre d'ampèremètres sur l'inducteur nécessaire pour obtenir 1 watt, à la vitesse de 10 mètres par seconde. La puissance en kilowatts des machines est indiquée dans une quatrième colonne, car, dans une série de machines semblables, ce rapport diminue quand la puissance augmente ; en effet, la proportion du cuivre induit à l'entrefer total augmentant avec la puissance de la machine (cela résulte bien des chiffres trouvés pour les machines de M. Alioth qui sont toutes semblables), la puissance est non la puissance aux bornes, mais le nombre de watts total produit dans l'anneau.

Ce chiffre est voisin de 12,5 pour les trois machines Gramme, de 900, 480 et 275 ampères à 125 volts, type supérieur, qui fonctionnaient à l'Exposition et de 10 dans les machines 120 volts et 800 ampères de la Société française Edison.

POIDS ET PERTES

Les qualités que l'on doit rechercher dans toutes ces machines sont : 1^o la sûreté du fonctionnement et l'absence de réparations ; 2^o la capacité ; 3^o le rendement.

Le bon fonctionnement dépend, en très grande partie, du soin apporté à la construction mécanique ; les armatures ont des vitesses de rotation qui dépassent parfois 1 000 tours par minute, régime qui doit être soutenu sans échauffement des paliers, ni désagrégation des fils de l'armature, ce qui exige de longues portées, un centrage très exact et une construction très solide de l'induit ; quant aux conditions électriques, il ne faut pas que la machine donne aux balais des étincelles suffisantes pour provoquer une usure rapide du collecteur, ni que la température de l'induit s'élève trop, ce qui se produit lorsque la machine est trop chargée ; il est de même nécessaire que le débit normal de la machine soit sensiblement inférieur à celui qu'elle peut supporter et il y aurait lieu d'appliquer au débit de la machine un coefficient de sécurité comme on le fait pour tous les matériaux entrant dans la construction ; la machine doit, en effet, pouvoir supporter au moins quelques instants un court circuit sans être détruite. L'expérience acquise aujourd'hui montre que ces conditions peuvent être réalisées.

sées ; on connaît des machines qui, depuis quatorze ans, n'ont demandé aucune réparation sérieuse ; la puissance, sous un volume donné, a été augmentée au point que les machines de puissance moyenne peuvent être obtenues à des prix voisins de 0 fr. 15 par watt et enfin les rendements peuvent, pour les mêmes machines, atteindre 90 %.

Les efforts des constructeurs se sont portés vers l'abaissement du prix de revient des machines, résultat auquel on peut arriver, soit par une diminution de la main-d'œuvre, soit par la diminution du poids de matières employées et notamment du cuivre. La diminution du poids total et de l'encombrement présente d'ailleurs de grands avantages dans certaines applications spéciales.

Les chiffres du tableau de la page 142 donnent une idée des résultats obtenus dans cette voie par quelques constructeurs.

La densité du courant est donnée en ampères par millimètre carré, et par mètre de fil utile on entend la longueur totale des génératrices d'un demi-anneau pour les machines bipolaires, ou du quart pour les machines à quatre pôles (Miot). Il est évident que la puissance de la machine est proportionnelle à la vitesse, et que celle-ci ne devrait être limitée que par les conditions résultant de la construction mécanique de l'induit si on n'avait en vue que l'accroissement de la puissance ; mais les pertes dues aux courants parasites augmentent rapidement avec la vitesse, ce qui diminue le rendement industriel, augmente l'échauffement de l'induit, et il n'y a pas intérêt à augmenter cette vitesse indéfiniment ; la vitesse la plus convenable est dépassée dans certains types de machines, telles que la machine Parsons, dont l'énorme vitesse angulaire est commandée par la nature du moteur (turbo-moteur).

Le rendement est l'autre élément qui, avec la puissance, doit servir à fixer la valeur réelle d'une machine ; on a l'habitude d'appeler *rendement électrique* un nombre sans valeur pratique qui est le rapport de la puissance réelle disponible, prise aux bornes de la machine, à cette même puissance augmentée des quantités de chaleur dégagées, tant dans les inducteurs que dans l'induit, par le passage du courant, tandis que le rendement réel est le rapport de cette puissance au travail dépensé par seconde sur l'arbre de la dynamo. La différence se compose :

1° Des pertes dues au frottement et la ventilation de l'anneau ; ces dernières peuvent devenir notables quand l'élévation de température de l'armature nécessite une ventilation spéciale ;

2° De la chaleur dégagée dans les inducteurs, perte qui, toutes choses égales d'ailleurs, est en raison inverse du poids de cuivre enroulé et peut être réduite à volonté ;

3° De la chaleur dégagée dans le fil induit par le courant utilisé ;

4° De la chaleur dégagée, tant dans le fer, par les changements d'aimantation et les courants parasites, que dans le fil induit lui-même par les courants para-

DESIGNATION	ALIOTH	PARSONS	MIOT	CROMPTON	RECHNIWSKI	LAHMEYER	BRÉGUET Gramme Ca	CLARK MUIRHEAD (Westminster)	TÉLÉPHONES DE ZURICH	LOCOMOTIVES DE WINTHERTHUR	DESROZIERS	ÉDISON
Ampères.	320	100	150	25	109	60	80	400	40	200	800	360
Volts aux bornes	110	80	135	1,300	120	65	65	80	210	110	330	110
Cuivre (induit).	79	4,48	17	44	15	2,3	6,5	142	14,5	28,5	216	60
Cuivre (inducteur).	239	24	89	144	30	48	49	227	57,6	156,3	696	184
Poids total	3,000	620	600	800	560	600	420	1,800	490	1,390	»	»
Watts par kilogr. { du Cu induit.	471	1,790	1,190	740	800	1,700	200	225	580	772	1,222	660
Watts par kilogr. { du Cu total	111	280	215	173	270	77,4	84	86,5	116	119	288	160
Watts par kilogr. { de poids total.	171	12,9	33,7	40,6	21,4	6,5	12,4	17,7	17,1	15,9	»	»
Tours par minute.	500	9,000	850	1,150	1,200	1,250	1,185	420	1,090	850	330	590
Vitesse linéaire.	10	56,70	17,8	24	12	11,3	14,26	8,61	11,3	13,35	22,15	10,65
Densité du courant	»	9,8	6	3,1	4	8,3	4,4	1,87	4,4	6,3	4,6	3,75
Excitation (watts).	»	420	450	870	200	265	408	1,200	566	517	7,030	1,950
Volts par mètre de fil utile	»	12	5,4	7,08	4,25	30	4,25	3,2	3,2	4,3	»	4,94

sites qui s'y ferment : ces derniers courants, qui subsistent seuls dans les armatures sans fer telles que la machine Desroziers, ont souvent une importance plus considérable que les pertes produites dans le fer ;

5° Les échauffements des pièces polaires.

Les pertes rapportées à 2 et 3 peuvent se calculer ; les autres ne sont pas encore faciles à évaluer *a priori* ; on peut cependant se rendre compte qu'elles croissent avec le poids du métal et avec la force électromotrice. La mesure du rendement réel de quelques types de machines et l'analyse des pertes eussent présenté un grand intérêt, mais cela eût exigé l'emploi d'appareils dynamométriques, de nombreuses et délicates expériences qu'il était impossible d'exécuter dans les conditions où se trouvait le jury ; celui-ci a pensé toutefois qu'on pouvait avoir une valeur minimum de l'ensemble de ces pertes, en mesurant la puissance nécessaire pour faire tourner à vide l'induit avec la vitesse correspondant à l'allure normale, et dans un champ magnétique produisant dans l'induit une force électromotrice égale à la force électromotrice en marche normale, c'est-à-dire dans un champ magnétique dont la valeur moyenne est celle du champ magnétique employé, mais autrement distribué.

Le graissage était surveillé spécialement par les exposants qui ont bien voulu soumettre leurs machines à ces essais, dont le but était non une classification des machines, puisque l'on ne faisait intervenir ni le prix, ni la sécurité du fonctionnement à l'allure indiquée comme normale, mais une détermination approximative du degré de perfection auquel on pouvait légitimement espérer amener les machines dynamo. La marche et le débit normal ont été donnés par les exposants. (Pour les machines marquées d'un astérisque, on a eu occasion de constater que la marche indiquée comme normale pouvait être maintenue quatre ou cinq heures sans inconvénient).

Dans ce but, les inducteurs de la machine à essayer ont été excités par un courant sensiblement égal à celui produisant la force électromotrice normale ; pour les machines à enroulement mixte, on n'a employé que le fil fin, en forçant le courant d'excitation, et on a lancé dans l'induit un courant provenant d'une machine étrangère, réglé de manière à obtenir, la machine travaillant comme moteur à vide, la vitesse normale.

Quand les circonstances l'ont permis, on a fait du reste varier cette vitesse afin de mettre en évidence les pertes dues aux courants parasites.

On donne ci-dessous le nombre n de tours par minute, l'intensité I du courant, la différence E de potentiel aux bornes de l'induit, et le nombre de watts correspondant :

Ateliers d'Erlikon.

(Dynamo Brown en série à 4 pôles pour transmission de force. Anneau : 600 volts 280 ampères, 500 tours.)

<i>n.</i>	558	533
<i>I.</i>	17	15,5
<i>E.</i>	557	577
<i>W.</i>	9.469	8.943

Maison Bréguet.

(Dynamo Compound à 6 pôles Desroziers. Disque : 70 volts, 150 ampères, 350 tours.)

<i>n.</i>	360	359	355	352	265	155
<i>I.</i>	7,3	7,05	6,8	6,9	5,5	3,6
<i>E.</i>	74	75	72	72,5	54,5	31,5
<i>W.</i>	540	529	490	500	300	113,4

Crompton et Cie.

(Dynamo série n° VIII. Anneau : 1.300 volts, 25 ampères, 1.150 tours.)

<i>n.</i>	1.083	1.075	1.075
<i>I.</i>	0,95	0,93	0,83
<i>E.</i>	1.382	1.295	1.122
<i>W.</i>	1.313	1.204	931

Société l'Éclairage électrique.

(Dynamo Compound Rechniewsky. 110 volts, 127 ampères, 1.200 tours, tambour.)

<i>n.</i>	1.237	1.050	840	600
<i>I.</i>	5	4,3	4,1	3,3
<i>W.</i>	111,4	97	84	79

Cuenod Sautter et Cie.

(Machine Thury en dérivation, 6 pôles. Tambour : 110 volts, 500 ampères, 270 tours.)

<i>n.</i>	235	240	200	180	165
<i>I.</i>	29,6	27,25	25,5	24,6	23,9
<i>E.</i>	110	100	83	75	69,5
<i>W.</i>	3.256	2.725	2.080	1.845	1.661

Des mesures dynamométriques exécutées à Genève sur ces machines, M. Thury avait conclu 2 300 watts pour l'ensemble des frottements et courants parasites

Société Alsacienne de construction.

(Machine Siemens D. 12 [fer à cheval simple, tambour], pèse 6.000 kilogrammes
110 volts, 550 ampères, 330 tours.)

<i>n</i>	336	318	234	131
<i>I</i>	9,5	9,5	7,5	6,75
<i>E</i>	123,5	121	85,5	51
<i>W</i>	1.173	1.149	641	344

Compagnie Française Edison.

(Machine type Edison [Hopkinson], de M. Picou. 110 volts, 240 ampères,
850 tours.)

<i>n</i>	912	840	746	636	476	300
<i>I</i>	13,8	13,0	12,4	11,6	9,8	7,7
<i>E</i>	123,5	115	102	87	64	40,5
<i>W</i>	1.704	1.495	1.255	1.009	697	312

Avec une excitation plus forte que la normale.

<i>n</i>	840	776	562	576	356	273	254
<i>I</i>	14,2	13,4	12,3	11,7	8,7	4,3	2,4
<i>E</i>	125	115	100	87	52,5	41,5	39
<i>W</i>	1.975		1.975	1.016,9	456,75	176,45	93,6

Compagnie Française Edison.

(Machine type P [Manchester], de M. Picou. Tambour : 110 volts, 360 ampères,
590 tours.)

<i>n</i>	656	600	624	442	350	256	190
<i>I</i>	12,6	12,1	11,5	10,7	9,6	7,8	6,9
<i>E</i>	125	116	101	85	67	50	36
<i>W</i>	1.575	1.404	1.166	909	643	390	248

Excitation plus faible.

<i>n</i>	796	710	650	520	388	236
<i>I</i>	13	12,2	11,9	10,7	9,3	7,7
<i>E</i>	125	111	96,5	76	57	40
<i>W</i>	1.625	1.353	1.148	813	530	308

Excitation plus faible.

<i>n</i>	924	722	530	320
<i>I</i>	14	13,2	10,8	8
<i>E</i>	103,5	82	59	36
<i>W</i>	1.449	1.082	637	288

D'autres machines ont encore été essayées, mais les résultats ont été moins

favorables, le rapport de la puissance absorbée à vide à la puissance en pleine charge, s'est élevé à 0,12 et jusqu'à 18 % ; pour quelques-unes, la cause en a été trouvée dans une division insuffisante du fer de l'enduit ; pour d'autres, les courants parasites développés dans le cuivre de l'induit sont la cause de ces absorptions anormales de travail, on s'en est assuré directement. Ces courants croissent, toutes choses égales d'ailleurs, avec le diamètre du fil induit ; il suffit d'en connaître le siège pour en diminuer l'importance ; soit en employant du câble pour l'induit (Erlikon), soit en formant les barreaux induits de barreaux plus petits tordus ensemble (Crompton), soit par tout autre procédé compatible avec le mode de construction de l'armature.

Il n'est pas inutile d'insister sur ce point que le jury n'a pas entendu déterminer le rendement des machines et qu'on estimerait celui-ci à une valeur trop élevée en supposant que les pertes mesurées par le travail à vide sont les pertes réelles dans le travail à pleine charge.

Les chiffres obtenus dans les machines citées ci-dessus montrent cependant qu'il n'est pas impossible d'arriver à des rendements voisins de 90 % pour les machines de grande puissance, le rendement dit *électrique* dépassant 95 % dans quelques-unes des dynamos citées ; par exemple :

MACHINES	WATTS (R ¹)		
	DANS L'INDUIT	DANS L'INDUCTEUR	EXTÉRIEURS
Crompton	850	870	32,500
Rechniewski.	480	180	12,000
Thury (HDT)	2,430	1,568	105,000
Société alsacienne	2,606	889	60,500
Edison n° 1.	1,750	450	26,400
Edison n° 2.	1,400	1,800	39,600
Miot	787	450	20,250

On sait d'ailleurs que MM. les professeurs Weber et Amsler, en étudiant par des procédés dynamométriques la transmission de force établie près de Soleure par les ateliers d'Erlikon, ont trouvé des rendements individuels de 87 à 90 %.

La Société Gramme a fait fonctionner pendant la durée de l'Exposition, pour l'éclairage des galeries et des fontaines lumineuses, des machines du type dit *supérieur*, débitant respectivement 900, 480 et 275 ampères à 120 volts, dont le rendement électrique de ces machines s'améliore avec leur dimensions et le nombre des pôles, de telle sorte que les machines de 264 kilowatts tournent à

300 tours, ce qui correspond à une vitesse linéaire de 22 mètres, n'absorbent que 9 216 watts dans l'induit et 7 030 dans l'inducteur.

Un rendement de 88 % peut donc être pratiquement atteint, quelquefois dépassé, dans les installations d'une certaine importance.

MACHINES A COURANT REDRESSÉ

L'induit de la machine Thomson-Houston est formé de trois bobines seulement ; ces trois bobines ont leurs axes à 120 degrés l'un de l'autre, dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation ; la carcasse sur laquelle elles sont enroulées est en fonte, creuse et recouverte de fil de fer ; elle est aplatie dans le sens de l'axe, mais quand elle est recouverte du fil induit, les épaisseurs des bobines s'ajoutant aux pôles de ce sphéroïde, l'ensemble forme une sphère. Pour assurer

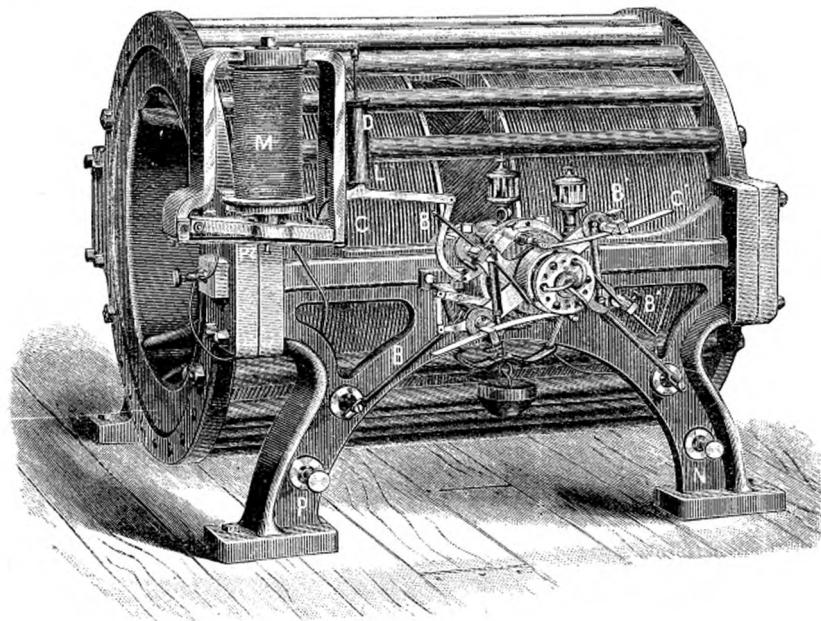


Fig. 14. — Dynamo Thomson-Houston.

l'égale répartition du fil dans le champ magnétique, la première bobine est à moitié enroulée, puis on enroule la moitié de la deuxième, la troisième en totalité, et on achève l'enroulement de la deuxième, puis de la première bobine ; la sphère de fil induit est consolidée ensuite par quatre liens en laiton. L'un des

bouts de chaque bobine est relié à un segment d'un commutateur à trois segments monté sur l'arbre ; les trois autres bouts sont réunis.

L'inducteur a une forme particulière. Les pièces polaires sont deux larges calottes en fonte, faisant partie d'une sphère de rayon un peu supérieur à celui de l'induit ; elles forment les fonds de deux cylindres en fonte de même épaisseur, dont les génératrices sont perpendiculaires à l'axe de rotation et autour desquels est enroulé le fil d'excitation, qui fait partie du circuit général. Ces cylindres sont terminés à leurs extrémités extérieures par des flasques en fonte reliées par des tirants en fer après l'enroulement de l'inducteur.

La machine possède quatre balais, formant deux paires, une de chaque côté du plan vertical passant par l'axe. Les balais d'une même paire sont reliés par un court circuit métallique. B pleine charge, ces balais frottent sur le commutateur en des points à 30° au-dessus et au-dessous de l'horizontale ; le courant entrant dans l'induit par une paire de balais et sortant par l'autre, traverse donc une bobine, arrive au point où les trois fils sont réunis et se partage entre les deux autres, la bobine A, par exemple, cessant d'être en tension pour s'accoupler en quantité avec la bobine C au moment où sa force électromotrice devient nulle (abstraction faite des phénomènes secondaires), tandis que la bobine B cesse au même moment d'être accouplée à C et se trouve en tension ; ces couplages changent six fois par tour.

La machine qui est destinée à l'éclairage à arcs en série, doit fonctionner avec un courant constant de 0,6 ampères ; elle est munie d'un régulateur d'intensité qui fonctionne dès que le courant dépasse cette valeur ; ce régulateur agit sur les balais ; il augmente l'arc de 60° qui sépare les points de contact des deux balais d'une même paire. Dès que cet arc augmente, chaque segment du commutateur, ayant 120° , met en communication directe les deux paires de balais et ne laisse subsister dans le circuit extérieur que la force électromotrice de self-induction des inducteurs et du régulateur. Cela a lieu trois fois par tour et pendant un temps d'autant plus grand que l'angle dépasse davantage 60° , mais toujours très court, la machine ayant une vitesse normale de 850 tours. Le mouvement des balais est déterminé par l'armature d'un électro-aimant placé en dérivation sur le circuit principal ; entre les deux prises de courant se trouve un contact fermé par l'armature d'un double solénoïde parcouru par le courant principal ; si celui-ci dépasse sa valeur limite, le contact est rompu, le courant est lancé dans l'électro-aimant, l'écart des balais augmente.

Le courant ne pouvait être uniforme dans une semblable machine ; le contact est continuellement rompu et fermé, et donne lieu à de nombreuses étincelles, partiellement amorties par une dérivation de grande résistance. Mais c'est surtout aux balais que les étincelles sont énergiques ; les machines développant une force électromotrice moyenne, qui atteint 2 500 volts dans le type le plus fort, des arcs permanents s'établiraient entre les segments du commutateur, si

un ventilateur ne projetait sur les balais, au moment où ils vont être abandonnés par les segments, un vif courant d'air qui souffle les étincelles.

Cette machine, très répandue en Amérique, est construite en vue de produire un courant d'intensité courante, alimentant des lampes en série.

On a fait déjà allusion à une autre machine à courant continu, semblable comme forme générale au type D de Siemens, ou supérieur de Gramme, avec un solénoïde en série pour maintenir fixe le calage des balais, et à potentiel constant.

La Société anonyme d'Électricité (A. Gérard) exposait de petites machines à courant redressé. Quatre électro-aimants sont implantés radialement sur une cuisse commune annulaire en fonte, qui les enveloppe; dans l'espace laissé vide au centre tourne un induit en forme de croix, formé de disques en tôle; sur les branches de la croix est enroulé le fil induit; le courant est redressé par un commutateur placé sur l'axe.

TRANSFORMATEURS A COURANT CONTINU

Il est naturel de rapprocher des dynamos à courant continu les transformateurs; ceux-ci sont de deux types : les uns sont constitués par l'ensemble de deux dynamos montées sur le même axe, dont l'une reçoit le courant d'une source étrangère et sert de moteur pour la seconde, dont le courant est utilisé; dans les autres, dont l'aspect extérieur est celui d'une dynamo à deux collecteurs, la fer de l'induit porte deux enroulements, un primaire en rapport avec la source, et un secondaire avec la distribution. La Société Gramme en exposait de ce dernier type; l'enroulement de l'inducteur unique était mixte; le courant primaire étant maintenu constant, la vitesse du transformateur, et la différence de potentiel aux bornes du circuit secondaire, restent également constantes. Avec un courant primaire, dont l'intensité était réglée à 9 ampères, ce transformateur donnait, à 700 tours par minute, une différence de potentiel aux bornes du secondaire de 105 volts, avec un débit de 410 ampères (secondaire) quand la différence aux bornes du primaire était de 1 610 volts, c'est-à-dire un rendement à pleine charge de 79,5 %, le poids total étant 1 450 kilogrammes. Ces transformateurs à double enroulement ne paraissent pas, malgré leur simplicité, être employés industriellement; l'isolation des deux circuits est difficile à maintenir.

MACHINES A COURANTS ALTERNATIFS

Les principes généraux, sur lesquels repose la construction des machines à courants alternatifs, sont restés les mêmes depuis les premières machines de

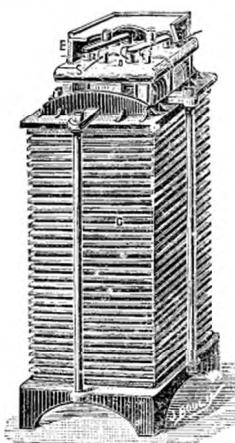
Clarke et Pixii; le fil induit sous forme de bobines, avec ou sans fer doux, se trouve, par le mouvement de la machine, placé successivement dans les champs magnétiques de sens opposés. Dans quelques machines, les induits sont mobiles et les inducteurs fixes : telles sont la machine Siemens et la machine Ferranti, toutes deux caractérisées en outre par l'absence de fer dans les induits, et, la

dernière surtout, par la faible résistance de ces induits. La machine, excitée par une dynamo à courant continu, a une force électromotrice presque indépendante du débit : telles sont encore la machine Méri-tens à aimant, qui a, au contraire, beaucoup de fer, et jouit de propriétés opposées, et la machine Thomson, excitée, comme la machine de Wilde, par le courant redressé d'une partie des bobines.

D'autres machines ont des bobines induites fixes : telles sont l'ancienne machine Gramme, qui n'a pas subi de modification depuis 1878; la machine Cher-temps et les machines type Loutin, où les inducteurs implantés radialement sur une culasse commune, ont l'aspect d'un pignon tournant à l'intérieur d'une carcasse sur laquelle les noyaux de bobines induites sont implantés radialement, au lieu d'être couchés suivant les génératrices, comme dans la machine Gramme.

Fig. 15. — Transformateur de la Compagnie l'Éclairage électrique.

Les machines à courant alternatif, après avoir été presque complètement abandonnées, ont repris faveur, grâce à l'exemple donné par M. Gaulard à l'Exposition de Turin (1883), de l'emploi des transformateurs; ceux-ci permettent, comme l'on sait, de transformer un courant primaire, de faible intensité et n'exigeant que des sections modérées pour les conducteurs, en courants très intenses, secondaires, à proximité du lieu d'emploi du courant. Ces appareils, dont l'emploi s'est généralisé avec une très grande rapidité sont placés ou en tension, comme Gaulard, et avant lui M. Jablochkoff l'avaient fait, sur le circuit primaire, ou plus souvent en dérivation. La Société de l'Éclairage électrique en exposait deux modèles, l'un de M. Ferranti, l'autre qui lui appartient. Le professeur Thomson en emploie aussi avec ses machines à courants alternatifs. La forme la plus usitée est celle dans laquelle les deux circuits primaires et secondaires, placés à faible distance l'un de l'autre, de manière à être traversés par le même flux magnétique, sont entourés de fer doux qui pénètre dans leur intérieur, de façon à former un circuit magnétique fermé, entourant les deux circuits à la fois. Le fer doux est toujours employé, comme du reste dans les machines à courants alternatifs, sous forme de feuilles minces isolées, de manière à offrir la plus grande résistance possible aux courants parallèles à ceux des circuits primaire et secondaire.



La grande facilité que donnent ces appareils a porté les inventeurs à étudier les moteurs à courants alternatifs. Bien qu'on ne soit pas arrivé jusqu'ici à produire des moteurs démarrant facilement et non synchroniques aux machines génératrices, l'ensemble des résultats obtenus eût été intéressant à examiner; malheureusement l'Exposition ne renfermait qu'un seul appareil de ce genre, dû au professeur Élihu Thomson, et ne donnait qu'une idée très incomplète des tentatives récentes d'utilisation de ces courants; en revanche, le professeur Thomson avait envoyé plusieurs appareils propres à mettre en relief les propriétés si curieuses des courants alternatifs, et dont il a semblé bon de joindre la description sommaire à celles des machines employées à leur production.

La machine Méritens est à aimants permanents; ceux-ci sont disposés horizontalement suivant les génératrices d'un cylindre; la forme générale de l'induit est annulaire, d'un diamètre inférieur à celui de ce cylindre; cet anneau est formé d'autant de segments qu'il y a de pôles, et chacun de ces segments est une bobine avec noyau en fer doux avec épanouissement à chaque bout; noyaux et épanouissements sont en tôle découpée; le magnétisme de chacun de ces noyaux est renversé quand la machine a tourné de l'angle sous lequel deux pôles voisins sont vus du centre, comme dans les autres machines à courants alternatifs, et les courants induits dans deux bobines voisines sont de sens contraire.

Le couplage des bobines se fait à volonté en tension ou en série; la grande quantité de fer de ces machines en fait des machines à courant presque constant. Elles sont employées pour l'éclairage des phares, en France et en Angleterre, où elles rendent de très grands services.

La machine Zipernowski-Déry, construite par la Compagnie Edison, a l'inducteur tournant, comme dans la machine Gramme, à l'intérieur d'un tambour qui porte les bobines induites; celles-ci sont à plat sur le tambour et leur âme est formée d'une lame de fer pliée en zigzag.

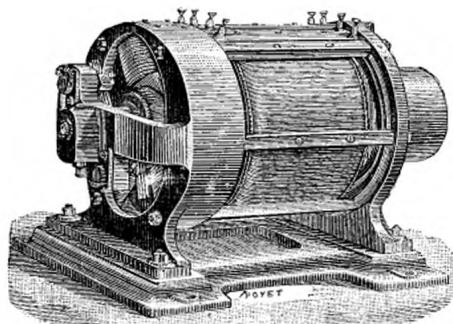


Fig. 16. — Machine Gramme à courants alternatifs de la société l'« Éclairage électrique ».

La dynamo Clerc, à courants alternatifs, dérive de la machine Lontin ; les bobines induites sont fixes, les noyaux des inducteurs sont en feuilles de tôle. Avec un excitation de 26 ampères, elle donne 15 ampères et 1 400 volts à 380 tours; avec une excitation de 35 ampères, 2 000 volts et 20 ampères à 450 tours; le nombre des bobines étant de 16, ces vitesses correspondent à des nombres de périodes de 51 et 60 par seconde.

Les inducteurs renferment 60 kilogrammes de fil de cuivre de 0^m,0033 de diamètre; les induits 57 kilogrammes de fil de 0^m,002.

La machine Chertemps diffère de l'ancienne machine Wilde en ce que les induits sont fixes et les inducteurs mobiles; ceux-ci sont fixés sur deux plateaux en fonte mobiles avec l'arbre de la machine, tandis que les induits sont formés d'autant de bobines encastrées dans un plateau isolant de chaque côté du système inducteur; une des bobines fournit un courant redressé par un commutateur pour l'excitation.

Une machine Ferranti, de 150 chevaux, alimentant des transformateurs, a fonctionné pendant l'Exposition, dans la station de la Société de l'Éclairage électrique.

Dans cette dynamo, les pièces polaires sont trapézoïdales et supportées par deux anneaux en fonte; les bobines de l'armature sont formées de ruban de cuivre, enroulé sur une âme en bronze, laminée, et groupées deux par deux, sur des supports isolés; le courant est divisé en deux circuits couplés en quantité.

Chaque couple de bobines est fixé par des boulons à un étrier supporté par un bloc vissé et gouillé dans un écrou, assujetti au noyau commun par un collet en verre et du ciment de soufre. Le collecteur est formé de deux tiges reliées à deux blocs diamétralement opposés.

La largeur moyenne des pièces polaires est celle des bobines qui ne laissent d'ailleurs, qu'un très petit intervalle entre elles.

La machine de 150 chevaux a 20 pôles et donne, à 500 tours par minute, 2 400 volts, avec un débit de 47 ampères; la résistance de l'induit est de 1,2 ohm; il est formé de 3 440 tours de ruban, divisés en deux circuits de 1 720 tours chacun.

L'excitation fournie par une machine Thury, montée sur le même arbre, est de 13 ampères 5; la résistance du circuit inducteur 18,8 ohms; le nombre d'ampères tours 1 7200; la section des pièces polaires est de 0^m,93, et l'entrefer de 0^m,019.

APPAREILS DU PROFESSEUR ELIHU THOMSON

Machine génératrice. — Dix électro-aimants inducteurs sont implantés radialement à l'intérieur d'une carcasse cylindrique en fonte boulonnée sur les plaques de fondation. L'armature est cylindrique et porte dix bobines couchées

à plat sur sa surface, enroulées en spirale et formées d'une seule couche de fil. Dans l'une des machines exposées (type A), une des bobines sert à l'excitation ; ses extrémités sont reliées, l'une aux segments pairs, l'autre aux segments impairs d'un commutateur à dix touches, sur lequel frottent les balais qui envoient le courant redressé aux électrodes fixes. Cette machine de 50 chevaux donne 1 000 volts avec une vitesse de 500 tours par minute. Son poids est de 1 600 kilogrammes. L'autre machine (type B) a huit de ses électro-aimants excités par une petite dynamo à courant continu, tandis que les deux autres, diamétralement opposés, sont excités par le courant (redressé par un commutateur spécial) de l'armature elle-même ; le fil de ces deux électrodes est d'ailleurs shunté par une résistance calculée de manière à donner aux bornes de la machine une force électromotrice croissant avec l'intensité du courant, et assurant, aux extrémités d'une résistance donnée, une différence de potentiel sensiblement constante.

Cette machine donne, à 1 500 tours, 300 volts, et alimente, par un procédé de distribution qui sera décrit plus tard, des lampes de 75 volts en dérivation, tandis que la machine A alimente par des transformateurs 600 lampes, ou directement 40 lampes de 25 volts en série.

Expériences diverses. — Un électro-aimant, excité par un courant alternatif, jouit de propriétés remarquables ; on le suppose vertical, cylindrique et à une seule branche. Si on présente à sa surface polaire horizontale un disque de cuivre (ou une sphère) celui-ci sera parcouru par des courants induits, de même période que ceux de l'électro-aimant, qui l'échaufferont si le disque est maintenu à distance constante de la surface polaire ; si le disque est laissé libre, il sera vivement repoussé à une distance convenable ; la sphère ou le disque seront en équilibre sous l'influence de la pesanteur et des répulsions électro-magnétiques.

Si la sphère est plongée dans un vase plein d'eau, elle flottera à une certaine distance du fond du vase. Son centre étant dans l'axe de l'électro-aimant, les forces électro-dynamiques se composent en une résultante unique appliquée à son centre, mais il n'en est plus ainsi quand la symétrie de l'appareil est troublée. Si, par exemple, on couvre avec une lame de cuivre une partie de la surface polaire, cette lame forme écran, c'est-à-dire que les courants qui y sont induits exercent au-dessus d'elle une action de sens contraire à celle de l'électro-aimant ; la forme des courants induits dans la sphère est changée, et l'action résultante est équivalente à une force qui maintient la sphère au-dessus du fond du vase et un couple qui fait tourner cette sphère autour d'un diamètre horizontal, parallèle au bord de la plaque.

Si on substitue à la sphère un équipage formé de plusieurs tours de fils horizontaux, cet équipage flottera également au milieu du liquide, et la distance au fond du vase sera déterminée par la condition que son poids (diminué de la poussée du liquide) équilibre la répulsion ; il est donc parcouru par un courant

dont l'intensité ne dépend que de son poids ; une lampe intercalée dans le circuit met ceci en évidence ; elle se place en équilibre au milieu du liquide ; si on l'enfonce, son éclat augmente, et, abandonnée à elle-même, elle revient à sa position d'équilibre en reprenant son éclat.

Un équipage analogue, d'un diamètre un peu plus grand que le noyau de l'électro-aimant, est repoussé par la surface polaire ; mais, si on le déplace verticalement, la répulsion diminue jusqu'à ce qu'on atteigne le milieu de la hauteur de l'électro, tandis que le courant induit, dont l'intensité est accusée par l'éclat de la lampe, va en croissant.

Un diaphragme en fer-blanc est percé en son centre d'un trou rectangulaire qui laisse passer une bande d'acier ; celle-ci est saisie d'un côté du disque entre deux lames reliées par des ressorts à ce disque, et qui lui sont normales ; lorsqu'on excite par un courant alternatif un électro-aimant, dont les pôles sont en face du diaphragme, de part et d'autre du trou central, le mouvement alternatif du disque produit une progression du ruban d'acier.

Transformateur. — Le transformateur à courant constant a pour but de produire un courant constant dans le circuit secondaire, la différence de potentiel étant constante aux bornes du circuit primaire.

La forme générale est celle d'un cadre en fer ; sur les côtés verticaux de ce cadre sont enroulés, d'un côté le circuit primaire, de l'autre le circuit secondaire ; de plus, les côtés horizontaux portent des saillies constituant une « dérivation magnétique », l'intervalle entre les saillies n'étant qu'une petite fraction du cadre ; avec cette disposition, et en réglant convenablement cet intervalle, le courant secondaire peut rester sensiblement constant, bien que la résistance intérieure varie ; par exemple, le courant varierait de 6,5 à 7 ampères, la différence de potentiel aux bornes variant de 100 volts à 0, mais, au delà de 100 volts, le courant tombe rapidement, lorsque la résistance extérieure augmente. Dans ce transformateur, l'augmentation du courant inducteur, au lieu de déterminer, comme lorsque les deux circuits sont entremêlés et l'aimantation du fer assez faible, un courant secondaire, à peu près proportionnel au courant primaire se traduit par une force électromotrice, corrélative à l'augmentation du magnétisme du fer dans la branche secondaire. Il permet aussi de constater l'effet remarquable d'une lame conductrice interposée dans un champ magnétique alternatif ; le courant secondaire augmente quand on introduit une lame de cuivre dans l'intervalle occupé par l'air, la lame formant en quelque sorte obstacle au passage des lignes de force dans la dérivation magnétique créée par les saillies entre les deux côtés horizontaux du cadre.

Régulateur d'intensité. — Un anneau en feuilles de tôle porte, sur 60 dégrés environ, un enroulement, traversé par un courant alternatif donné par une machine à potentiel constant, alimentant des lampes ; un second enroulement

mobile à la main, de même étendue angulaire (fermé sur lui-même), et d'un plus grand diamètre que le premier, peut être déplacé de manière à envelopper celui-ci, ou à s'en écarter progressivement de façon à le découvrir; c'est une sorte de transformateur dont le secondaire fermé sur lui-même peut être plus ou moins écarté du primaire. Lorsque les deux enroulements se recouvrent, le courant est maximum dans le premier, et il diminue à mesure qu'on le découvre; il diminue encore plus si on ouvre le second circuit; c'est une méthode de réglage du coefficient de self-induction du circuit.

Le même appareil peut être placé sur le circuit primaire d'un transformateur.

Si l'on imagine que le premier enroulement ainsi que son anneau soient mobiles autour d'un axe, mais que l'action réciproque des deux enroulements soit contre-balancée par une force constante, le courant prendra dans le premier enroulement une valeur également constante.

Moteur.— Le moteur à courants alternatifs a l'aspect général d'une machine génératrice. Six bobines fixes, à noyau plat formé de feuilles de tôle, forment les faces d'un prisme hexagonal dont les arêtes sont parallèles à l'axe et reçoivent le courant de la génératrice. L'arbre porte un système de six bobines semblables, mobiles à l'intérieur des premières; les deux extrémités du fil enroulé sur ces bobines sont reliées l'une aux touches paires, l'autre aux touches impaires d'un commutateur à six touches centré sur l'arbre; une paire de balais porte sur ce commutateur; l'un des balais est relié à la sortie des bobines fixes, l'autre à la génératrice, de sorte que lorsqu'ils frottent sur le commutateur, le courant parcourt le circuit des bobines fixes, puis celui des bobines mobiles; le sens des connexions est ainsi renversé six fois par tour dans le circuit mobile. Si on donne à la main, à la machine, une première impulsion, elle continuera à tourner quand le courant alternatif sera lancé dans le circuit, et son mouvement s'accélère; lorsque la vitesse normale (1500 tours) est atteinte, on tourne les balais jusqu'à leur faire toucher deux contacts réunis par un court circuit; le mouvement continue alors par l'action réciproque du courant et du magnétisme des bobines fixes sur le courant et le magnétisme induit dans les bobines mobiles mises en court circuit. Une disposition spéciale assure la fermeture de l'induit dès que sa vitesse atteint 1500 tours; des segments métalliques semi-circulaires portés par l'arbre, à l'intérieur du commutateur, et retenus par des ressorts, s'appliquent sur ses touches par l'action de la force centrifuge et ferment le circuit quand la vitesse est suffisante.

La machine ainsi lancée, les balais peuvent être enlevés. Cette machine n'est point synchronique, et continue à tourner avec une vitesse moindre quand on la charge, mais le démarrage ne peut se faire de lui-même et est accompagné de nombreuses et vives étincelles.

DESCRIPTION DE QUELQUES MACHINES

Les dynamos de 100 chevaux de M. Marcel Deprez, employés par la Société pour la transmission de la force par l'électricité, ont pour inducteurs deux cylindres de fer doux horizontaux de 0^m,63 de long et de 0^m,32 de diamètre portant à chaque bout un épanouissement polaire, embrassant 90 degrés de la circonférence des deux anneaux induits, chacun de 0^m,50 de diamètre, la vitesse normale du fil induit est de 16^m,30 par seconde, le champ moyen est 3300 environ, soit, sous les pièces polaires, 6 600. Chaque anneau peut donner 610 volts et 55 ampères, soit 67 000 watts pour l'ensemble de la machine, ou en modifiant l'enroulement 112 volts et 400 ampères, la résistance du fil induit passant de 0,5 ohm à 0,008. Les inducteurs portent 3762 tours de fil et l'excitation passe de 22 ampères, pour la première machine à 23 pour la seconde.

Pour la machine de 2 anneaux de 600 volts chacun, l'excitation prend 2 300 watts et la résistance des induits, 3 035 (fil de 0^m,0038).

Il existait, dans la Galerie des Machines, une machine à 6 pôles, du même auteur, de la force normale de 500 chevaux, et que l'on n'a pas vu fonctionner.

La Société alsacienne de constructions mécaniques construit les différents types de la maison Siemens ; les machines type D, à électro-aimant simple (l'âme de l'inducteur est en fer forgé, les pièces polaires en fonte), dont un modèle exposé donnait 60 000 watts à 330 tours (120 volts et 500 ampères), et le type I, machine à 6 pôles, directement accouplée à un moteur Armington et Sims de 150 chevaux à 2 cylindres, faisant 150 tours par minute ; cette dynamo pèse 7 tonnes et doit donner 1 000 ampères à 125 volts ; l'anneau Gramme, qui entoure, comme on l'a dit, les six électro-aimants radiaux en fonte, a 1^m,60 de diamètre extérieur.

Le fil fait 714 tours sur l'anneau, il y a 119 sections entre deux pôles consécutifs. Les six balais frottent sur la périphérie de cet anneau, dont le fil extérieur est dénudé, et sont manœuvrés tous ensemble ; cet anneau a 0^m,31 de large.

Les ateliers de construction d'Erlikon construisent des machines pour transmission de force et d'autres pour l'éclairage.

Les machines pour transmission sont montées en série, quadripolaires et à anneau Gramme, les noyaux des inducteurs sont implantés perpendiculairement sur les côtés paires d'un octogone en fonte qui sert de culasse commune ; cet octogone est en deux pièces. Une machine génératrice de 300 chevaux et une réceptrice de 250 étaient exposées, de même forme extérieure, avec des induits semblables, de 0^m,98 de diamètre, et destinées à fonctionner à la même vitesse (500 tours par minute) ; ces machines ne diffèrent que par le nombre des spires

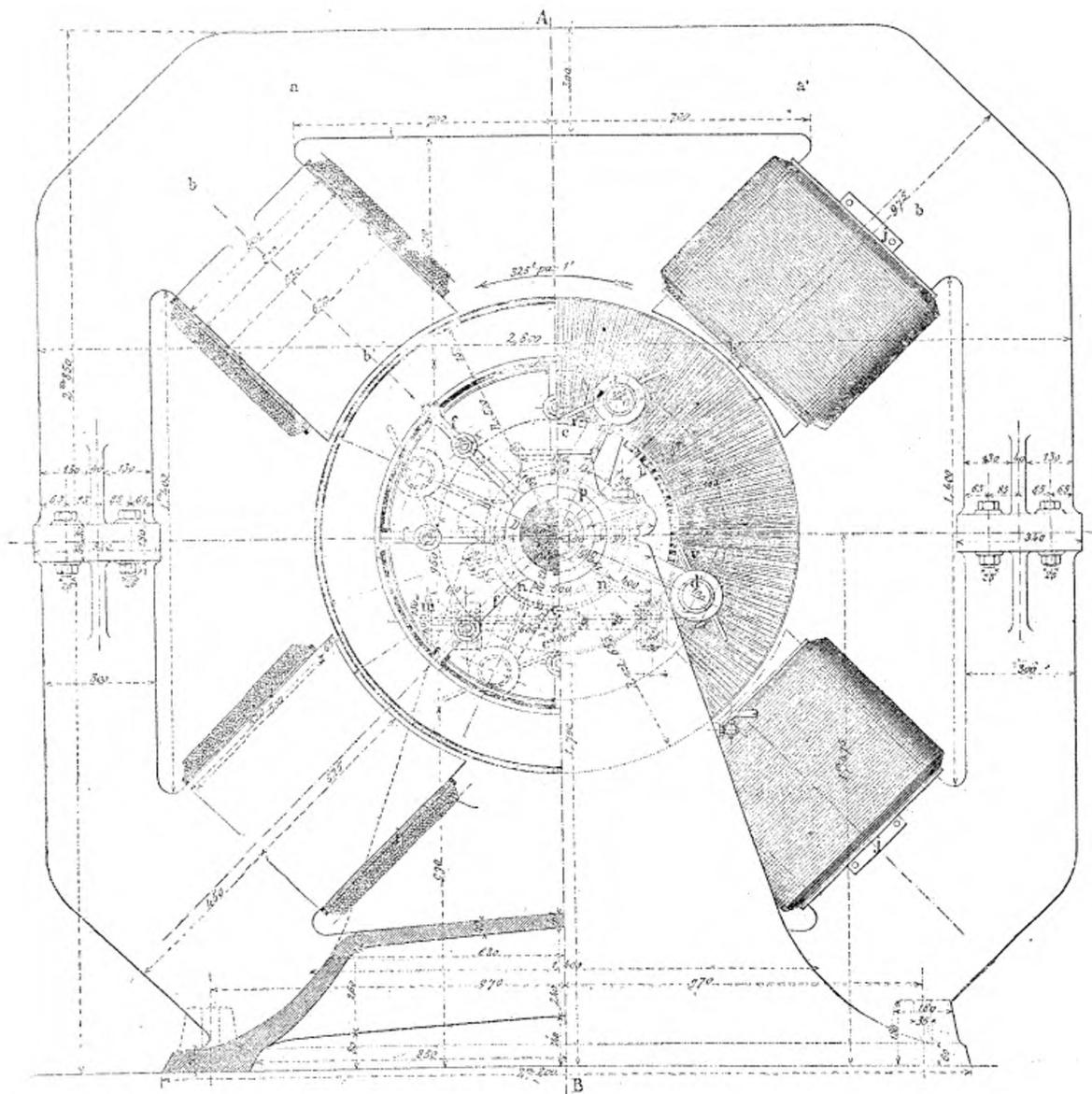


Fig. 17. — Dynamo construite par les ateliers d'Œrlikon, demi coupe transversale et demi élévation.

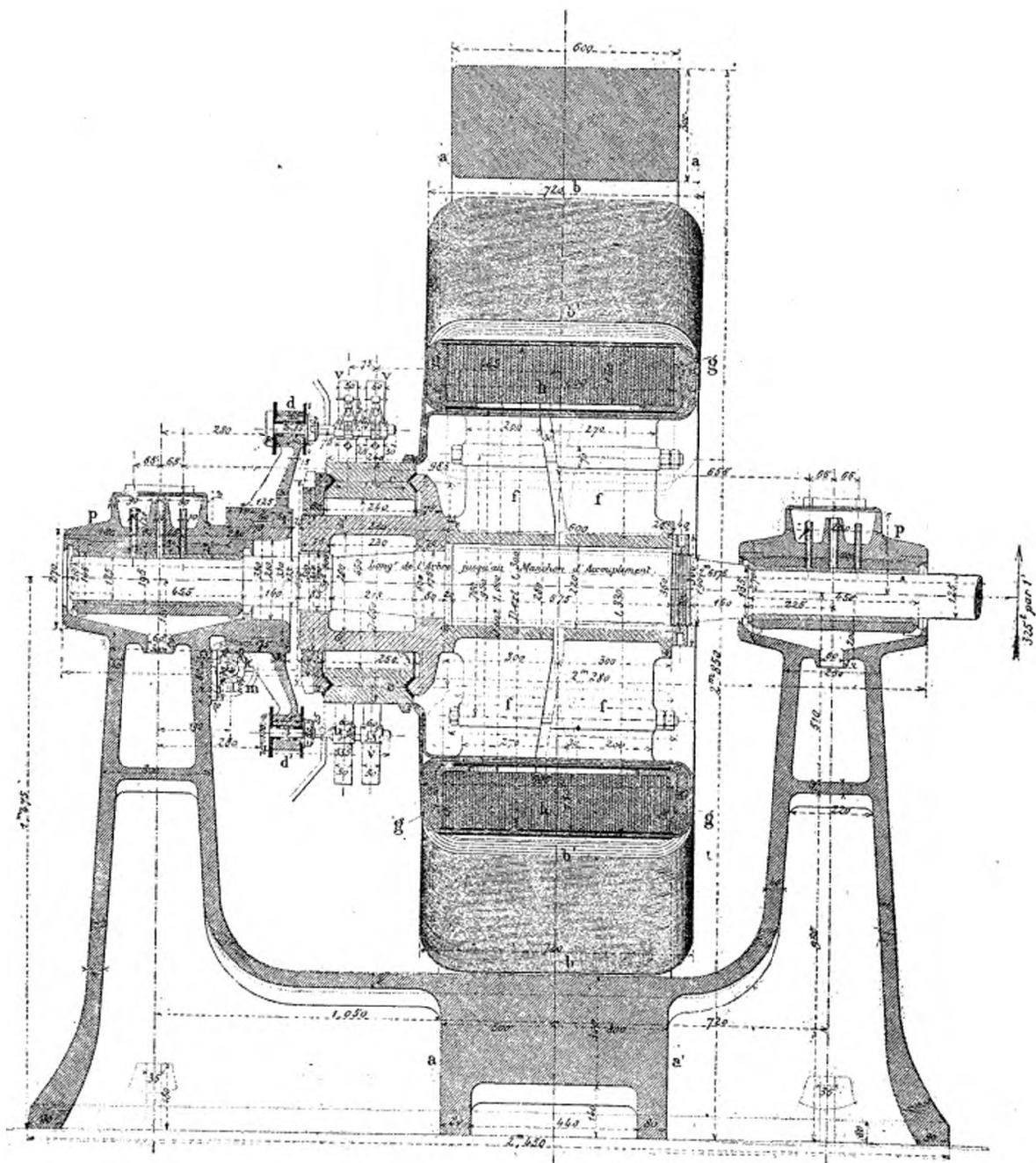


Fig. 18. — Dynamo construite par les ateliers d'Orlikon.

sur les induits, 400 pour la machine primaire et 368 pour la réceptrice; la longueur de ces induits suivant l'axe est de 0^m,50 et leur profondeur, dans le sens du rayon, 0^m,147.

La force électromotrice étant de 600 volts à pleine charge, pour un courant de 280 ampères, cela correspond à un champ moyen de 4 600 ou de 7 900 sous les pièces polaires, qui occupent chacune 0^m,48 sur la circonférence et dans le fer induit à un peu moins de 15 000.

Les noyaux des inducteurs ont 0^m,30 de longueur, dans le sens du rayon; le circuit excitateur est formé d'un ruban de cuivre de 0^m,30 de largeur et de 0^m,001 d'épaisseur.

La puissance nécessaire pour faire tourner l'induit à vide, à une vitesse de 533 tours, le champ étant excité par un courant de 243 ampères qui produisait une force électromotrice de 630 volts, a été trouvée de 9,135 watts, soit de 5,5 % de la puissance effective de la machine.

Le haut rendement de machines analogues, mais plus faibles, a été constaté d'ailleurs par MM. les professeurs Amsler et H. Weber pour une transmission entre Soleure et Kriegstetten (8 kilomètres). On a obtenu de 87 à 89 % de rendement commercial pour chaque machine et l'isolement de la ligne (cuivre nu et isolateurs à liquide Johnson Philipps) a été reconnu suffisant pour une différence de potentiel de 1 200 volts.

Elles ont été confirmées encore par des essais faits à Steyermühle, qui ont donné, à une distance de 600 mètres, un rendement total de 80 % pour la transmission d'une puissance de 100 chevaux, déterminée par des procédés purement mécaniques.

MM. Crampton et C^{ie} exposaient une machine à haute tension, 1300 volts, montée en série et destinée à l'alimentation de lampes à arcs; les foyers alimentés à l'Exposition étaient au nombre de 24 et consommaient 25 ampères; cette machine est remarquable par son faible poids, 880 kilogrammes, et la modicité de son prix; ces avantages ne peuvent être obtenus qu'avec des vitesses assez grandes (1150 tours par minute, correspondant à une vitesse du fil induit de 24 mètres par seconde); et en même temps une surface d'armature (0^m4,213) un peu faible pour la quantité de chaleur dégagée dans l'induit (850 watts pour la quantité de chaleur due au courant seul). Le rendement de cette machine est très élevé, l'excitation au régime normal ne coûte que 870 watts, et on n'a dépensé pour faire marcher la dynamo à vide comme moteur, les inducteurs ayant le champ normal, et à une vitesse de 1095 tours, que 1209 watts.

Le fil de cuivre induit, disposé en cinq couches, pèse 44 kilogrammes, tandis que le cuivre des inducteurs pèse 144 kilogrammes. La force électromotrice atteint 7 volts par mètre sur les génératrices extérieures de l'anneau, soit 1075 volts par mètre total de fil induit.

M. Crampton revendique comme particularités de sa machine la quantité de fer du noyau induit : l'épaisseur du fer y est le cinquième du diamètre, beaucoup plus considérable que dans les anneaux Gramme primitifs; avec cet anneau Gramme, M. Crampton combine des inducteurs de la forme des premiers inducteurs Siemens, formés de deux fers à cheval opposés par leurs pôles de même nom, et dont les noyaux sont formés de barres de fer forgé, dont la section n'est que les 0,98 de celle du fer induit, au lieu d'être, comme cela a lieu généralement, supérieure à cette section dans le rapport de 1,5 à l'unité.

M. Crampton attribue à ce rapport la forme de la caractéristique externe de sa machine ; à vitesse constante, les volts aux bornes croissent à peu près proportionnellement au débit jusqu'à 850 volts pour 13 ampères, puis moins rapidement pour passer par un maximum pour le débit normal de 25 ampères. Il en résulte que ce courant correspond au régime le plus stable de la machine, aussi bien au point de vue des variations inévitables de la vitesse qu'à celui des variations de la résistance extérieure.

Les machines Rechniewski, exposées par l'inventeur et par la Compagnie d'Eclairage électrique, sont caractérisées par l'emploi d'un induit à dents, combiné avec des inducteurs en feuillard ; ces machines sont multipolaires et à anneau pour les grands débits, bipolaires et à tambour au-dessous de 20 000 watts.

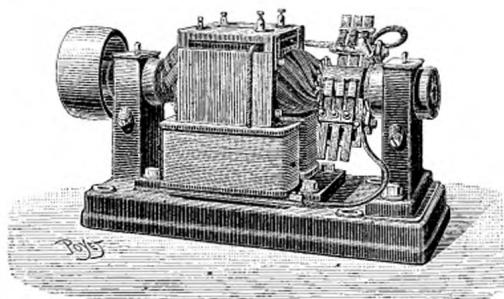


Fig. 19. — Machine Rechniewski, construite par la société « L'Eclairage électrique »

Des machines génératrices et réceptrices de ce dernier type fonctionnaient à l'Exposition ; leur puissance variait de 200 à 14 000 watts. Dans ces machines l'induit et les inducteurs, y compris les masses polaires, sont entièrement formés de tôles minces d'un demi-millimètre, découpées ; les fils sont logés dans les intervalles des dents de l'induit ; l'entrefer est alors réduit au jeu strictement nécessaire pour permettre la rotation, ce qui paraît très avantageux pour les petites machines surtout, que l'on voyait fonctionner comme moteurs aussi bien que comme génératrices ; l'induction dans le noyau induit atteint des valeurs très élevées, 21 000. (C. G. S.)

La même disposition essentielle, induit à dent et inducteur laminé, se retrouve dans les moteurs Perret.

Les machines Miot exposées étaient une génératrice, attelée directement à un moteur Mégy, et une réceptrice donnant le mouvement au pont roulant de MM. Mégy, Etcheverria et Bazan. Le moteur est à quatre pôles ; l'anneau est un anneau Gramme ; le fer a $0^m,40$ de diamètre extérieur, son épaisseur de $0^m,06$, la longueur de l'anneau $0^m,20$. Les deux inducteurs en fer ont des noyaux de $0^m,40$ de largeur ; ils sont courbés parallèlement à la surface de l'induit ; leur épaisseur dans le sens du rayon est de $0^m,08$; ils sont terminés par des épanouissements qui occupent chacun $0^m,16$ sur la surface de l'anneau, soit en tout $0^m,64$, tandis que la circonférence de l'anneau a $1^m,25$; le rapport de la section 8×20 de l'intérieur de la section 12×20 du fer induit est encore plus faible que dans la machine Crampton. La largeur de l'épanouissement a été déterminée expérimentalement par la condition qu'une augmentation de cette largeur ne produisit pas d'augmentation sensible dans le flux, étudié avec l'inductomètre, de l'entrefer de $0^m,09$ entre les épanouissements et l'induit. Dans ces conditions, la force magnétique est très faible sur une grande partie du contour de l'anneau, et l'on peut se proposer de mettre en court circuit les spires qui ne concourent pas utilement à la production de la force électromotrice ; le fil induit, se reposant un certain temps à chaque tour, peut supporter une plus forte densité de courant.

Dans ce but, les spires diamétralement opposées étant groupées en quantités comme d'ordinaire dans les machines à quatre pôles, un balai est placé sur le collecteur entre les pôles des deux inducteurs et une paire de balais reliés par un court circuit frotte sur ce collecteur aux points convenables pour mettre en court circuit les spires inutiles qui se trouvent dans le voisinage de la ligne neutre de chaque inducteur.

Sur l'un des côtés de l'induit sont placés deux électro-aimants de faible puissance, excités en série et agissant sur les spires mises en court circuit ; ils sont destinés à assurer l'invariabilité du calage des balais.

Les chiffres suivants ont été communiqués au jury par M. Miot. A une vitesse de 858 tours par minute, ou une vitesse linéaire de $17^m,80$, la machine débite 150 ampères, avec 135 volts aux bornes ; la densité du courant atteint 6 ampères par millimètre carré sans échauffement anormal ; l'excitation est mixte ; chaque inducteur porte 4000 tours de fil fin ($13/10$ de millimètre), d'une longueur de 2 820 mètres et pesant 32 kilog. 5, et 30 spires de gros fil ($34/10$) recevant la moitié du courant général ; on a sur les deux inducteurs 65 kilogrammes de fil fin et 12 kilogrammes de gros fil ; les électro-aimants, dit *de compensation*, ont le poids de gros fil. L'induit a 100 spires d'un double fil de $20/10$; le poids du cuivre est de 17 kilogrammes. Les résistances à chaud sont 0,035 pour l'induit, 0,004 pour le gros fil et autant pour les compensateurs, le courant d'excitation

tation étant de 2 ampères, 1 ampère pour chaque inducteur ; l'excitation consomme 450 watts et l'induit 787, soit 1 237 en tout, lorsqu'on en a 20 250 aux bornes.

M. Miot estime à 250 watts les pertes dues à l'échauffement du fer de l'induit et aux courants parasites en général ; ce chiffre a été obtenu en accouplant sur l'arbre un petit moteur électrique et en notant la différence des puissances absorbées pour faire tourner la dynamo avec et sans excitation des inducteurs.

La réceptrice du pont roulant est construite d'après les mêmes principes ; elle est à six pôles ; le diamètre extérieur de l'inducteur est de 0^m,41, la profondeur du fer 0^m,05, égale à l'épaisseur de l'inducteur dont l'épanouissement a 0^m,125. La longueur, dans le sens de l'axe, les inducteurs et de l'induit est de 0^m,20.

A la même vitesse de 850 tours, on a 220 volts aux bornes, avec 70 ampères de débit total ; ce courant se partage entre les trois inducteurs, enroulés chacun de 340 tours de fil de 45/10 ; la machine étant montée en série, le calage des balais est invariable ; une partie des spires induites, équivalente au quart du nombre total, est mise en court circuit ; la densité du courant y est de 5,5 ampères par millimètre carré.

II. — Accessoires et Appareils de sûreté.

INTERRUPEURS

Les interrupteurs ou commutateurs deviennent des accessoires importants dès que l'intensité ou les différences du potentiel mises en jeu deviennent notables ; le contact des pièces doit être bon pour éviter les échauffements et la manœuvre sûre, mais demander pourtant un certain effort ; il ne faut pas qu'une cause accidentelle suffise pour changer les contacts établis, et ceux-ci sont assurés par des ressorts ; il est préférable que l'interruption se fasse à la fois en deux points sur le circuit.

Dans les interrupteurs Postel-Vinay, la pièce mobile est rigide et vient établir le contact contre deux ressorts qu'on doit forcer légèrement pour amener cette pièce à la position du *circuit fermé*. MM. Cuenod et Sautter ont une pièce carrée montée sur l'axe du commutateur, et deux ressorts qui appuient sur deux faces parallèles du carré ; les ressorts s'opèrent à la rotation, mais quand on a dépassé 45 degrés, celle-ci continue d'elle-même jusqu'à ce que le

carré ait tourné d'un angle droit; deux des faces sont conductrices et les deux autres isolantes. A la Société pour la transmission de la force, la partie mobile est une lame de cuivre repliée sur elle-même en forme de ressort; d'un côté elle vient s'engager entre deux lames fixes quand le courant doit passer; de l'autre côté elle vient, quand le courant doit être interrompu, serrer une tige plus grosse que l'intervalle des deux lames du ressort.

M. Crompton dispose perpendiculairement à l'axe une série de lames minces de cuivre arquées dans le sens de la rotation, et formant ressort, qui viennent s'appuyer sur le bord interne des contacts formés de lames de cuivre épaisses, pliées en arc de cercle; tandis que la Société alsacienne emploie des lames de ressort empilées les unes sur les autres, qui viennent presser de deux côtés sur le contact fixe; de plus, la poignée de manœuvre est reliée aux pièces mobiles par l'intermédiaire d'un mouvement à point mort; c'est un système de deux ressorts qui s'oppose à la première partie du mouvement et précipite la seconde.

M. Cance se sert d'un commutateur à disques. Ce commutateur se compose de disques métalliques isolés les uns des autres et dont la jante est munie de plaques isolantes rapportées, accouplées deux à deux par de forts sabots tournés au même diamètre et appuyés sur les disques par des ressorts à boudin guidés sur la tige de manœuvre des sabots; ils peuvent supporter jusqu'à 1 000 ampères, et servent, soit à insérer un ampèremètre dans le circuit, soit à mettre une machine sur le circuit correspondant à l'aide de verrous.

Chaque verrou est composé de deux tiges cylindriques dont le tiers environ est isolant, le reste métallique; l'ensemble glisse d'un seul coup dans deux paires de bornes, l'une en rapport avec les pôles de la machine, l'autre avec deux disques d'un commutateur, relié à un circuit; chaque circuit et chaque commutateur correspond à trois verrous, au moyen desquels on peut les faire communiquer soit avec la machine qui doit les alimenter normalement, soit avec l'une ou l'autre des machines de réserve.

Le tableau de dérivation est composé d'une rangée de rhéostats correspondant à chaque lampe, d'indicateur d'allumage, d'un commutateur et d'un coupe-circuit fusible; de plus, un dispositif spécial permet d'intercaler un ampèremètre dans un circuit quelconque, en le substituant au coupe-circuit fusible, sans interrompre le courant; l'ampèremètre est d'abord mis en dérivation sur le coupe-circuit, puis le fil de plomb est enlevé avec sa douille.

Dans le tableau de M. Crompton, les ampèremètres ne sont pas continuellement en circuit; des commutateurs à deux directions permettent d'y envoyer séparément le courant d'une des dynamos, ou celui d'un des circuits desservis.

Dans les interrupteurs (*switches*) de la Globe electrical Co, on assure une surface de contact entre la pièce mobile portée par la manette et les plots; cette pièce mobile est reliée à la manette d'une part par un large ruban de cuivre

souple qui joue simplement le rôle de conducteur, et d'autre part par une tige cylindrique fixée à la manette et qui pénètre dans une cavité en y laissant un certain jeu; un ressort à boudin presse la pièce mobile contre le plot et prend son point d'appui sur la manette elle-même, en enveloppant cette tige; le jeu laissé permet à la pièce mobile de s'appliquer parfaitement contre le plot, même si la surface est usée.

L'Acme C° expose des interrupteurs à déclenchement brusque; le mouvement de la manette fait mouvoir un verrou qui, à un moment donné, laisse agir un ressort arrachant brusquement le contact mobile.

La Compagnie continentale Edison emploie un double verrou en fer à cheval comme interrupteur; une tige, armée d'un fort ressort à boudin, fait corps avec l'étrier; dans la position de fermeture du circuit, le verrou est maintenu par un loquet; quand celui-ci est libéré, le circuit est brusquement ouvert par l'action du ressort; pour fermer le circuit, il faut préalablement bander le ressort en tournant un levier de manœuvre.

On peut avoir intérêt au contraire à éviter une interruption brusque. Dans les grandes transmissions de force, la Société d'Erlikon place sur le circuit, près de la réceptrice, une tige de charbon entrant dans un fourreau cylindrique; quand on les écarte, l'arc jaillit et prolonge le courant assez longtemps pour éviter tout danger résultant de l'induction des machines sur elles-mêmes; à la génératrice est un interrupteur automatique mettant les électros en court circuit.

PLOMBS FUSIBLES

Les plombs fusibles (*safety-fuses*) ou coupe-circuits de sûreté sont destinés à empêcher les courants de prendre des intensités dangereuses dans un conducteur ou un réseau de conducteurs.

Ce sont des fils de plomb intercalés dans le circuit à protéger et dont le diamètre est tel qu'ils doivent fondre et interrompre le courant avant qu'il ait atteint l'intensité regardée comme dangereuse. On les emploie aussi bien sur les conducteurs de dérivation que sur les conducteurs principaux et, dans un certain nombre d'installations, les dynamos sont également protégées par ces fils fusibles.

M. Postel-Vinay enferme le coupe-circuit dans un tube en verre dont les deux extrémités sont fermées par des capsules en cuivre serrées entre des vis prises sur les bornes d'entrée et de circuit du courant; lorsque le métal est fondu, le tube est recouvert à l'intérieur d'une couche blanche qui permet de reconnaître facilement le circuit qui a été trop chargé; le remplacement de ces coupe-circuits se fait très rapidement.

Le *Globe electrical* C° emploie des feuilles de plomb, dont les extrémités sont renforcées par des feuilles d'étain et soudées à des bandes de cuivre étamé ; des feuilles de mica, appliquées sur le plomb, empêchent toute projection de métal fondu. Deux coupe-circuits semblables sont en série l'un au bout de l'autre ; une forte bande de cuivre munie d'encoches, placée sur un des côtés de l'appareil, est en communication, par une de ses extrémités, avec la plaque qui sépare les deux plombs fusibles ; suivant qu'elle est abattue à droite ou à gauche, cette bande met en court circuit l'un ou l'autre de ces plombs ; si l'une des plaques fond, l'autre peut lui être substituée rapidement.

Les plombs fusibles ne fonctionnent pas toujours d'une manière régulière et ne fondent pas toujours sous l'action du courant qui est présumé dangereux. M. Cockburn, de l'*Acme electrical Works*, a spécialement étudié cette question et recommande comme plus réguliers des fils en étain supportant en leur milieu un poids proportionné à leur section : à une température inférieure à celle de la fusion de l'étain, celui-ci se ramollit et le poids rompt le fil vers 200 degrés. M. Cockburn croit pouvoir garantir à 10 % près l'intensité du courant.

On emploie aussi pour protéger les dynamos, des appareils interrupteurs automatiques, qu'on ne saurait songer à établir sur les branchements secondaires.

INTERRUPEURS AUTOMATIQUES

L'interrupteur automatique Thury est placé à la suite d'un coupe-circuit fusible ; le bras mobile de l'interrupteur, quand le circuit est fermé, est pressé sur deux balais en cuivre formant ressort ; mais, comme dans les interrupteurs rapides, il est sollicité par un fort ressort à s'éloigner de ces contacts dès qu'il est dans la position du maximum d'écart des brosses ; un aimant solidaire de ce bras est fortement attiré par les pôles d'un électro excité par le courant de l'induit, et contribue à presser les balais ; quand le courant change de sens l'aimant est repoussé vivement et entraîne le bras de l'inducteur. Au lieu d'opposer un ressort antagoniste à l'action magnétique, M. Thury enroule aussi sur les noyaux de l'électro du fil fin pris en dérivation sur les bornes, dans le sens voulu pour aider à la répulsion.

Dans les transmissions de force, M. Brown, d'Erlikon, emploie une autre disposition ; un électro-aimant met en court circuit le fil inducteur de la génératrice dès que ce courant devient trop fort dans la machine.

La Société Alsacienne protège chacune des dynamos associées en quantité sur les rails de distribution par un interrupteur qu'un ressort tend constamment à ouvrir ; cet interrupteur est enclenché par un petit levier qui est déclenché

quand le courant tombe au-dessous d'une certaine valeur ; à cet effet, une petite languette, polarisée par une bobine à fil fin, oscille entre les pôles de deux bobines à gros fil et porte un crochet qui maintient l'enclanchement ; le ressort antagoniste de la languette déplace le crochet dès que le courant est affaibli.

PARATONNERRES

Les paratonnerres à pointes ou à papier, du genre de ceux qu'on emploie sur les lignes télégraphiques, ont été souvent insuffisants pour protéger les machines reliées à des réseaux aériens.

M. Thury place entre le paratonnerre et la machine un fort noyau de fer doux sur lequel s'enroule le fil de ligne, puis un condensateur dont une armature est au sol tandis que l'autre est reliée à la ligne ; cette disposition s'est montrée efficace dans une installation de l'Oberland que les paratonnerres à pointes n'avait pas protégée.

Les parafoudres employés par le professeur E. Thomson sont fondés sur la propriété des électro-aimants d'empêcher la production prolongée d'un arc dans le champ magnétique puissant qui existe au voisinage des surfaces polaires ; chacun des fils partant de la machine à protéger est, en un point de son parcours, enroulé autour d'un noyau de fer doux en fer à cheval entre les pôles duquel se trouve un paratonnerre à pointes relié à la terre d'un côté, de l'autre à la ligne ; quand la foudre frappe la ligne, l'arc formé entre les pointes est éteint avant que le court circuit formé par la terre ait pu produire un effet fâcheux sur la machine.

Ces électro-aimants troubleraient le fonctionnement des machines à courants alternatifs ; pour celles-ci le fil de ligne est d'abord replié sur lui-même, puis enroulé sur le noyau de fer comme les fils pour les bobines de résistances dites *sans self-induction*, et c'est au point où le fil est replié sur lui-même qu'est relié le paratonnerre ; si la foudre frappe la ligne, le courant, avant d'atteindre la machine doit franchir l'électro en y entrant par cette partie du fil et, par conséquent, en parcourant dans le même sens les spires que le courant de la dynamo parcourt en deux sens opposés ; le courant de la décharge aimante donc l'électro et éteint l'arc du paratonnerre.

Pour les courants continus, M. Sperry emploie un autre dispositif. La plaque du paratonnerre qui est en communication avec le sol, est mobile autour d'une charnière horizontale : le fil de terre est enroulé autour d'un électro-aimant ; celui-ci attire son armature lors du passage de la décharge et dégage la plaque qui s'abat comme un annonciateur. Cette disposition offre l'inconvénient que le paratonnerre n'est plus en état de fonctionner et doit être rétabli après chaque décharge dans son état primitif.

Pour protéger le circuit secondaire et le primaire d'un transformateur alimenté à 1 000 volts, le professeur Thomson joint deux points pris sur les deux branches du circuit secondaire à la terre, en intercalant dans ces jonctions une feuille de papier mince. S'il y a un défaut d'isolement entre les deux circuits du transformateur le papier est percé, l'intensité du courant primaire augmente et le plomb de sûreté qu'il contient est fondu.

ACCOUPLEMENTS

L'accouplement des moteurs et des dynamos s'est fait presque exclusivement par des courroies ou des cordes, tant que les dynamos de faible puissance et d'un petit volume devaient avoir une vitesse angulaire comprise entre 500 et 2 000 tours pour donner au fil induit une vitesse linéaire suffisante, vitesse qui est un des facteurs du travail que la machine peut absorber. La construction

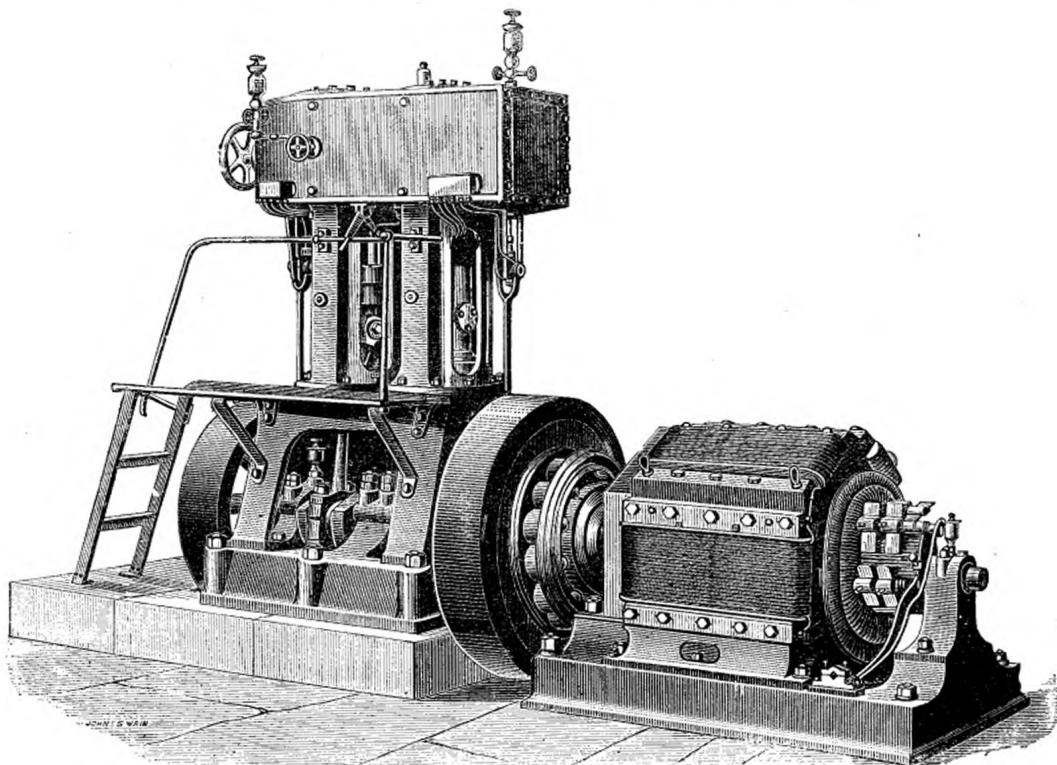


Fig. 20. — Accouplement du moteur et d'une dynamo Thury employé par la maison Cuénod Sauter.

des machines à vapeur rapides, ayant fait de grands progrès, il est devenu possible d'accoupler directement les dynamos sur l'arbre du moteur à vapeur. Sans parler du turbo-moteur Parsons, qui fait jusqu'à 9 000 tours par minute et dont l'arbre est simplement le prolongement de celui de la dynamo actionnée, les maisons Sautter-Lemonnier, Bréguet, Cuénod-Sautter construisent des moteurs dits *pilons*, qui tournent à raison de 350 tours ; les ateliers d'Erlikon exposaient aussi une machine de 5 chevaux tournant à 600 tours ; ces vitesses sont celles des dynamos de puissance moyenne, auxquelles ces moteurs peuvent être attelés directement, comme Edison l'avait fait dès 1881. Pour les dynamos plus puissantes, dont la vitesse descend à 200 tours et au-dessous, la commande directe paraît de plus en plus en faveur ; on va même jusqu'à supprimer le volant de la machine à vapeur que l'anneau induit peut remplacer s'il a un poids et un rayon suffisants.

Dans les machines d'Erlikon, le moteur et la dynamo sont absolument solidaires et fixés sur un bâti commun ; les machines Bréguet, Sautter-Lemonnier et Cuénod-Sautter ont des bâti indépendants et la commande est élastique. MM. Sautter et Lemonnier placent sur l'arbre moteur un plateau à chevilles et sur celui de la dynamo autant de lames radiales qu'il y a de chevilles sur le plateau ; ces lames ne sont pas absolument rigides et permettent un défaut de parallélisme entre les arbres.

Le mode d'accouplement imaginé par M. Raffard est employé par la maison Bréguet et par la maison Cuénod-Sautter et C^{ie} ; deux plateaux sont calés sur les bouts des arbres à relier qui portent chacun des chevilles perpendiculaires à leur plan, distribuées, en nombre égal pour chaque plateau, sur deux circonférences de diamètres différents ; des bandes de caoutchouc embrassent deux chevilles correspondantes, une sur chaque plateau ; ces bagues supportent un effort de 35 grammes par millimètre carré en allure normale, mais rompent sous un effort quadruple, ce qui protège la dynamo ; l'isolement de la dynamo n'est pas compromis par cet accouplement. Lorsque les efforts à transmettre sont considérables et obligeraient à employer des plateaux trop grands, M. Raffard fixe les chevilles sur des tambours dont l'un est en porte-à-faux. La disposition par plateaux, malgré la disposition de la force centrifuge sur les bagues, réussit encore pour des vitesses de rotation voisines de 1 000 tours par minute et des diamètres de 0^m,50.

MM. Briquet, Weibel et C^{ie}, de Genève, exposaient un autre mode d'accouplement qui permet sans engrenage de doubler la vitesse de rotation ; l'arbre de la dynamo porte deux manivelles diamétralement opposées ; le rayon de la circonférence décrite par chacune d'elles est égal à la distance des axes de la dynamo et du moteur, axes qui sont parallèles, mais non bout à bout. L'arbre du moteur porte un plateau ; un triangle isocèle de dimension invariable est articulé par son sommet à l'une des manivelles, tandis que les deux extrémités de sa

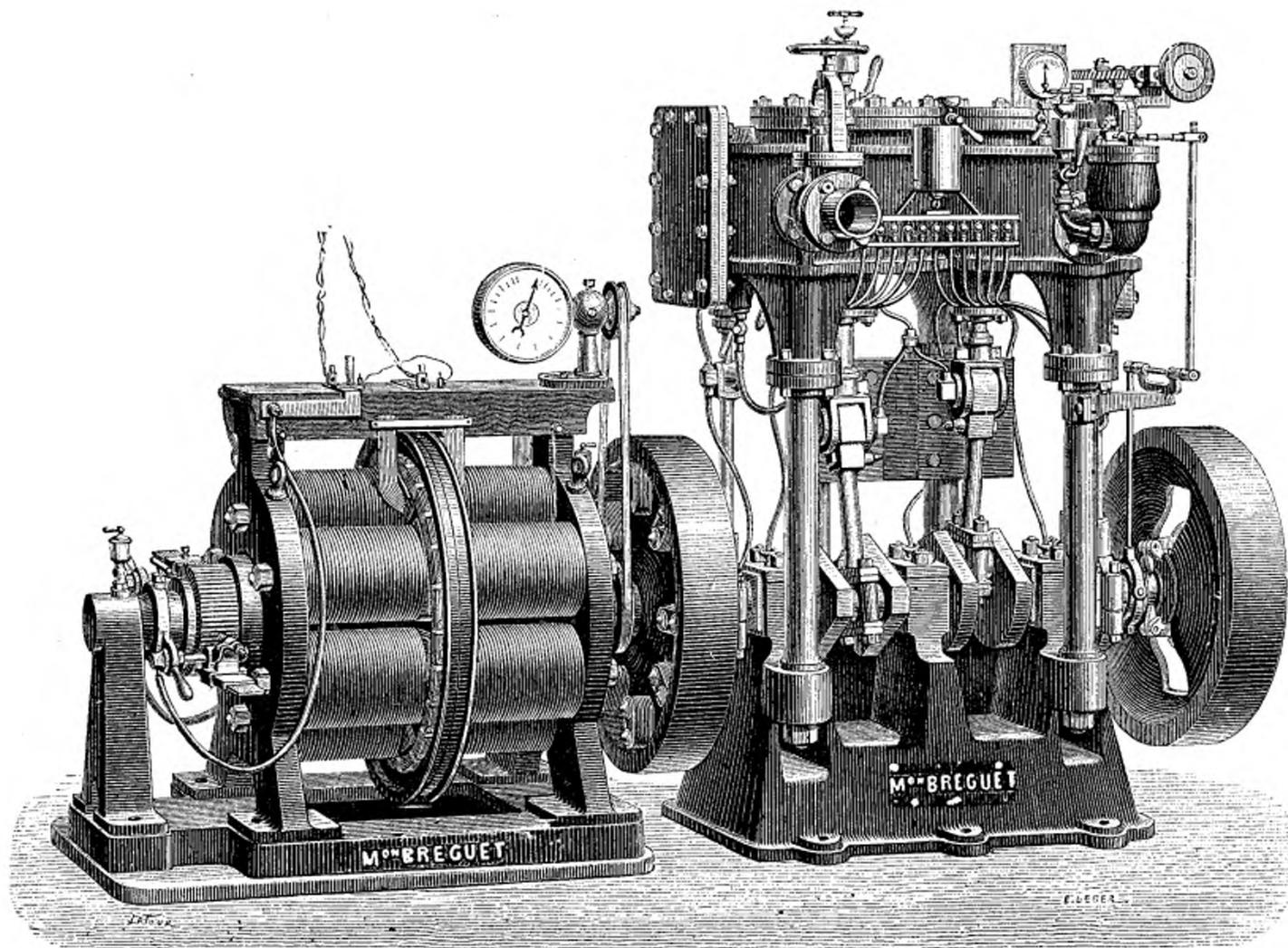


Fig. 21. — Accouplement du moteur et d'une dynamo Desroziers employé par la maison Bréguet.

base sont reliées par de petites bielles à deux chevilles implantées sur le plateau ; l'autre manivelle est reliée de même à une seconde paire de chevilles placée à 90 degrés de la première sur le même plateau ; quand celui-ci a fait un quart de tour, les deux manivelles se sont substituées l'une à l'autre et l'arbre de la dynamo a fait un demi-tour.

III. — Appareils de mesure.

Les appareils destinés à la mesure des courants (ampèremètres) ou des forces électromotrices (voltmètres), les plus usités dans l'industrie, peuvent se diviser en deux classes : les appareils à aimant permanent, les appareils à fer doux et les appareils sans fer. Dans les premiers, la force antagoniste est demandée tantôt à un aimant directeur, à l'action de la pesanteur ou à celle d'un ressort. On reproche généralement à ces appareils, dans lesquels l'aimant est soumis fréquem-

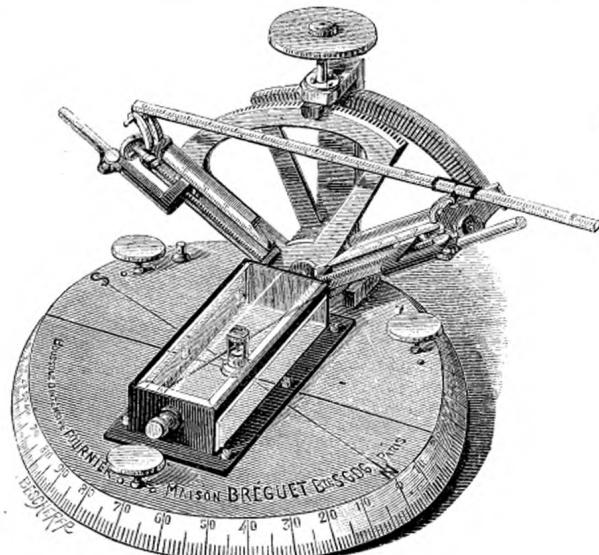


Fig. 22. — Boussole d'intensité Fournier.

ment à l'action de forces magnétiques intenses, un affaiblissement progressif du magnétisme de l'aimant mobile ou de l'aimant directeur ; le second type des instruments à fer doux paraît se répandre de plus en plus.

Ce type a l'inconvénient de donner pour le même courant (ou la même différence de potentiel) des indications qui dépendent de la manière dont le courant est arrivé à sa valeur actuelle ; mais les erreurs qui en résultent restent toujours comprises entre des limites déterminées, et ne croissent pas indéfiniment avec le temps. Le voltmètre Hummel, tel qu'il est construit par M. Henrion, est le type de cette classe d'instruments ; des formes différentes sont exposées par la Société

Gramme (voltmètre Javaux), MM. Desrnelles, Alioth et C^{ie}, etc. ; les Compagnies Edison et Thomson Houston se servent également d'instruments où l'action d'un solénoïde sur une aiguille ou un barreau de fer doux donne la mesure du courant.

Les électro-dynamomètres [sont théoriquement parfaits et l'électro-dynamomètre Siemens est le plus usité pour la mesure industrielle des courants alternatifs ; il a l'inconvénient de ne pas être apéridique, d'exiger une manœuvre au lieu de donner par simple lecture

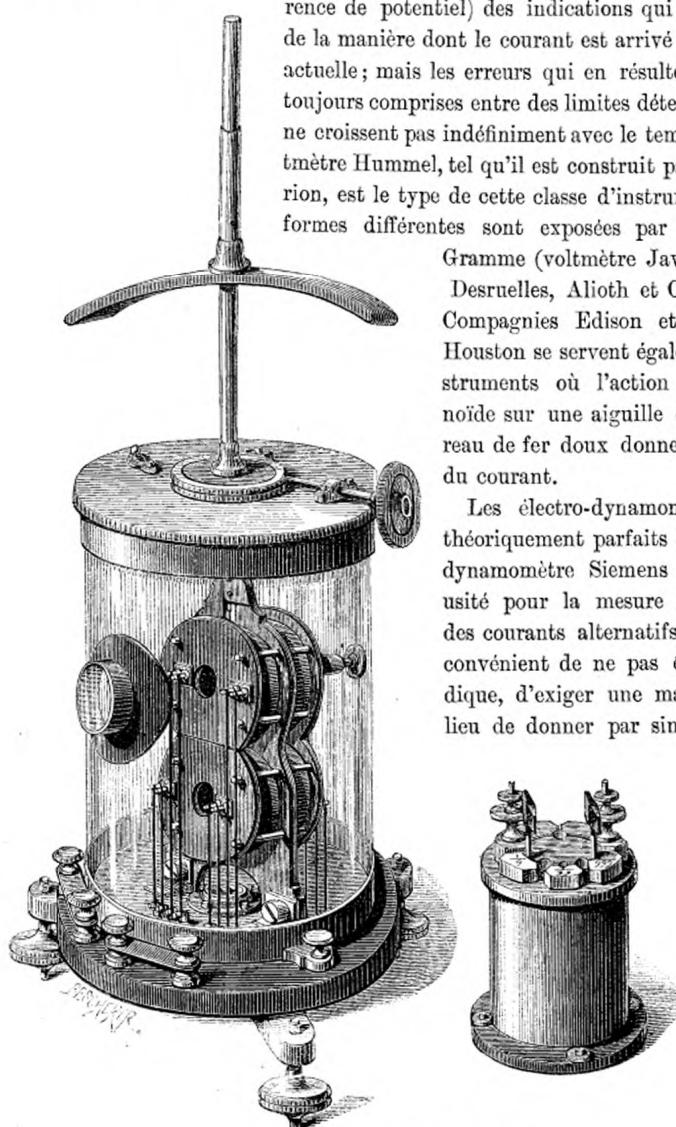


Fig. 23. — Galvanomètre Thomson.

l'indication demandée ; aussi préfère-t-on souvent des ampèremètres à fer doux en les étalonnant pour la fréquence employée, par comparaison avec le

dynamomètre. Pour les forces électromotrices élevées, les électromètres statiques sont préférés.

A côté des instruments industriels de mesure proprement dits, se rangent les appareils plus précis que doit posséder toute station centrale, tels que boîtes de résistance, étalons d'intensité ou de force électromotrice, galvanomètres sensibles. La Société continentale Edison, la maison Bréguet, par exemple, emploient des galvanomètres à cadre mobile, type Deprez-d'Arsonval, pour les mesures de courants, en mesurant la différence de potentiel en deux points séparés par une faible résistance, et les forces électromotrices en introduisant dans le circuit du cadre de fortes résistances ; la périodicité de ces instruments, la facilité de lecture que donnent les échelles translucides et leur précision relative infiniment plus grande que celle des instruments à cadrans sont des avantages très précieux.

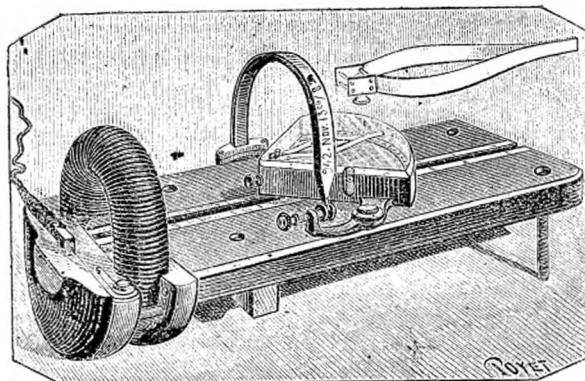


Fig. 24. — Voltmètre Bréguet.

Dans les formes les plus récentes, les aimants permanents dont on fait usage sont presque complètement fermés par le fer ; les forces magnétiques dues aux faibles courants qui traversent les appareils sont insuffisantes pour influencer leur magnétisme, et des étalonnages éloignés de plusieurs mois ne révèlent pas de changements importants. La précision que donnent ces appareils employés comme contrôle permanent des ampèremètres ou voltmètres ne saurait être considérée comme excessive et inutile pour l'industrie de l'éclairage ; la durée des lampes est profondément affectée par de faibles différences de force électromotrice, d'une part, et la précision de beaucoup de voltmètres industriels est, d'autre part, inférieure à ce qu'indique à l'œil l'éclat des lampes à incandescence.

M. Crompton se sert, dans le même but, d'un potentiomètre, basé sur la valeur de l'élément étalon Latimer-Clark, et renfermé tout entier dans une boîte portative ; la précision atteinte est du même ordre qu'avec le dispositif signalé ci-dessus.

APPAREILS A AIMANT PERMANENT

Les appareils à aimant permanent, et dans lesquels l'aiguille indicatrice est portée par une aiguille aimantée, dirigée par l'aimant et un cadre fixe parcouru par le courant, se présentaient sous deux formes. Dans les appareils de MM. Ayrton de Perry, construits en Angleterre, par MM. Latimer-Clark, Muirhead and C°, ou par MM. Patterson et Cooper, l'aimant permanent en fer à cheval reste armé tant que l'appareil n'est pas en service ; l'aiguille, mobile dans un plan horizontal, est actionnée par le courant passant dans les deux bobines placées en avant et en arrière de l'aiguille.

La garniture des bobines est constituée par dix fils isolés les uns des autres et câblés ; les dix circuits ainsi formés arrivent aux lames d'un commutateur placé sur l'appareil et qui permet de les coupler, soit en quantité, soit en série ; cette disposition est appliquée aux voltmètres et aux ampèremètres.

Dans les appareils dits à *arête de poisson*, de M. Marcel Deprez, une lame découpée de fer doux est mobile autour d'un axe parallèle aux branches horizontales d'un aimant en fer à cheval ; le cadre galvanométrique rectangulaire enveloppe cette lame dont les déviations peuvent être amplifiées par une cordelette et deux pouilles.

M. Carpentier lui donne une forme plus robuste ; l'appareil est renfermé dans une boîte circulaire, dans laquelle sont logés deux aimants recourbés, dont les pôles de même nom sont voisins ; le cadre galvanométrique logé dans l'espace resté libre au centre est incliné à 45 degrés sur la direction du champ de ces aimants ; en son centre se trouve l'aiguille. Il résulte de cette disposition que des courants égaux et de signe contraire donnent des déviations très différentes ; aussi, faut-il avoir soin que le courant entre toujours par le bouton placé à gauche de l'observateur. Les appareils de ce type, ampèremètres et voltmètres, sont très répandus en France, pour les mesures d'atelier proprement dites.

APPAREILS A CADRE MOBILE

Le type le plus répandu est le galvanomètre Deprez-d'Arsonval, construit par M. Carpentier ; le cadre, très léger, est suspendu verticalement entre les deux branches d'un aimant en fer à cheval, au moyen de deux fils métalliques reliés, l'un au-dessus, l'autre au-dessous du cadre, et qui servent à y amener le courant,

les deux autres extrémités de ces fils sont respectivement fixées à deux points d'attache, de telle façon que l'équipage tourne autour de la ligne formée par ces deux fils placés dans le prolongement l'un de l'autre. La torsion de ces fils fait équilibre à l'action du champ sur le cadre mobile. Le champ magnétique est renforcé par la présence d'un cylindre de fer doux placé à l'intérieur du cadre et autour duquel celui-ci oscille.

Les lectures des déviations se font par la méthode du miroir ; M. Carpentier les a facilitées par l'adoption d'une échelle transparente en celluloid, sur laquelle se projette l'image d'un fil éclairé par réflexion ou par une petite lampe ; le fil, l'échelle et l'appareil éclaireur sont portés par le même pied.

M. d'Arsonval emploie un procédé qui se rapproche de celui de Poggendorff et permet la lecture de déviations à moins de dix secondes ; l'échelle transparente est divisée en vingtîèmes de millimètre ; les rayons lumineux qui la traversent passent à travers une lentille convergente, tombent sur un miroir concave (c'est un miroir dont la face postérieure est argentée), porté par le cadre et l'image est observée avec un oculaire grossissant.

En employant comme cadre galvanométrique un cadre métallique dont les deux moitiés symétriques sont formées de deux métaux différents, et suspendu à un fil de cocon, on réunit dans un même appareil, la pile thermo-électrique et le galvanomètre ; cette disposition est utile pour l'étude de la chaleur rayonnante.

M. E. Gérard, de Liège, construit un galvanomètre de ce type, monté en différentiel, dans lequel on peut faire varier la position des masses polaires appliquées sur le fer à cheval ; la suspension est faite par un ressort à boudin en bronze phosphoreux.

M. de Branville exposait également des galvanomètres de ce type, avec deux aimants en fer à cheval, à pôles opposés, produisant le champ directeur, et des galvanomètres d'aimant mobile, du type Wiedemann.

Le galvanomètre Deprez-d'Arsonval peut être employé à la mesure des décharges, comme galvanomètre balistique ; M. Carpentier en construit dans lesquels la durée de l'oscillation atteint 7 secondes.

APPAREILS SANS AIMANT PERMANENT

Ampèremètre et voltmètre Hummel horizontal. -- Dans l'intérieur d'un solénoïde est placée une lame de fer doux, parallèle à l'axe, mobile autour d'un axe parallèle à celui du solénoïde et équilibrée par un contrepoids, la lame est pliée, soit en arc de cercle, soit en développante, et est excessivement légère ; elle est pratiquement saturée dans les champs magnétiques produits à l'intérieur du solénoïde et son aimantation n'éprouve que de faibles variations.

Dans les voltmètres construits par M. Fabius Henrion, cette lame, épaisse de $\frac{6}{100}$ de millimètre, ne pèse que 34 centigrammes et l'aiguille, 66 ; les divisions sont très inégales et sont particulièrement écartées pour les différences de potentiel voisines de la différence normale à entretenir entre les conducteurs principaux de la distribution d'éclairage, applications en vue desquelles ils sont spécialement construits. La quantité de fil est suffisante pour que le voltmètre puisse rester constamment en circuit sans échauffement susceptible de faire varier sa constante.

Dans les ampèremètres et voltmètres construits par la Société des téléphones de Zurich, la lame de fer doux qui porte l'aiguille indicatrice est en forme de crochet et tourne autour d'une de ses extrémités ; l'autre extrémité, qui seule pénètre dans le solénoïde, est effilée et percée de trous pour diminuer l'influence du retard d'aimantation et donner une graduation sensiblement équidistante aux environs du potentiel ou du courant normal.

Une forme recourbée de fer doux est aussi employée par M. Alioth ; ses instruments ne sont pas construits pour rester en circuit ; un bouton latéral doit être poussé à chaque lecture.

Dans ces appareils, la force antagoniste qui dirige l'aiguille est la pesanteur tandis que dans les appareils Ayrton et Perry, exposés par MM. Patterson et Cooper, le courant à mesurer excite un électro-aimant, dont l'action est contrariée par un ressort ; entre autres, cette exposition renfermait un ampèremètre pour 1 500 ampères, consistant en une tige de cuivre de 0^m,38, pour le passage du courant, entourée d'un anneau de fer doux, interrompu sur une petite longueur et dans cette interruption se meut le petit barreau portant l'aiguille.

Dans les ampèremètres et voltmètres, de MM. Richard frères, un électro-aimant à deux bobines agit sur une double palette de fer doux montée sur un arbre parallèle à celui des bobines. La surface de cette palette est gauche ; elle

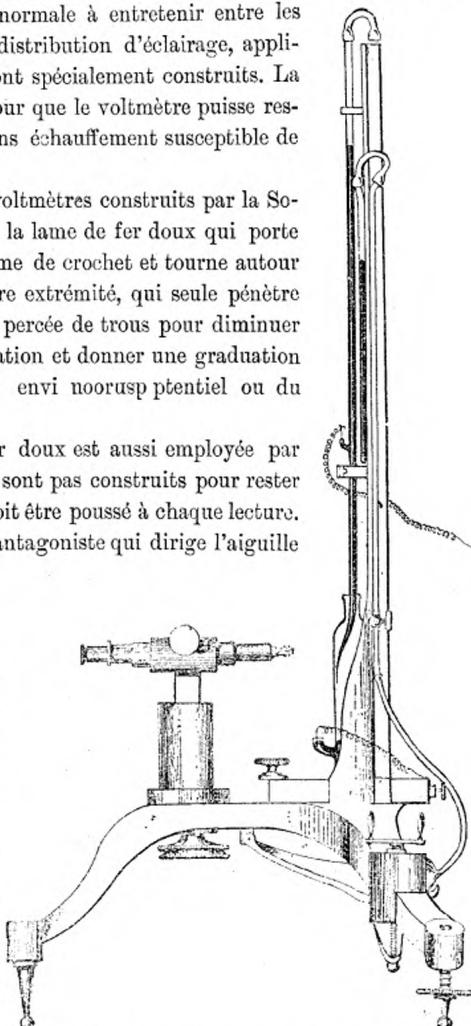


Fig. 25. — Electromètre capillaire de M. Lippman.

tend donc à tourner sous l'influence du magnétisme des noyaux ; dans les voltmètres, le fil est en maillechort et la section suffisante pour que l'échauffement et l'augmentation de résistance qui en résultent soient négligeables ; ils peuvent rester en circuit. La palette est sollicitée par un couple assez énergique pour entraîner la plume que MM. Richard emploient dans leurs appareils enregistreurs bien connus.

Les compteurs des mêmes constructeurs se composent de plateaux ayant une vitesse uniforme de rotation sur lesquels se déplace une roulette ; le déplacement de la roulette est produit par un véritable servo-moteur électrique ou relais qui déplace cette roulette dès que sa position ne correspond plus à celle de l'aiguille de l'ampèremètre (ou du wattmètre) qui n'a d'autre office à remplir que la fermeture des circuits du servo-moteur.

La masse du fer est assez considérable dans ces appareils et le retard à l'aimantation ne permet pas à l'aiguille de suivre avec rigueur les variations du courant ; elle est moindre dans le voltmètre Javaux, où deux petits barreaux parallèles à l'axe de la bobine où passe le courant à mesurer repoussent une palette double, montée sur l'axe de la bobine, portant l'aiguille indicatrice et un léger contrepoids. Dans les appareils Desruelles, c'est une lame de fer doux qui repousse une palette de forme spéciale calculée de manière à produire des déviations à peu près proportionnelles aux intensités.

L'enregistreur de la *Société Alsacienne* se compose d'un rouleau de papier télégraphique et de deux électro-aimants : l'un supérieur mesure la tension, l'autre inférieur produit le déplacement du papier. L'armature du premier, sollicitée par un ressort antagoniste, prend une position d'équilibre réglée par la tension à mesurer, elle porte un perforateur. L'armature de l'électro inférieur porte un cliquet agissant sur les galets entre lesquels se déroule la bande de papier. Une pendule commande l'appareil ; lorsque le courant passe, le papier est déplacé, l'armature de l'électro supérieur prend sa position d'équilibre ; le courant cesse ensuite de passer dans l'électro inférieur dont l'armature en retombant soulève un bloc de cuivre muni d'une rainure qui frappe le papier et l'applique sur la pointe du voltmètre.

L'ampèremètre Evershed est constitué par un solénoïde, dont l'axe est occupé par un arc pivotant sur deux rubis et portant à l'extérieur une aiguille mobile sur un cadran et un léger contrepoids ; cet axe porte un cylindre de fer de 0^m,01 de longueur et 0^m,003 de diamètre qui lui est parallèle et dans le même plan vertical quand aucun courant ne passe. Deux blocs de fer doux, de 0^m,01 de longueur et 0^m,005 de largeur, sont fixés à l'intérieur du solénoïde, transversalement à celui-ci, sur un cylindre de cuivre évidé, au-dessous de l'axe, et de part et d'autre du cylindre de fer doux ; cet instrument servait à la mesure des courants alternatifs de la machine Ferranti.

APPAREILS SANS FER

Les electro-dynamomètres étaient représentés par un modèle de M. Carpentier, qui diffère de l'électro-dynamomètre type de Siemens, parce que le ressort y est remplacé par un fil de torsion pincé à ses deux bouts (modèles de 40 à 100 amères) et par la série des électromètres « balance » de sir William Thomson, construits par la maison Elliot frères ; ces derniers instruments, d'une très haute précision, sont difficiles à employer sur les courants toujours un peu variables des machines et paraissent plutôt destinés à l'étallonnage d'appareils plus grossiers.

L'ampèremètre étalon de M. Pellat est également une balance électro-dynamométrique, où la bobine fixe, à axe horizontal, agit sur une bobine fixe à axe vertical, suspendue à l'extrémité d'un fléau de balance ; l'action est équilibrée par des poids qu'on place dans un plateau suspendu à l'autre extrémité : cet appareil, encore plus délicat que les balances de sir William Thomson, est tout indiqué pour vérifier un élément étalon de force électromotrice.

Les voltmètres électrostatiques industriels sont dérivés de l'électromètre de sir William Thomson ; ce savant a même créé une forme industrielle où l'aiguille, montée sur pivot, est formée de deux quadrants opposés et se meut en face de deux quadrants fixes ; elle portent un contrepoids, et sa déviation indique la différence de potentiel ; le même appareil peut servir pour des forces différentes, en changeant le contrepoids ; à déviation égale, les différences de potentiel sont proportionnelles aux racines carrées de ces poids. L'instrument n'est pas apériodique, M. Carpentier lui a donné cette qualité en remplaçant l'aiguille par deux quarts de cylindre à axe vertical qui se meuvent en face d'un cylindre en acier, divisé en quatre parties qu'on utilise, comme les quadrants de l'appareil Thomson, par la méthode de M. Joubert qui consiste à charger l'aiguille et une des paires de quadrants au même potentiel ; l'acier est aimanté, ce qui détermine l'apériodicité. M. Crompton se servait de cet instrument dans son éclairage par lampes en série à 1 300 volts.

Le capitaine Cardew a le premier réalisé un voltmètre industriel fondé sur les effets calorifiques des courants ; son appareil se compose d'un fil de très petit diamètre (4 à 6 centièmes de millimètre) aux extrémités duquel est appliquée la différence de potentiel à mesurer ; la dilatation du fil est amplifiée et mesurée.

Le même principe a été appliqué par MM. Ayrton et Perry à la construction de voltmètres pour des différences de potentiel de quelques volts seulement, appareils dans lesquels ils emploient un ressort, dit *amplificateur*, en spirale, dont une extrémité, suspendue par un fil fin, porte l'aiguille qui se déplace sur un cadran divisé, tandis que l'autre appuie sur un fil fin parcouru par le courant et tendu entre deux bornes. Ce fil est protégé par un fil fusible, sur lequel est re-

portée toute la différence de potentiel dès que l'échauffement et, par suite, la flèche du fil fin dépassent une grandeur fixée à l'avance par l'établissement d'un contact qui met ce fil fin en court circuit. Les bornes sont portées par un tube entourant le fil et de même métal, de manière à éviter les perturbations causées par les changements de la température ambiante.

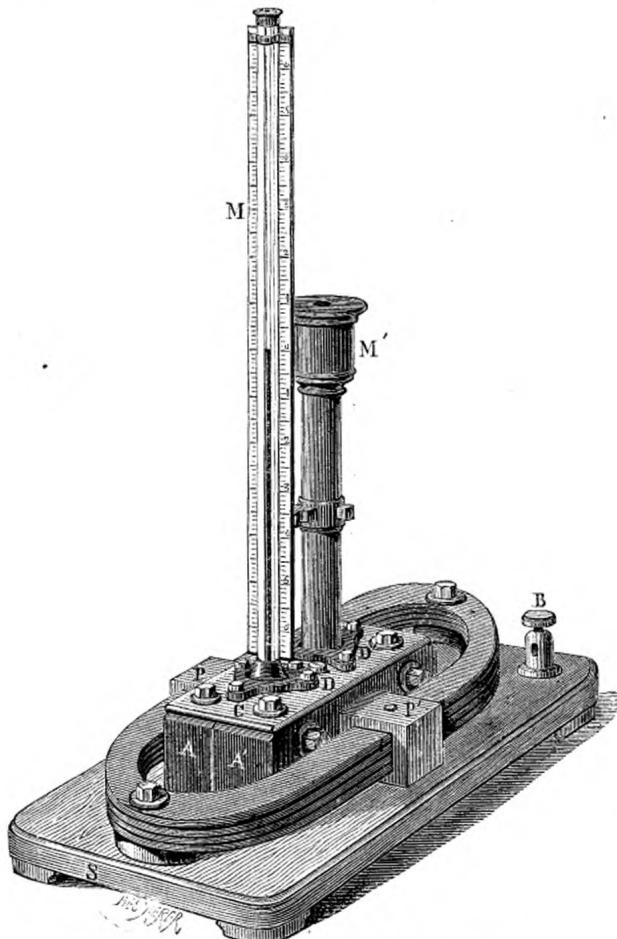


Fig. 26. — Galvanomètre à mercure de M. Lippmann.

En dehors de ces appareils, les maisons Elliott frères, Clark et Muirhead, et Carpentier exposaient des boîtes de résistance, soit seules, soit montées en pont de Wheatstone, des condensateurs, clefs de décharge, galvanomètres

astatiques de sir William Thomson, et les appareils accessoires nécessaires pour les mesures de résistance, d'isolation, de capacité, construits avec grand soin, et des étalons d'une haute précision appropriés aux recherches scientifiques les plus délicates et appréciées dans le monde entier. D'autres exposants, parmi lesquels MM. GaiFFE, Desruelles et Chauvain, Mandroux, s'étaient surtout proposés de construire des appareils peu coûteux, d'une précision suffisante, et groupés de la manière la plus simple et sous le plus petit volume. M. Crompton emploie un potentiomètre très portatif pour l'étalonnage des voltmètres industriels. L'exposition de l'Administration des postes et télégraphes renfermait également un certain nombre d'appareils destinés aux mesures et vérification usuelles, parmi lesquels on citera la disposition du pont de MM. Bayol et Dériés pour l'application de la méthode de Mance à la localisation des défauts dans les câbles. Pour passer rapidement d'une valeur des branches de proportion de la résistance fixe à une autre, tout en conservant le même rapport à ces branches, le déplacement d'une seule cheville suffit. En face d'une barre de cuivre, en rapport avec l'un des pôles de la pile, sont des plots; chacun d'eux est réuni aux deux extrémités de la diagonale où se trouve le galvanomètre par deux résistances dont le rapport est le même pour les divers plots; les valeurs absolues différant d'un plot à l'autre, en enfonçant des chevilles entre les divers plots et la barre, on change la valeur des branches sans changer leur rapport.

MESURE DES CHAMPS MAGNÉTIQUES

L'inductomètre Miot est destiné à la mesure des champs magnétiques industriels; c'est une adaptation du galvanomètre Lippmann; il se compose de deux parties: l'une, manométrique, est formée de trois tubes verticaux portés sur une planchette et communiquant entre eux à la partie supérieure; ils portent chacun vers leur extrémité inférieure un renflement sphérique destiné à recevoir du mercure; une tubulure portée par les ampoules des deux tubes latéraux sert à l'amenée et à la sortie du courant; dans le tube du milieu, le mercure est surmonté d'un liquide léger, de l'alcool par exemple; trois tubes de caoutchouc réunissent ces tubes par leur partie inférieure à l'autre partie de l'appareil ou explorateur proprement dit; celui-ci est formé de trois tubes de verre à section très aplatie, réunis à leur partie inférieure par un autre tube également aplati. On sait que si l'on remplit de mercure cet explorateur ainsi que les tubes de caoutchouc qui le font communiquer au manomètre décrit plus haut et qu'on place l'instrument dans un champ magnétique uniforme, le passage d'un courant à travers le mercure déterminera une élévation de la colonne d'alcool proportionnelle à l'intensité du courant et à la valeur du champ.

Pour graduer l'instrument, on le place dans un champ uniforme; on fait passer un courant dans le mercure de l'appareil et dans un fil horizontal de lon-

gueur l suspendu dans le même champ au fléau d'une balance ; on observe la force F qui sollicite ce fil, la hauteur h à laquelle le liquide est soulevé ; le rapport de F à l est le produit de l'intensité i du courant par la force H du champ, on a donc la valeur de la constante de l'appareil ou rapport de la hauteur h au produit iH , et on s'en servira pour mesurer un champ magnétique en le faisant traverser par un courant d'intensité connue. La forme aplatie donnée aux tubes de l'explorateur permet de l'introduire dans des espaces très étroits ; dans un des modèles de M. Miot, leur épaisseur est de 8 dixièmes de millimètre ; il peut supporter un courant de 2 ampères et accuse un champ de 400 unités ; un autre modèle, plus sensible, a une épaisseur de 0^m,002 à 0^m,003 et supporte normalement un courant de 4 ampères ; dans ces conditions la dénivellation est de 0^m,001 par 100 unités magnétiques (C. G. S.).

IV. — Réglage des machines.

Les régulateurs sont des organes nécessaires des distributions en série, telles qu'elles sont en usage en Amérique ; ils ont pour but de rendre l'intensité dans le circuit constante, quelles que soient les variations de vitesse du moteur et les variations du nombre de lampes allumées ; en Europe on s'est peut-être attaché davantage à rendre constante la vitesse des moteurs, au moins dans toutes les installations importantes, et les régulateurs ne sont guère employés que dans les usines où le moteur, non spécialement consacré à l'éclairage, peut subir des variations brusques ; beaucoup de constructeurs supposent qu'avec une vitesse régulière et un enroulement mixte, un régulateur est inutile, et que, pour les stations centrales, rien ne peut remplacer le réglage à la main d'une résistance variable introduite dans le circuit d'excitation qui est alors simplement en dérivation.

Néanmoins, un grand nombre de régulateurs automatiques ont été construits ; ils agissent soit sur la vitesse du moteur (Parsons), soit sur la résistance de réglage (distribution par dérivation en Europe), soit sur le calage des balais (distribution en série Thomson-Houston, Sperry) de la machine elle-même, ou de son excitatrice (Heissler). Comme dans les lampes, le régulateur doit être à la fois puissant et énergiquement amorti pour éviter l'établissement d'un régime périodique et oscillatoire de l'élément (intensité ou potentiel) que l'on veut régulariser.

La dynamo Parsons, actionnée par le turbo-moteur du même inventeur⁽¹⁾, a un régulateur du potentiel agissant sur la valve d'admission de la vapeur. Un ven-

1. Voir la 6^e partie de la *Revue technique*.

tilateur est fixé sur l'arbre du moteur et tourne avec lui; ce ventilateur ou pompe à air fait le vide dans un soufflet en cuir épais, et, grâce à l'énorme vitesse de la machine, peut y produire des dépression notables, jusqu'à 0^m,30 d'eau pour une vitesse de 9 000 tours. L'intérieur du soufflet est mis en communication avec l'atmosphère en temps normal, mais dès que le tuyau qui y amène l'air est partiellement obstrué, une succion énergique s'exerce à son intérieur; il se contracte sous l'influence de la pression atmosphérique, et entraîne l'extrémité du levier qui commande la valve d'admission. Le tuyau de l'arrivée de l'air dans le soufflet débouche au sommet de la culasse des électro-aimants inducteurs: l'ouverture de son orifice est réglée par la position d'une pièce de fer doux. Celle-ci est mobile autour d'un axe vertical, et est sollicitée, d'une part, par un ressort antagoniste, de l'autre, par le magnétisme des inducteurs, qui tend à l'orienter suivant le plan des deux branches du fer à cheval; en effet, la culasse est taillée suivant un plan horizontal que la palette de fer doux rase dans son mouvement. La position d'équilibre de cette palette, et par suite le vide produit dans le soufflet, dépend donc de l'excitation, et l'admission de la vapeur est réduite dès que la force électromotrice de la machine (qui est excitée en dérivation) s'élève au-dessus de la normale.

La Société pour la transmission de la force exposait une disposition de M. Marcel Deprez, servant à la fois de dynamomètre et d'organe de réglage des balais.

Le système inducteur tout entier est relié à un double balancier en acier, centré sur la tête du palier de l'arbre de rotation, et appuyé sur le secteur d'un couteau; les extrémités de ce balancier portent sur quatre ressorts (semblables aux ressorts dits *de choc et de traction des chemins de fer*); l'inclinaison du balancier est proportionnelle au couple appliqué au système inducteur, et résultant de l'action du courant induit sur les masses magnétiques des inducteurs; la valeur de ce couple à chaque instant est donc facile à connaître.

Un système enregistreur permet en outre de connaître le travail correspondant; à cet effet, une roulette est entraînée par un plateau qui reçoit son mouvement de l'axe de la machine par une vis sans fin; la distance du point de contact de la roulette au centre du plateau est réglée par l'inclinaison du balancier et lui est proportionnelle; la vitesse angulaire de la roulette est proportionnelle à la puissance, et son déplacement total, mesuré par un compteur de tours, au travail pendant un temps donné.

M. Marcel Deprez a profité de ce que ce couple est, comme le calage des balais, fonction de l'intensité du courant induit, pour faire régler par le balancier la position du porte-balais par l'intermédiaire de secteurs dentés, dont la forme est à déterminer expérimentalement.

L'organe essentiel du régulateur Clerc est une bobine agissant sur un tube de fer doux, attaché à un fléau de balance, dont l'autre côté porte un contrepoids réglable ; sur le fléau sont fixées deux pointes platinées ; suivant que le fléau est incliné dans un sens ou dans l'autre, ces pointes, en plongeant dans des cuves à mercure, ferment le circuit dans l'une ou l'autre de deux bobines à grande résistance formant relais. Quand le courant passe dans une de ces bobines, il attire une palette fermant le circuit d'une grosse bobine sur deux charbons, ce genre de contact n'étant pas altéré par les étincelles.

Ces deux grosses bobines sont placées sur le prolongement l'une de l'autre et actionnent un noyau de fer doux placé suivant leur axe ; c'est ce noyau soumis à des efforts considérables (25 kilogrammes) qui entraîne les porte-balais glissant sur les touches du rhéostat qui règle le fonctionnement de la dynamo, par l'intermédiaire d'un échappement.

Le porte-balais actionne par engrenages une roue à quatre ailettes ; ces ailettes à chaque quart de tour, viennent frapper sur un butoir qui les arrête ; ce contact fait passer un courant dans un électro-aimant, et le mouvement de l'armature dégage l'aillette ; le porte-balais continue sa course pendant un quart de tour et s'arrête de nouveau.

Comme appareil de sûreté, une sonnerie est mise en activité dès que le déplacement du noyau atteint certaines limites.

Le balai à grande surface est formé d'anneaux de fil souple réunis par une gaine commune.

Ce régulateur fonctionne à la station centrale du faubourg Montmartre.

Beau et Bertrand-Taillet. — Une partie du fil dérivé dans lequel passe l'excitation de la dynamo est enroulé autour d'un électro-aimant en fer à cheval, dont les pôles sont des pièces rectangulaires très allongées, perpendiculairement aux branches et au champ magnétique. Des armatures, au nombre de 20, sont fixées sur l'une des pièces polaires ; leurs autres extrémités sont maintenues en regard de l'autre pièce polaire par autant de ressorts et de contrepoids antagonistes ; un rhéostat est disposé en dessous, de telle sorte que quand une armature cède à l'attraction de l'électro, il introduit une des résistances du rhéostat dans le circuit. Les contrepoids sont réglés approximativement de manière à être attirés quand la différence du potentiel aux bornes est à la différence normale.

Lorsque celle-ci croît, par un changement de vitesse par exemple, les résistances sont introduites successivement dans le circuit, l'égalité absolue d'action sur les armatures n'étant ni possible à atteindre, ni même recherchée ; il est clair que la résistance en dehors du rhéostat doit être réglable, de manière qu'à la vitesse moyenne, et à la différence moyenne de potentiel, la moitié des armatures soit attirées.

Société Suisse de construction de locomotives, à Winterthur. — Un solénoïde monté en dérivation sur les bornes de la machine attire un noyau de fer doux suspendu à un fléau de balance, et équilibré par un vase rempli de mercure; d'autre part, un rhéostat en maillechort est intercalé dans le circuit inducteur; les extrémités des résistances qui le constituent sont en relation avec autant de pointes fixes placées au-dessus du mercure, mais de longueurs différentes; à mesure que la tension diminue aux bornes, un nombre croissant de ces pointes plonge dans le mercure, et les résistances sont mises successivement en court circuit.

Le même principe est employé par la Société alsacienne de construction mécaniques; le noyau de fer a une section variable calculée de manière à produire une attraction sensiblement constante, quelle que soit sa position dans le solénoïde, ce qui est important pour que le réglage se fasse réellement à potentiel constant.

Dans les deux appareils, un amortisseur à glycérine modère les mouvements du vase à mercure.

L'introduction plus ou moins rapide des tiges dans le vase à mercure change l'action de la gravité sur le mercure, et détruit l'équilibre qu'on a cherché à établir entre l'attraction normale du fer dans le solénoïde et le poids du vase de l'autre; pour compenser cette augmentation apparente de poids, la maison Alioth a proposé la disposition suivante: l'un des bras de levier qui guident le fer doux a son arête supérieure profilée de telle sorte qu'un contrepoids à roulette porté par elle s'y déplace horizontalement quand le fer se déplace verticalement; le profil est calculé de manière que ce déplacement horizontal équilibre la variation de poids.

Le professeur E. Thomson avait exposé un régulateur du même type.

L'armature d'un électro-aimant actionné par le courant est équilibrée par un contrepoids; elle est reliée à une tige horizontale, portant un certain nombre de tiges verticales de longueurs décroissantes qui viennent successivement plonger dans un nombre égal de godets à mercure, et mettent ainsi en court circuit les diverses résistances d'un rhéostat, à mesure que l'attraction diminue.

Dans le régulateur d'Erlikon, le contact mobile est porté par une vis sans fin terminée par un disque à chaque extrémité; de chaque côté de cette vis et dans son prolongement sont deux arbres, recevant par une poulie leur mouvement de la dynamo, portant chacun une bobine et marchant en sens contraire; l'électro-aimant régulateur, monté en dérivation sur les balais, fonctionne comme un relais, et envoie un courant dérivé dans la bobine de gauche ou dans celle de droite, suivant que la différence de potentiel est supérieure ou inférieure à la tension normale; la vis sans fin est alors entraînée dans un sens ou dans l'autre par l'adhérence de l'un des disques sur le noyau de la bobine qui se trouve excitée.

Le régulateur automatique de la Société des téléphones de Zurich est analogue. L'axe du rhéostat porte un bouton molleté actionné par une vis sans fin, dont l'axe porte un galet compris entre deux poulies de friction recevant leur mouvement de la dynamo; ce galet est appuyé sur l'une ou l'autre poulie par l'action de deux électro-aimants; le courant est envoyé dans l'un ou l'autre de ces électros par un relais qui consiste en un barreau de fer suspendu par des cordes, et formant le noyau d'un solénoïde en dérivation sur les bornes; la pesanteur fait fonction de ressort antagoniste.

Les régulateurs de tension de M. Thury sont de deux types. Dans le premier, un axe horizontal porte à l'une de ses extrémités une poulie commandée par l'arbre de la dynamo ou de son moteur, deux cônes de friction en son milieu et se termine par un disque qui est attiré à droite ou à gauche, suivant que la tension est supérieure ou inférieure à sa valeur normale; par conséquent, l'un des deux cônes entraîne une poulie horizontale commandant par une vis sans fin une roue dentée montée sur l'axe de la manette du rhéostat. Le disque est placé entre les pôles de deux électro-aimants qui déterminent son mouvement.

La modération ou l'amortissement du régulateur est l'objet d'une disposition spéciale. L'axe de la manette porte une seconde roue dentée engrenant sur une crémaillère reliée à un levier qui porte le contact destiné à envoyer le courant dans l'un ou l'autre des électro-aimants; il en résulte que lorsqu'un de ces électro-aimants agit, il interrompt par là même le courant qui l'a excité et que le mouvement de la manette se fait *step by step*, ou pas à pas, sans que celle-ci puisse dépasser la position convenable pour le réglage.

Dans le second type, le mouvement de la manette est déterminé par un petit moteur; lorsque le contact mobile porté par l'électro-régulateur bute sur l'un ou l'autre des contacts fixes, ce courant, toujours de même sens dans les inducteurs du petit moteur, change de sens dans l'induit; à cet effet, celui-ci prend le courant d'une part sur le milieu d'une dérivation prise aux extrémités des inducteurs, et, de l'autre, sur le contact mobile, c'est-à-dire sur l'une ou l'autre extrémité du circuit des inducteurs, qui sont eux-mêmes en dérivation sur l'électro-régulateur.

Régulateur Henrion. — Un levier reçoit, par l'intermédiaire d'une poulie commandée par la machine et d'un excentrique, un mouvement oscillatoire; son extrémité supporte un double cliquet en fer. Deux roues à rochet, solidaires l'une de l'autre et dont les dents sont taillées en sens inverse, sont portées par l'axe de la manette du rhéostat et peuvent être actionnées par le double cliquet lorsque celui-ci est dérangé de la position qu'il prend naturellement sous l'influence de la pesanteur. Au-dessus du cliquet sont deux électro-aimants; si l'un de ceux-ci est excité, il attire la branche correspondante du cliquet, la soulève

et, par suite, abaisse l'autre, qui peut alors engrerer sur la roue à rochet correspondante et entraîner l'axe du rhéostat. Pour que l'appareil règle la différence de potentiel, il suffira donc de disposer l'électro-aimant régulateur de manière à exciter l'un ou l'autre électro, suivant que cette différence est plus grande ou plus faible que la différence normale.

Sur un principe identique, avec un électro-aimant en série et en agissant sur le porte-balai, M. Henrion construit un régulateur d'intensité qu'il utilise pour l'éclairage par ares en série.

Le régulateur Dujardin se compose de deux parties : un électro-régulateur dont l'armature, suivant qu'elle obéit à l'action de l'électro ou à celle du ressort antagoniste, envoie le courant dans l'un ou l'autre de deux électro-aimants agissant chacun à la manière d'un trembleur sur une roue à rochet ; ces deux roues, qui ont leurs dents entaillées en sens contraire, sont montées sur l'axe dont la rotation détermine l'introduction ou la suppression des résistances de réglage. La taille des dents du rochet et celle du cliquet sont combinées de telle sorte que le cliquet n'entraîne la roue que vers la fin de la course de l'armature, lorsque la force attractive est à son maximum.

M. Maquaire a appliqué à la régularisation des machines le même principe, qu'on retrouve dans ses lampes : le moteur est encore une petite dynamo marchant dans un sens ou dans l'autre, suivant que l'armature d'un électro-aimant porte sur l'une ou l'autre des butées qui limitent sa course.

Les machines Sperry sont munies d'un régulateur d'intensité. Ce sont des machines en série, et l'organe principal est une palette de fer doux placée sur le côté de la machine et dont la position, réglée par l'attraction qu'elle subit de la part des inducteurs, dépend par conséquent de l'intensité du courant. Un petit chariot reçoit, par un excentrique qui prend son mouvement sur l'arbre de la dynamo, un mouvement permanent de va-et-vient ; il porte deux cliquets réunis par une tige articulée. Suivant la position donnée à la tige articulée, l'un ou l'autre cliquet mord sur une crémaillère reliée au porte-balais et fait marcher les balais dans un sens ou dans l'autre (ceci est déjà ancien et se trouve dans le régulateur Hochhausen, par exemple). La tige articulée est liée à la palette de fer doux, de sorte que les balais sont déplacés jusqu'à ce que l'intensité soit l'intensité normale. D'après M. Sperry, ce réglage permettrait d'éteindre 50 % des lampes (en série) du circuit sans que l'intensité varie. Par suite de la déformation du champ magnétique, quand la position des balais a été par trop altérée, l'attraction sur la palette ne serait plus la même pour la même intensité et l'appareil ne réglerait plus lorsqu'on éteint un plus grand nombre de lampes. Pour parer à cet inconvénient, la crémaillère porte une came agissant sur un levier dont le déplacement fait tendre un ressort qui ajoute son action à l'action

magnétique qui s'exerce sur la palette; cette came n'entre en jeu que lorsque les balais sont très éloignés de la ligne neutre. Si le déplacement des balais et les modifications ainsi apportées dans le champ magnétique sont une cause de troubles, il semble qu'on les éviterait en actionnant le régulateur par un électro-aimant ordinaire placé dans le circuit.

La machine à courants alternatifs employée par M. Heisler est semblable à la machine Gramme dite *auto-excitatrice*; les électro-aimants inducteurs forment un pignon mobile à l'intérieur du cylindre formé par la juxtaposition des bobines induites, et l'axe de ce pignon porte un ventilateur et une petite machine Gramme à courant continu. La machine exposée alimentait, à la vitesse de 600 tours, deux circuits induits distincts, laissant passer chacun 5 ampères avec une force électromotrice de 1,750 volts. Les électro-aimants sont au nombre de 16, et chacun des deux circuits induits comporte le même nombre de bobines. L'excitatrice est enroulée en série, mais à 4 pôles et d'une force électromotrice de 75 volts, de sorte que ses balais, seule partie de la machine saillante à l'extérieur d'une enveloppe générale en fer, peuvent être maniés sans inconveniit. Le rendement commercial de la machine est annoncé de 70 %.

Le régulateur d'intensité est la partie originale de la machine; il se compose de deux organes: l'un simple, agit sur les balais de l'excitatrice pour en modifier le calage; le second, double, introduit des résistances variables dans les deux circuits alimentés par la machine.

L'axe de chaque rhéostat porte une roue dentée; d'autre part, deux doigts sont placés aux extrémités d'un diamètre et reçoivent un mouvement de va-et-vient de l'arbre même de la dynamo; l'armature d'un électro-aimant parcouru par le courant principal fait agir l'un ou l'autre des doigts suivant que le courant a une intensité plus forte ou plus faible que l'intensité normale; un second mécanisme fait tourner le porte-balais dans le sens d'une diminution de force électromotrice, tant que l'un des deux rhéostats n'est pas en court circuit, ou en sens inverse quand ce court circuit a lieu. En marche normale, le rhéostat qui correspond au circuit le plus chargé est en court circuit; on s'efforce, par une installation judicieuse, de rendre les charges des deux circuits aussi égales que possible.

RÉGLAGE A LA MAIN EDISON

L'appareil régulateur est un pont de Wheatstone dont une branche est constituée par une lampe, tandis qu'une autre branche contient une résistance variable (fil de mallechort enroulé en hélice et dont une longueur variable est introduite dans le circuit par le déplacement d'un contact parallèlement à l'axe de l'hélice). Une des diagonales contient le galvanomètre, dont l'aiguille entraîne

avec elle une bande de papier portant une tache noire qui se trouve en face d'un index fixe quand l'aiguille est dans sa position d'équilibre. Tout le système est protégé contre les actions magnétiques extérieures par une enveloppe de fer, comme dans le galvanomètre marin de sir W. Thomson. Les extrémités de l'autre diagonale sont reliées aux points dont la différence de potentiel doit être réglée. La résistance de la lampe étant variable avec la température du charbon et, par conséquent, avec cette différence de potentiel, la position du contact sur le rhéostat correspondant à l'équilibre du pont varie aussi avec la différence du potentiel et l'on peut placer en face de ce contact une échelle graduée en volts, indiquant la différence de potentiel pour laquelle l'équilibre est obtenu avec la position correspondante du contact. Il suffit donc de placer le contact en face de la division de l'échelle marquée 110, par exemple, puis de manœuvrer les rhéostats réglant le champ magnétique de la dynamo jusqu'à ce que l'aiguille soit revenue à sa position d'équilibre, pour obtenir 110 volts de différence entre les deux points auxquels sont reliées les bornes de l'appareil.

Pour égaliser les tensions aux différents points du réseau des conducteurs, on se sert de galvanomètres différentiels dont chaque cadre a une forte résistance. Une paire de bornes est en rapport avec les deux points dont la différence de potentiel doit être réglée, et l'autre avec les bornes de l'appareil régulateur décrit ci-dessus.

La Société alsacienne emploie comme avertisseur de tension un système de deux sonneries de hauteurs différentes ; le courant est envoyé dans l'une ou l'autre suivant que la tension est plus ou moins élevée que les limites entre lesquelles il doit rester, par un contact mobile entre deux butées et porté par l'armature d'un électro en dérivation faisant fonction de voltmètre.

ÉCLAIRAGE

V. — Lampes à arc et à incandescence.

LAMPES A ARC

Les lampes à arc sont toutes munies de mécanismes régulateurs destinés à maintenir l'écartement des charbons, malgré leur usure. Ce résultat peut être

atteint par divers procédés. Quand les lampes sont seules sur un circuit comme dans la distribution en dérivation, on cherche à régler l'intensité du courant ; l'organe régulateur est un électro-aimant en série, parcouru par le courant qui passe entre les charbons. Cet électro-aimant de réglage doit être mis en dérivation sur les charbons lorsqu'on se propose de maintenir uniforme la différence de potentiel entre ceux-ci, ce qui est nécessaire quand les lampes sont placées à la suite les unes des autres dans un même circuit, ou bien, suivant le principe introduit par Siemens, la lampe peut être différentielle, et l'on cherche alors à maintenir constant le rapport entre la différence de potentiel des charbons et l'intensité du courant ; ces dernières lampes règlent aussi bien avec l'un ou l'autre mode de distribution.

L'action de l'organe de réglage n'est réellement continue que dans les lampes Bréguet, Thury, Pilsen, Doubrava ; dans les autres il ne fonctionne que lorsque la longueur de l'arc dépasse une certaine limite ; les charbons sont alors rapprochés soit par l'action de la pesanteur ou d'un rouage d'horlogerie, soit par l'action d'un moteur électrique ; il peut arriver alors que le rapprochement des charbons soit trop prononcé ; cet inconvénient peut être évité par un amortissement énergique, ne permettant pas au charbon de prendre une vitesse appréciable, ou par une série de petits arrêts successifs dans le mouvement de descente ; malgré ces précautions, il peut être utile que le mécanisme permette un léger mouvement d'écart des charbons, au cas où ils seraient trop rapprochés (comme les lampes Gramme et Thomson-Rice), et ne leur permette pas de coller. L'amortissement, mécanique ou électrique est également nécessaire dans les lampes à action continue, pour éviter que les charbons ne prennent un mouvement oscillatoire.

Il est de plus très important, dans le cas où plusieurs lampes sont dans le même circuit, que toute lampe dont le fonctionnement est suspendu accidentellement soit mise en court circuit automatiquement (*cut-out*).

Le fonctionnement régulier ne peut être assuré que par des organes suffisamment puissants, pour vaincre les causes accidentelles de dérangement, et dont la marche absorbe nécessairement une quantité énorme d'énergie notable, qui peut s'élever à 10 % de la quantité absorbée par la lampe ; de plus beaucoup de lampes en dérivation n'ont une marche satisfaisante qu'à la condition d'intercaler dans le circuit une résistance de sorte que la force électromotrice disponible doit s'élever 65 ou 70 volts, tandis que la lampe n'en absorbe que 40 ou 50 ; cet excédent de force électromotrice s'abaisse rapidement à mesure qu'on introduit des lampes dans le même circuit ; aussi constate-t-on une tendance marquée à associer deux ou quatre lampes en série, ce qui ne demande qu'une force électromotrice de 100 ou de 200 volts. Il paraît indispensable, en effet, pour maintenir une intensité constante dans un circuit dont les extrémités ont une différence de potentiel à peu près constante, déterminée par la distribution,

andis qu'il est le siège d'une force électromotrice variable, que les variations de celles-ci ne soient qu'une fraction de la force électromotrice qui détermine le courant, c'est-à-dire de l'excès de la différence de potentiel de la distribution sur celle des charbons. Aussi non seulement la sensibilité du réglage, et l'allure de la machine, mais la nature des charbons et la longueur de l'arc ont-elles une influence marquée sur la résistance auxiliaire qui doit être introduite dans le circuit. Pour se mettre à l'abri de ces causes d'erreur, le jury, dans les quelques expériences auxquelles il a procédé, s'est servi des mêmes charbons et d'accumulateurs comme générateurs de courant. Un ampèremètre et un voltmètre enregistreurs indiquaient les variations du courant et de la différence de potentiel aux bornes de la lampe, et l'on faisait varier le nombre des accumulateurs et la résistance. Dans ces conditions, évidemment plus favorables que celles de la pratique courante, on a pu, avec quelques régulateurs, obtenir une marche satisfaisante sans résistance intercalée autre que celle des charbons et des organes de réglage.

Le jury a tenu compte, dans ses appréciations, de la délicatesse des organes, de leur sensibilité aux mouvements des lampes, de l'influence possible des poussières et de l'humidité, ainsi que des résultats fournis, pour un certain nombre d'entre elles, par leur fonctionnement même à l'Exposition.

Dans la description sommaire qui suit, sont énumérées d'abord les lampes où le poids du porte-charbon ou un ressort est le seul moteur, puis celles où le moteur est électrique. Presque tous les types sont susceptibles d'être notifiés de manière à fonctionner sur des distributions en série ou en dérivation, à avoir un point lumineux fixe, ou à pouvoir user successivement plusieurs paires de charbons. Parmi les lampes où le moteur est le poids des porte-charbons, on a décrit d'abord celles où le même électro-aimant sert à l'allumage et au réglage, puis celles où deux électro-aimants distincts ont à remplir ces fonctions. Parmi les lampes à moteur électrique on a décrit d'abord celle où l'action du moteur est continue, puis celles où il n'entre en jeu que lorsqu'un réglage est nécessaire, ou à action intermittente.

LAMPES A ÉLECTRO UNIQUE

La lampe Cance n'a pas subi de modification depuis 1881. Le poids de porte-charbons est le moteur; l'allumage et le réglage sont produits par une seule paire de solénoïdes, en série dans le circuit principal. L'équipage des porte-charbons (la lampe est à point lumineux fixe) est porté par un écrou (écrou moteur) mobile le long d'une vis centrale verticale, mobile entre deux pivots; l'équipage étant guidé, l'écrou ne peut se déplacer qu'en faisant tourner la vis; un autre écrou (dit *régulateur*) est placé plus haut sur la vis, à peu de distance au-dessus d'un plateau percé d'un trou central pour laisser passer la

vis; ce plateau repose sur les noyaux ou armatures des solénoïdes. Quand le courant est lancé dans la lampe, ces noyaux soulèvent le plateau, celui-ci soulève l'écrou supérieur dont le mouvement est transmis par la vis à l'écrou des porte-charbons; quand le courant s'abaisse au-dessous de sa valeur normale, les ressorts antagonistes font descendre le noyau et le plateau, et dès que celui-ci cesse de presser sur l'écrou supérieur, les charbons sont libres de se rapprocher sous l'action de leur poids; le frottement de la base de l'écrou supérieur sur le plateau est équivalent de frottement des sabots contre les volants des autres systèmes à électro unique.

Les noyaux des solénoïdes sont sollicités vers le bas par des ressorts antagonistes; leur mouvement vers le haut est limité par un cylindre de fer creux, placé à l'intérieur des solénoïdes et qui en occupe la partie supérieure.

Ces lampes se construisent pour des courants variant de 3 à 6 ampères, pour le petit modèle, jusqu'à 50 ampères pour les gros foyers; munies de globes opalins d'un petit diamètre, elles produisent un éclairage très uniforme; bien que le même principe puisse s'appliquer à des lampes différentielles, ces lampes sont généralement montées en dérivation sur des distributions à potentiel constant, et munies chacune de commutateur avec rheostat et coupe-circuit.

La parfaite régularité de la lumière donnée par ces lampes, munies il est vrai de résistances extérieures très notables, a été très appréciée depuis leur apparition.

La lampe Erlikon, pour montage en dérivation, est d'une grande simplicité. Le porte-charbon supérieur porte une crémaillère engrenant sur un pignon dont l'arbre porte deux roues de frein en fer. Le sabot de ce frein est l'extrémité d'une tige se déplaçant dans l'intérieur d'un puissant solénoïde parcouru par le courant de la lampe; cette tige est guidée dans un tube qui peut prendre un petit mouvement de rotation autour d'un axe horizontal placé à la partie supérieure, et dans lequel la tige peut glisser. Au repos les deux charbons sont au contact; quand le courant passe, la tige est aimantée, adhère fortement aux roues de frein qu'elle entraîne en montant, et écarte les charbons jusqu'à ce que le courant soit descendu à sa valeur normale; lorsqu'il tombe au-dessous, le poids du porte-charbon supérieur l'emporte sur le frottement et l'arc se raccourcit.

Si, par suite de rupture ou par toute autre cause, le courant s'affaiblit trop, l'extrémité de cette tige rencontre une dent oblique placée sur la plate-forme qui porte le bâti des roues de frein, et cette dent l'écarte; elle cesse de faire frein et les charbons retombent brusquement au contact. La lampe règle dans les deux sens.

Les diamètres de la tige et du tube sont assez peu différents pour que ce

tube joue le rôle d'amortisseur à air, et il n'y a aucun mouvement oscillatoire.

Le fonctionnement d'une de ces lampes, réglée pour un courant de 8 ampères, a été trouvé absolument régulier avec 50 volts aux accumulateurs, sans résistance auxiliaire ; la résistance du solénoïde intérieur était de 0,25 ohm.

Dans la lampe A. Gérard, le frein se compose de deux pièces croisées en forme de X, portant chacune deux goujons en acier qui viennent saisir le porte-charbon supérieur : ces pièces sont reliées par deux petites bielles à une entretoise, placée sous les bobines des solénoides, et qui supporte deux tiges de fer traversant les bobines, surmontées d'éponouissements qui forment armature. Ces tiges sont sollicitées vers le haut par deux ressorts antagonistes. L'extrémité supérieure du porte-charbon forme piston dans un tube central (Société anonyme d'électricité). Le même frein s'applique aux lampes différentielles et aux lampes en dérivation.

Lampes Bardon. — La lampe est à point lumineux fixe ; une corde passe dans la gorge d'une poulie montée sur un volant ; elle porte le charbon supérieur ; elle vient s'enrouler ensuite sur une seconde poulie dont la chape fait partie du cadre qui porte le charbon inférieur et vient s'attacher à l'extrémité d'un levier dit *d'allumage*. Le volant porte un frein actionné par la tige d'un solénoïde. Les charbons sont en contact quand le courant ne passe pas ; quand on ferme le circuit, le noyau du solénoïde soulève d'abord l'extrémité du levier d'allumage, puis fait agir le frein qui cale le volant dès que le courant du solénoïde dépasse le courant normal. Si le courant devient trop faible ou est coupé, le noyau lâche le frein et les charbons reviennent au contact en même temps que le levier d'allumage est ramené à sa position primitive.

En enroulant le solénoïde différentiellement, la lampe peut être montée en série, ordinairement par deux, sous 105 volts.

Dans la lampe Perrin et Masson, également à point lumineux fixe, mais sans dispositif spécial pour l'allumage, une série d'engrenages est intercalée entre la crémaillère qui porte le charbon supérieur et la roue de frein sur laquelle porte le sabot actionné par l'électro-aimant en série qui règle, tandis que dans la lampe Gobert, ce train d'engrenage est supprimé.

Dans la lampe Felter et Archat, le mouvement de descente est amorti ; le porte-charbon fait tourner un bâillet rempli de glycérine, contenant une bille de métal.

La lampe de MM. Beau et Bertrand est à point lumineux variable et construite pour marcher en dérivation. Un solénoïde unique, en série sur les char-

bons, sert à l'allumage et au réglage. Le noyau de fer ou armature mobile qui joue à son intérieur est un demi-cylindre en fer terminé par deux rondelles de laiton ; deux ressorts attachés à ces rondelles frottent légèrement contre la carcasse sur laquelle le fil est enroulé, et guident l'armature en amortissant les mouvements trop brusques ; le demi-cylindre porte, suivant son axe, une rainure semi-circulaire dans laquelle glisse la tige en fer à laquelle est suspendu le porte-charbon supérieur et dont le poids assure le contact des charbons en l'absence de courant. Un frein constitué par un demi-anneau oscillant autour d'un axe horizontal, ou plutôt de deux charnières fixées à l'armature, coince la tige de fer, sous l'influence d'une tige de cuivre passante qui passe à travers un trou pratiqué dans la rondelle inférieure et en sort sur une longueur de 0^m,002, quand l'anneau de coinçage repose sur la tige, mais à l'état de repos, les charbons portent l'un sur l'autre, l'anneau de coinçage est horizontal, et la tige de cuivre bute une plate-forme portant le mécanisme et sur laquelle repose la rondelle inférieure de l'armature. Quand le courant passe, l'armature est soulevée, entraînant avec elle les charnières : le poids de la tige de cuivre coince la tige de fer doux sur l'armature, ajoutant son action mécanique à l'attraction magnétique de l'armature sur la tige de fer doux, l'arc s'établit. L'amortissement produit par le frottement des ressorts sur la carcasse arrête le mouvement ascensionnel, lorsque l'arc a atteint 0^m,002 environ ; la tige de cuivre est alors sur le point de quitter son butoir et le porte-charbon est coinçé ; quand le courant tombe au-dessous de la valeur normale, la tige porte davantage sur la plate-forme, moins sur le frein, celui-ci se desserre un peu et la tige de fer glisse dans la rainure.

Dans le régulateur Mondos, c'est encore un électro-aimant unique qui détermine l'allumage et le réglage ; mais il est en dérivation. Un premier noyau de fer doux plonge dans ce solénoïde à axe vertical ; il est porté à l'extrémité d'un levier qui porte de l'autre côté un contrepoids butant contre une vis lorsque le courant ne passe pas ; ce levier baisse (quand le courant est suffisamment énergique) un manchon entourant la tige du porte charbon positif. Une seconde armure de fer doux est placée au-dessus de la première et gouverne un sabot de frein appuyant sur la tige elle-même.

Quand la lampe est mise en circuit, les deux armatures s'abaissent, le manchon descend et le frein est desserré, les charbons tombent au contact ; à ce moment le solénoïde étant affaibli, le manchon remonte avec la tige et le frein se serre ; le mouvement du manchon est limité par un petit rebord butant sur la plate-forme qui porte le solénoïde ; l'allumage ainsi produit, l'on est réglé par la seconde armature qui desserre le frein à mesure que les charbons s'usent.

M. Alioth exposait également une lampe destinée à l'éclairage industriel avec

un électro-aimant différentiel pour le réglage ; le mouvement de descente du charbon est puissamment amorti parce que la tige taillée en crémaillère engrène avec un pignon qui fait tourner, par l'intermédiaire d'un engrenage multiplicateur de vitesse, un disque de cuivre entre les deux pôles d'un électro-aimant en fer à cheval inséré dans le circuit principal.

La lampe de la Société suisse de construction de locomotives de Winterthur est une lampe différentielle, à foyer variable ; les deux solénoïdes ont le même axe, sont superposés et agissent sur un noyau intérieur de fer doux qui leur est commun ; ce noyau est suspendu à une extrémité d'un fléau, dont l'autre porte le porte-charbon négatif (intérieur) qui suit les mouvements du noyau ; à l'allumage, les charbons primitivement en contact, sont écartés de 2 à 3 millimètres par l'ascension du noyau, tandis qu'un échappement maintient fixe le charbon supérieur ; quand l'arc s'allonge le noyau descend un peu et libère l'échappement qui permet la descente du charbon supérieur dont le mouvement est arrêté dès que l'arc a repris sa longueur normale.

Lampe différentielle Crompton-Crabb. — Le porte-charbon inférieur est fixe ; le porte-charbon supérieur est taillé en crémaillère et engrène avec un pignon sur l'arbre duquel sont calées deux roues de frein ; un solénoïde portant les deux enroulements en série et en dérivation attire un noyau de fer doux tubulaire dans l'intérieur duquel est le ressort antagoniste et dont les mouvements commandent ceux du pignon et par suite du porte-charbon.

A cet effet, un levier articulé en un point du bâti de la lampe est entraîné par le fer ; ce levier porte une petite table sur laquelle le sabot du frein repose sur des paliers qui portent sur cette table et lui font porter, ainsi qu'au levier et au levier antagoniste du fer doux, le poids des porte-charbons et des roues ; quand le levier est horizontal, la saillie du sabot est insuffisante pour qu'il touche la roue dans cette position et la crémaillère est libre de descendre ; mais quand le courant passe dans le solénoïde avec une intensité suffisante, le levier tourne autour de son articulation, met en prise le sabot du frein et arrête ainsi la descente du charbon ; puis, si le courant est assez intense, le levier soulève avec lui la roue de frein, le pignon et la crémaillère dont tout le poids porte sur le sabot ; le charbon est soulevé, l'arc formé ; lorsque l'arc s'allonge, le levier s'abaisse, les sabots quittent la roue au moment où les paliers viennent porter sur la table et le charbon redescend.

La lampe comporte deux paires de charbons disposées symétriquement de part et d'autre de l'axe du solénoïde et, par conséquent, deux crémaillères et deux freins, mais il suffit que la saillie des sabots sur le levier de droite soit plus grande que sur le levier de gauche pour que la crémaillère de droite ne puisse pas se mouvoir avant que les charbons de gauche soient complètement consumés ;

à ce moment un arrêt empêche leur porte-charbon de descendre, l'arc s'allonge et, le noyau s'abaissant fortement, la crémaillère de droite est rendue libre et les pointes des charbons de droite sont amenées au contact.

La lampe Brillié est une lampe différentielle, mais les enroulements de fil fin et de gros fil sont portés par deux électro-aimants différents; les deux noyaux sortent des bobines et sont coupés obliquement; ils agissent simultanément sur une armature mobile autour d'un axe placé en son milieu, entre les deux électro-aimants; le charbon inférieur est fixe; le charbon supérieur est maintenu entre deux poulies dont l'une a son axe mobile autour d'un pivot; cette seconde poulie-frein, quand elle ne presse pas sur le porte-charbon, le laisse libre de descendre; mais quand elle est pressée sur lui, le charbon ne peut descendre ou monter qu'en entraînant la poulie; les électro-aimants ont pour effet: 1^o de faire osciller légèrement la poulie autour du pivot, ce qui libère le charbon et permet une descente brusque; 2^o de donner un mouvement de rotation à cette poulie autour de son axe, lorsque la poulie est pressée sur la tige du porte-charbon; suivant le sens du mouvement, les charbons sont écartés ou rapprochés. Le pivot autour duquel peut tourner l'axe de la poulie et celui autour duquel peut tourner l'armature sont solidaires et portés sur les deux mêmes platines; un ressort s'oppose à l'action de l'électro-aimant en série, tandis qu'un taquet monté sur l'armature vient presser, quand l'action du fil fin prédomine, une queue solidaire de l'axe de la poulie et mobile autour du pivot. Quand aucun courant ne passe, ou que les actions des deux électros s'équilibrerent, la pression de la poulie-frein sur le charbon est suffisante pour l'empêcher de descendre; le courant lancé, si les charbons ne sont pas au contact, passe seulement par l'électro en dérivation; l'armature tourne d'abord entraînant tout le système mobile et la poulie qui entraîne par friction le charbon; puis, lorsque le mouvement de l'armature est suffisamment accentué, elle bascule autour de son pivot; le taquet tend à s'écartier du butoir que le ressort ramène vers lui en faisant pivoter la poulie; celle-ci s'écarte du porte-charbon qui tombe; les charbons une fois en contact, l'électro en série fait basculer l'armature en sens contraire, le frein vient serrer le porte-charbon, puis il prend un mouvement en sens contraire et remonte le charbon, jusqu'à ce que le courant ait assez diminué pour que l'armature s'arrête.

LAMPES AVEC ÉLECTRO D'ALLUMAGE ET ÉLECTRO DE RÉGLAGE DISTINCTS

Dans la lampe Gramme (pour lampes en série), un électro-aimant d'allumage, en série, produit l'écart des charbons (maintenus en contact par des ressorts), dès que la lampe est mise en circuit, en abaissant le porte-charbon négatif. Un électro-aimant en dérivation sert au réglage: la tige du porte-charbon supérieur,

taillée en crémaillère, engrène avec une roue d'un mouvement d'horlogerie, terminé par un volant à ailettes qui est embrayé ou débrayé par le mouvement d'une petite lame portée par l'armature de cet électro-aimant; cet électro-aimant est à interruption, et fonctionne comme un trembleur; le volant à ailettes est ainsi arrêté à chaque instant, et ne peut reprendre son mouvement que quand la différence de potentiel entre les charbons s'élève au-dessus de la normale. Ce dispositif, équivalent à un amortissement énergique, est remplacé dans certains modèles par une roue lisse et un frein.

La lampe de Puydt est construite par M. Jaspar. Le mécanisme est un train d'engrenage dont le châssis peut osciller autour de l'axe du premier mobile, le dernier mobile est une roue à ailettes qui peut être embrayée ou débrayée par un doigt. Le premier mobile engrène avec une crémaillère portant le charbon supérieur, et une seconde crémaillère portant le charbon inférieur engrène avec une roue portée par le même axe. Le moteur est le poids du porte-charbon supérieur.

L'allumage est produit par un électro en série qui, attirant son armature quand la lampe est dans le circuit, fait pivoter le châssis et écarte les deux charbons; le réglage est déterminé par un électro en dérivation dont l'armature, en forme de levier-conde, tournant autour de l'axe du premier mobile, porte à une de ses extrémités le doigt d'embrayage de la roue à ailettes.

La lampe Borssat contient un électro-aimant vertical pour l'allumage, qui agit en abaissant le charbon inférieur, et un électro-aimant horizontal en dérivation pour le réglage; cet électro agit sur deux leviers articulés formant une pince qui serre ou lâche la tige motrice sur laquelle est monté le porte-charbon supérieur. La pression des sabots de fric-

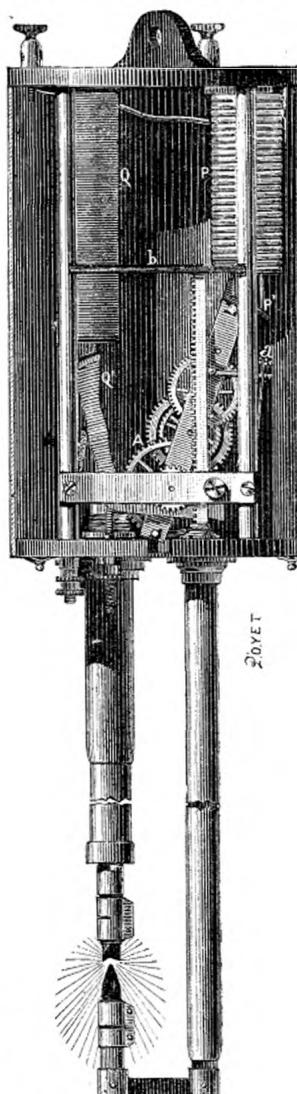


Fig. 27.— Lampe Jaspar.

tion qui terminent la pince est réglée par des ressorts, de manière à laisser toujours subsister un léger frottement, s'opposant à une descente brusque.

En cas de rupture ou d'usure des charbons, la lampe est mise en court circuit par l'armature de l'électro-aimant vertical qui, sous l'action de son ressort antagoniste, établit un contact.

La lampe Chauvet-Alliamet est une lampe industrielle à point lumineux variable, avec électro en série pour l'allumage, et un solénoïde en dérivation pour le réglage. Le porte-charbon inférieur est abaissé d'une hauteur réglable par le mouvement de l'armature de l'électro en série quand on lance le courant. Le porte-charbon supérieur est suspendu à un cylindre mobile le long d'une tige verticale montée sur pivots ; une rainure hélicoïdale est creusée dans la tige, et une goulotte fixée dans le cylindre oblige la tige à tourner quand le porte-charbon s'abaisse ; cette tige porte un volant sur lequel un sabot fait frein tant que l'attraction du solénoïde en dérivation sur le noyau n'a pas atteint une valeur suffisante.

Une tige portée par l'armature de l'électro remonte dès que le courant est interrompu : un taquet fixé sur elle soulève le sabot et les deux charbons reviennent au contact.

Lampe Thomson Rice. — Dans cette lampe, l'électro-aimant régulateur porte quelques tours de gros fil et un grand nombre de tours de fil fin à la suite ; les deux enroulements ajoutant leurs effets, l'entrée du gros fil est reliée à la borne positive, l'extrémité du fil fin à la borne négative ; du point de jonction, part également un gros fil, aboutissant à la même borne, de sorte que, quand ce second circuit est fermé, une communication directe de faible résistance est établie entre les deux pôles.

Un électro spécial, dit *de mise en marche*, maintient ce circuit ouvert quand le courant passe dans la lampe.

Lorsque la lampe est mise en circuit, le courant passe dans le gros fil de l'électro-aimant régulateur, celui-ci attire son armature qui dégage le charbon supérieur et lui permet de tomber au contact du charbon inférieur ; le contact établi, une partie du courant est dérivée dans le circuit comprenant l'électro de mise en marche et les charbons, le courant direct entre les bornes par le gros fil est rompu et passe dans le fil fin, avec une intensité très faible d'abord puisque les charbons sont au contact ; l'armature cesse donc d'être attirée, les charbons sont écartés et la lampe est en marche.

L'électro-aimant de réglage est double ; les pièces polaires forment une saillie conique (ou plutôt ogivale) ; l'armature est une lame de fer percée de deux trous, au droit de ces saillies ; grâce à cette disposition, l'attraction reste sensiblement constante pour une course assez grande de l'armature, dont les mouvements sont amortis par un cylindre à air.

La bague servant de frein est portée par un levier articulé à une tige qui suit les mouvements de l'armature, mais dont l'extrémité s'appuie sur un ressort à boudin qui, prenant son point d'appui sur une traverse également solidaire de l'armature, garde une longueur constante et serre le frein, jusqu'au moment où, par suite du déplacement de l'armature, le levier vient porter sur un butoir fixe ; le ressort se comprime alors, le frein est desserré et le charbon descend rapidement ; tandis que lorsque le courant de dérivation ne s'écarte que peu de sa valeur normale, le porte-charbon monte et descend avec l'armature.

Ces lampes peuvent être montées avec deux paires de charbons ; lorsqu'une des paires est brûlée, la tige du porte-charbon supérieur vient appuyer sur l'extrémité d'un levier dont l'autre bout vient servir de butoir à la seconde paire de charbons dont la bague est manœuvrée par la même armature ; le courant étant supprimé dans la première paire, l'allumage se fait comme il a été dit ci-dessus. Cette lampe est une des plus employées aux États-Unis.

Dans les lampes à courant alternatif du professeur E. Thomson, des bobines montées en dérivation repoussent un parallélépipède de cuivre, avec une force sensiblement proportionnelle au carré de la différence de potentiel des charbons, et lorsque cette répulsion dépasse cette valeur fixée à l'avance, la masse de cuivre déclenche le mécanisme de rapprochement des charbons.

La lampe exposée par MM. Gautier Pidot est construite pour marcher par deux en série, avec 95 volts ; son mécanisme comprend un électro-aimant d'allumage à gros fil, et un électro en dérivation, pour le réglage. A l'allumage, l'électro, en soulevant le porte-charbon supérieur, soulève en même temps un rouage commandé par la crémaillère de ce porte-charbon et met son dernier mobile en prise avec un arrêt commandé par l'armature de l'électro de réglage, arrêt qui laisse échapper le rouage dès que la différence de potentiel dépasse la valeur normale, et permet au charbon de descendre. Un dispositif particulier amortit ce mouvement, et la palette qui constitue le dernier mobile ne fait qu'un demi-tour à la fois.

L'enroulement de l'électro en dérivation est double ; une partie de cet enroulement est mise en court circuit tant que la palette est en contact avec le doigt d'arrêt ; quand elle échappe, le courant traverse cette partie de l'enroulement en sens contraire du reste et diminue le magnétisme du noyau ; l'armature et l'arrêt reviennent à leur position primitive de sorte que la palette est arrêtée après un demi-tour et ne reprend son mouvement que si l'abaissement (de 1/20 de millimètre) du charbon n'a pas été suffisant pour réduire la différence de potentiel à sa valeur normale.

Lampe Dulait. — La lampe est à point lumineux fixe ; un électro en série détermine l'allumage tandis que le réglage est fait par un électro en dérivation. Le porte-charbon supérieur transmet le mouvement au porte-charbon inférieur

par deux vis sans fin et deux pignons ; lorsque le courant est lancé, l'électro en série attire son armature, à laquelle est suspendu tout l'équipage du porte-charbon supérieur, et sépare les charbons que leur poids tend à réunir. L'électro en dérivation a pour effet de permettre ce rapprochement dès que l'arc s'agrandit. A cet effet, la vis reliée au charbon inférieur entraîne dans sa rotation un disque placé au haut de la lampe, et ce disque commande par un engrenage intérieur et un pignon une étoile et des ailettes régulatrices. Un taquet porté par l'armature de l'électro en dérivation enclenche cette étoile, tant que la différence de potentiel n'a pas dépassé sa valeur normale.

Sur le même principe M. Dulait a construit des lampes qui portent deux ou quatre paires de charbons.

LAMPES A MOTEUR ET A ACTION INTERMITTENTE

La lampe construite par M. Postel-Vinay a son électro-régulateur en série ; il détermine également l'allumage. Le moteur est un électro en fer à cheval, en dérivation sur les bornes, et qui agit comme un trembleur sur une roue à rochet agissant dans le sens du rapprochement des charbons dont l'axe porte une vis sans fin menant une roue dentée.

Celle-ci transmet son mouvement au pignon qui mène la crémaillère par l'intermédiaire d'un rochet et d'un doigt d'arrêt qui s'oppose à ce que le porte-charbon descende sans entraîner les rouages, mais lui permet de remonter. Lorsque la lampe est mise en service, le moteur rapproche les charbons ; ceux-ci en contact, le courant passe par l'électro en série. Celui-ci attire son armature ; celle-ci, par l'intermédiaire d'un levier, pousse la vis sans fin, dans le sens de son axe, ce qui fait tourner en même temps la roue dentée et la crémaillère et écarte les charbons d'une quantité déterminée ; l'arc se produit ; il est ensuite réglé par le moteur qui entre en fonction dès que l'arc s'allonge, mais qui ne peut vaincre le ressort antagoniste de l'armature, tant que l'arc conserve sa valeur normale.

La lampe Alpha, inventée par M. Maquaire, a pour moteur une petite dynamo à anneau denté, genre Paccinotti. Le fil, dans lequel passe le courant qui a traversé l'arc, est enroulé d'abord une fois sur chacune des branches de l'électro en fer à cheval inducteur de cette dynamo, puis une seconde fois ; et l'un des balais est relié à l'extrémité du premier enroulement, tandis que le second est relié à une lame mobile entre deux butoirs, l'un en rapport avec l'entrée du fil dans les inducteurs, l'autre avec sa sortie ; suivant le butoir sur lequel porte la lame, le courant passe dans un sens ou dans l'autre dans l'induit de la dynamo, et détermine le rapprochement ou l'éloignement des charbons par l'intermédiaire d'une roue dentée engrenant avec l'axe fileté de l'anneau.

Les surfaces polaires cylindriques ne sont pas concentriques à l'anneau, mais

en sont plus voisines en leur milieu qu'aux bords (l'inventeur pense augmenter ainsi la sensibilité). Le double enroulement a pour but de maintenir l'égalité des deux branches du fer à cheval, quel que soit le butoir sur lequel porte la lame : la culasse du fer à cheval n'est pas continue, la solution de continuité est remplie par une pièce de fer en forme de coin, dans laquelle pivote la tige filetée de l'anneau. Ce coin peut pivoter sous l'influence d'un ressort, autour d'un axe parallèle à cette tige, de manière à débrayer la vis tangente, dès que le courant qui traverse les inducteurs tombe au-dessous d'une certaine valeur ; lorsque son intensité augmente, la vis embraye sur la roue dentée, et celle-ci transmet son mouvement au pignon qui entraîne les porte-charbons par l'intermédiaire d'un ressort de manière à éviter tout choc dans le mécanisme. De plus, avec cette disposition, les charbons sont ramenés au contact par leur poids dès que le courant cesse ou s'affaiblit autre mesure.

L'électro-régulateur peut être monté en dérivation ou en série, son armature porte la lame mobile entre les deux butées. Il est formé d'une bobine cylindrique entourant un noyau qui se replie parallèlement à l'axe de la bobine, et sur lequel l'armature est fixée par un ressort très court, de manière à constituer un circuit magnétique presque fermé. L'attraction sur l'armature est réglable ; dans ce cas, la partie du noyau engagée dans la bobine est coupée en deux parties qu'une vis permet de rapprocher ou d'éloigner. Les lampes peuvent être munies de veilleurs et d'agencements pour brûler successivement deux paires de charbons ; lorsqu'une paire de charbons est usée, le porte-charbon supérieur vient buter contre une tige métallique reliée à la borne négative et met la lampe hors circuit, lorsqu'il n'y a qu'une paire de charbons ; quand il y en a deux, un électro-aimant est introduit dans le court circuit de la première paire et le passage du courant dans cet électro a pour effet de faire embrayer le moteur sur un second pignon correspondant à la crémaillère du second charbon ; le courant passe alors par le premier porte-charbon, le court circuit et son électro, puis par les deux charbons de la seconde paire.

La lampe Pieper (premier modèle) possède un électro-aimant d'allumage, en série, placé à la partie inférieure de l'appareil et agissant sur le charbon inférieur, qui reste fixe tant que la lampe fonctionne, et un électro-aimant de réglage en dérivation, agissant comme un trembleur ; son armature, sollicitée par un ressort antagoniste, porte un petit ressort appuyant sur le contact amenant le courant, et qui ne l'abandonne que quand l'armature est attirée. L'armature porte de plus un bras vertical garni à son extrémité supérieure d'un frein, tandis que la partie inférieure et recourbée, est terminée par un sabot ; lorsque le courant de dérivation n'excède pas sa valeur normale, l'armature reste écartée du pôle, le frein appuie sur la tige (en fer poli) du porte-charbon supérieur et l'empêche de descendre dans sa gaine ; quand l'armature est attirée, le frein s'écarte, la partie inférieure du bras se raidit et le sabot descend, entraî-

nant avec lui la tige; en même temps le courant cesse dans la bobine et le frein arrête la descente. On peut régler la durée du contact et la tension du ressort antagoniste, de manière à réduire la chute du porte-charbon à chaque oscillation et à faire varier la valeur du potentiel normal. L'appareil règle convenablement pour des courants d'intensités diverses, par exemple entre 4 et 12 ampères. Il doit être muni d'un veilleur quand plusieurs lampes sont montées en série, mais, dans ce cas, on doit regretter l'absence d'un dispositif écartant les charbons qui viendraient à coller.

Cet inconvénient est évité dans la lampe différentielle du même inventeur, lampe qui est construite pour point lumineux fixe et dont le mécanisme demande une moins grande hauteur que celui de la lampe précédente. Le mouvement est communiqué aux porte-charbons par une chaîne sans fin actionnée par un double mouvement d'horlogerie; l'un de ces mouvements tend à l'écart, l'autre au rapprochement des charbons. Deux bobines à noyaux de fer doux, verticales, constituent l'électro-aimant différentiel; l'armature est une tige de fer horizontale, renflée dans son milieu, et qui se meut horizontalement à droite ou à gauche, suivant que la branche en série ou la branche en dérivation prédomine et déclenche l'un sur l'autre des deux mouvements d'horlogerie; le déclenchement et l'enclenchement se font sur le dernier mobile du rouage qui est une roue à ailettes. Au moment de l'allumage, l'électro en série fortement excité, le rouage a le temps de prendre une vitesse considérable avant que le mouvement qui tend au rapprochement soit déclenché, et les porte-charbons pourraient prendre un mouvement oscillatoire.

Pour s'opposer à l'écart trop rapide, l'axe de la roue à ailettes porte un bras sur lequel peut glisser un petit poids; quand la vitesse du rouage est trop grande, ce poids projeté à l'extrémité de sa course vient heurter une butée taillée en plan incliné; lorsque le bras qui le porte est vertical et dirigé vers le haut, le rouage s'arrête, le poids retombe et peut passer sous la butée; le mouvement est donc arrêté un instant par tour de la roue à ailettes.

LAMPES A MOTEUR ÉLECTRIQUE ET A ACTION CONTINUE

Dans la lampe Bréguet, le porte-charbon inférieur est fixe; le porte-charbon supérieur assez lourd, dont la tige est taillée en crémaillère, engrène avec un pignon monté sur l'arbre d'une petite dynamo Gramme, en série, parcourue par le courant principal; la position du charbon est déterminée par l'équilibre entre son poids et le couple, variable avec l'intensité, exercé sur l'induit. La lampe peut être réglée pour des intensités diverses en déplaçant une masse de fer doux dans le voisinage des pièces polaires.

On y a récemment ajouté un amortisseur électrique; c'est un court circuit,

ou shunt peu résistant, dans lequel un courant intense est développé par les mouvements de l'induit.

Cette lampe a été modifiée par M. Thury de manière à fonctionner en série. Les porte-charbons sont taillés en crémaillère et engrènent avec deux pignons de diamètres doubles l'un de l'autre, portés sur le même axe qui reçoit son mouvement d'un petit moteur électrique; le porte-charbon inférieur est le plus lourd, de sorte que les charbons sont séparés quand le courant ne passe pas. Le moteur à axe horizontal a comme inducteurs deux noyaux de fer verticaux, portant chacun deux bobines, l'une inférieure, l'autre supérieure à l'armature (la forme générale est celle de la machine Edison, type 86). Le fil fin pris en dérivation sur les deux charbons passe dans les quatre bobines et dans l'armature, tandis que le gros fil, en série avec les charbons, ne recouvre que les deux bobines inférieures.

Le coupe-circuit automatique, qui sert en même temps à l'allumage, est formé de deux électros, l'un enroulé du fil fin, l'autre du gros fil, agissant en sens opposé sur une armature; quand celle-ci est en contact avec l'électro du fil fin, sur laquelle un ressort l'appuie en l'absence de tout courant, les deux bornes sont reliées par une résistance équivalente à l'arc et ce circuit s'ouvre dès que l'action de l'électro à gros fil prédomine sur celle de l'électro à fil fin et du ressort.

Lorsque le courant est envoyé dans la lampe dont les charbons sont écartés, il passe dans la résistance et dans le fil fin, le moteur rapproche les charbons au contact, le courant passe alors dans les inducteurs du moteur, neutralise l'effet du fil fin, l'armature n'est plus sollicitée à tourner, et le poids du charbon inférieur le fait descendre, l'arc s'allume : en même temps le circuit de la résistance équivalente est rompu; les deux enroulements des fils fin et gros sur les inducteurs agissent alors différemment sur le moteur; tandis que la résistance équivalente est mise en circuit si les charbons sont brisés, ou si la différence de potentiel entre les deux bornes devient dangereuse (50 à 60 % au-dessus du potentiel normal).

Les mouvements du moteur sont amortis par une feuille de cuivre plein qui

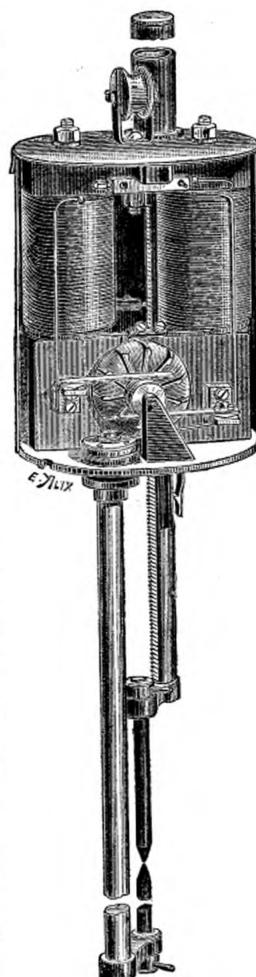


Fig. 28. — Lampe Bréguet.

entoure l'armature, les courants d'induction déterminés par le mouvement de l'armature font frein.

La lampe Pilsen, inventée par MM. Piette et Krizik, est très répandue sur le continent. Chacun des porte-charbons est mené par une tige de fer doux de forme conique à son extrémité supérieure; dans la disposition adoptée par M. Henrion, ces fers sont attirés vers le haut (avec une force indépendante de leur hauteur) par deux solénoïdes dans lesquels ils pénètrent. Le solénoïde qui attire le porte-charbon supérieur est parcouru par le courant de la lampe, qui de la borne positive passe par les charbons et un électro auxiliaire avant d'atteindre la borne négative. Ce courant a donc pour effet d'ouvrir l'arc ou d'écartier les charbons. Le second solénoïde a son enroulement en dérivation, mais composé d'un certain nombre de tours de gros fil et d'un nombre plus considérable de fil fin; il tend à soulever le charbon inférieur et par conséquent à raccourcir l'arc; les deux porte-charbons sont réunis par un fil passant sur une poulie et ont des courses égales, les charbons sont de diamètre différent. Un troisième circuit réunit le pôle négatif au point de jonction du gros fil et du fil fin, mais ce circuit est ouvert en marche normale, car il passe par le noyau de l'électro auxiliaire, par son armature et un butoir contre lequel cette armature est pressée par un ressort antagoniste; quand l'électro cesse d'agir, que le courant ne passe plus entre les charbons, l'armature porte sur le butoir, le troisième circuit est fermé et le courant passe tout entier dans le gros fil du second solénoïde et ce nouveau circuit dont la résistance doit être équivalente à celle de l'arc.

M. Henrion construit des lampes de ce type qui fonctionnent avec une grande régularité depuis 3 ampères, et les emploie soit en dérivation avec 52 volts, ou en dérivation par série de deux avec 105 volts, ou enfin en séries et en grand nombre avec 42 volts par lampe.

Pour prévenir les mouvements oscillatoires lors de l'allumage dans les lampes en dérivation, la poulie sur laquelle s'enroule la corde qui relie les deux noyaux est molletée et un cliquet s'oppose à son mouvement dans le sens de l'écart des charbons; les noyaux ne peuvent se déplacer dans ce sens qu'en faisant frotter la corde sur la gorge de la poulie, ce qui forme un frein suffisant; dans les lampes en série, le cliquet porte une rainure lui laissant un certain jeu, la corde ne fait frein que lorsque l'écart des charbons a déjà atteint une certaine valeur, ce qui permet à la lampe de régler dans les deux sens en marche normale.

La lampe Doubrava, telle qu'elle est construite par les ateliers Steinlen et Ducommun, de Mulhouse, peut être considérée comme dérivée de la lampe Pilsen, mais ici les porte-charbons sont portés non sur des noyaux de solénoïdes, mais par les bobines elles-mêmes qui se meuvent dans un champ magnétique sensiblement uniforme; à cet effet deux bobines, enroulées différemment dans

les lampes en série de 22 qui servaient à l'éclairage de l'Exposition, reliées par une corde passant sur une poulie, glissent le long de deux tiges de fer doux ; celles-ci forment les côtés verticaux d'un cadre rectangulaire dont les côtés horizontaux sont entourés par des enroulements de gros fil traversé par le courant total ; celui-ci, après avoir parcouru ces enroulements, arrive aux bobines, s'y bifurque entre deux circuits dont l'un, en gros fil, entoure les bobines mobiles, passe par les charbons, tandis que l'autre, de fil fin, est en dérivation sur le premier et ne parcourt que les bobines.

L'allumage et la mise hors circuit sont assurés par un veilleur ; si les charbons ne sont pas au contact lorsque le courant est lancé, celui-ci passe par les électro-aimants, crée le champ magnétique dans lequel les solénoïdes, parcourus par le courant de dérivation seul, tendent à rapprocher les charbons, la dérivation en gros fil qui contient le veilleur est coupée ; une fois les charbons en contact les solénoïdes parcourus par le courant principal les écartent, l'arc est formé, puis réglé ; si le courant est interrompu par une cause quelconque, le veilleur rétablit une communication directe entre les deux bornes par les électro-aimants du champ seulement.

Ces lampes, dont le fonctionnement a été très régulier à l'Exposition, ont été expérimentées sur des accumulateurs ; la même lampe a été étudiée à deux régimes différents (7 et 4,5 ampères) obtenus simplement en chargeant de poids le porte-charbon inférieur avec 46 volts dans le premier cas et un arc d'un demi-millimètre, 39 volts dans le second et un arc à peine visible, sans résistance extérieure ; on a obtenu encore une allure très uniforme pour l'intensité du courant et l'intensité lumineuse, comme dans les conditions normales (54 volts et un arc de 1 millimètre et demi).

SUSPENSION DES LAMPES

Dans les suspensions des lustres Gramme, les foyers étaient portés par une corde passant sur des poulies et s'enroulant sur un treuil, tandis que M. Jaspar avait suspendu à l'extrémité de cette corde un contrepoids plus lourd que le régulateur ; une seconde corde attachée à celui-ci permettait de le descendre ; M. Borssat avait adopté une suspension à contrepoids, mais par corde sans fin ; celle-ci passe sur deux poulies fixes et reçoit deux poulies mobiles, dont l'une porte le contrepoids, l'autre la lampe ou le lustre.

Dans ces diverses installations les conducteurs sont complètement distincts des câbles portant les foyers ; ils sont attachés d'un bout à une pointe fixe et de l'autre à la lampe dont ils suivent les mouvements ; ils ne sont exposés à aucun frottement et leur enveloppe isolante n'est soumise à aucune usure.

M. Crompton suspend ses lampes par des câbles conducteurs eux-mêmes. Pour ses foyers de 25 ampères (en série), les conducteurs sont composés d'un

toron de 98 fils d'un demi-millimètre de diamètre isolés par une couche de coton, deux couches de caoutchouc et une tresse enduite d'ozokérite qui conserve toujours une certaine souplesse. Ces conducteurs, attachés à des crochets fixes, se relient chacun à une des bornes du régulateur, en passant d'abord sur un galet en porcelaine porté à l'extrémité d'une traverse fixe qui les tend, sur une poulie dont la chape porte le contrepoids, sur une poulie fixe portée par la traverse supérieure dont on vient de parler, puis sur un galet fixé à l'extrémité d'une traverse mobile portant le régulateur, et enfin à la borne correspondante ; cette disposition est employée par M. Crompton même dans des installations en plein air.

M. Cance emploie également les conducteurs comme câbles de suspension, mais l'ensemble présente un aspect artistique plus satisfaisant, les conducteurs sont dissimulés. Le régulateur est suspendu par un crochet à un tube de cuivre qui porte à son intérieur deux tiges de cuivre dont les extrémités inférieures sont reliées par un fil souple aux bornes de la lampe ; ce tube peut glisser à frottement dans un second tube fixé au plafond. Ce tube est percé à une certaine hauteur au-dessus de la lampe de deux trous latéraux ; une pièce en fonte fixée au tube au-dessus de ces trous porte les axes de deux poulies folles ; ces axes sont isolés et reçoivent chacun le courant d'un fil vertical dissimulé dans la partie supérieure du tube. Deux câbles souples de fil nu sont accrochés d'un bout aux extrémités supérieures des tiges, passent chacun sur une des poulies folles et supportent par un crochet un contrepoids évidé qui laisse passer à son intérieur le tube auquel le régulateur est suspendu.

CHARBONS

MM. Carré, Sautter et Lemonnier, Lacombe, Lévy, Goodwin et Ballat pour la France, la Solar Carbon C°, en Amérique, exposaient des charbons pour lumière et pour piles obtenus par moulage ou par passage à la filière. C'est par les procédés de M. F. Carré que sont préparés la plus grande partie des charbons à lumière ; cependant MM. Rouart frères en fabriquent par les procédés Gauduin (charbon de brai, agglutiné par des hydrocarbures). Les mêmes fabricants produisent des charbons émaillés dont l'usure est inférieure à celle du charbon ordinaire ; les charbons les plus employés en France sont des charbons nus et à mèche, tandis qu'en Amérique on donne la préférence aux charbons cuivrés.

BOUGIE JABLOCHKOFF

La bougie Jablochkoff, du modèle le plus ordinaire, de 0^m,25 de longueur et de 0^m,004 de diamètre, ne dure que deux heures environ ; on s'est préoccupé de

construire des chandeliers automatiques, supprimant la main-d'œuvre nécessaire, pour envoyer successivement avec un commutateur le courant dans plusieurs bougies montées sur un même support. M. Gadot a placé ces bougies en dérivation, sans précaution spéciale, tandis que la Société de l'Éclairage électrique emploie une disposition mécanique : la commutation est produite par le déplacement d'un ressort tendu par un fil métallique qui est brûlé par l'arc quand la bougie est usée, et déclenche ce ressort. Une autre disposition, imaginée par M. Bonenrieth, donne de très bons résultats, chaque bougie est, comme dans les autres chandeliers, pincée entre deux mâchoires ; toutes les mâchoires extérieures sont placées sur une rondelle métallique en rapport avec le circuit extérieur ; les mâchoires intérieures sont isolées ; un anneau en plomb relie chaque mâchoire intérieure à un disque central relié au circuit par l'intermédiaire d'une tige flexible ; les amores des bougies ont des résistances très considérables, de 20 000 à 100 000 ohms, et sont très notablement différentes les unes des autres, elles s'allument successivement dans l'ordre de leur conductibilité ; l'anneau de plomb fond lorsque la bougie est consommée, et met hors circuit la machine correspondante.



Fig. 29 et 30. — Lampe et Bougie Jablochkoff de la Société de l'Éclairage électrique.

LAMPES A INCANDESCENCE DANS L'AIR

La lampe Soleil, de MM. Clerc et Bureau, a été complétée depuis son invention par des organes de réglage qui lui ont fait perdre sa simplicité primitive. Bien que la lumière en soit un peu fixe, que sa teinte, plus chaudement colorée que celle des lampes à arc, soit d'un effet plus agréable et plus artistique, son usage s'est peu répandu.

Un bloc de marbre de 0^m,05 de longueur, 0^m,04 de largeur et 0^m,03 de hauteur est évidé en son centre ; le fond de cette partie évidée est porté à incandescence par l'arc voltaïque produit entre deux charbons horizontaux qui passent à travers deux trous pratiqués dans le bloc et qui sont dans le prolongement l'un de l'autre. Deux ressorts pressent ces charbons contre les parois de leur

logement et les maintiennent à distance constante malgré leur usure. L'un de ces charbons est creux et contient un petit charbon monté à l'extrémité d'une tige fixée au noyau d'un solénoïde; un contrepoids agissant sur la tige, presse constamment le petit charbon sur le gros charbon opposé; quand l'appareil est mis en circuit, le noyau attiré par le solénoïde ramène le petit charbon à l'intérieur du charbon creux, et l'arc s'établit entre celui-ci et le gros charbon plein.

On ajoute à la lampe un veilleur quand elle doit fonctionner en série.

Dans le type exposé (10 ampères et 100 volts) les charbons ont 0^m,020 de diamètre, leur usure est de 0^m,002 par heure pour chacun; le bloc de marbre dure de douze à quinze heures (un bloc en magnésie pourrait durer cent heures et la puissance lumineuse est estimée à 120 carcels).

M. Pieper a construit une nouvelle lampe à incandescence dans l'air, qui, comme ses devancières aujourd'hui abandonnées, donne une lumière de qualité intermédiaire entre celle de l'arc et celle de la lampe à incandescence dans le vide, et dont la consommation en watts est également intermédiaire entre celles de ces deux systèmes. Le charbon fabriqué par M. Pieper a la forme d'un rail à double champignon; il est taillé en biseau à l'une de ses extrémités qui s'appuie sur deux gros conducteurs rectangulaires horizontaux en cuivre; un poids réglable est placé sur la tête du charbon, qui est guidé dans sa descente et dont le contact avec les deux conducteurs est ainsi assuré; le courant passe d'un conducteur à l'autre en suivant le biseau du charbon, qui se trouve porté à l'incandescence; le profil du rail en charbon a été déterminé expérimentalement, de manière que sa taille se conserve malgré l'usure. M. Rousseau, membre du jury et professeur à l'Université de Bruxelles, a bien voulu examiner l'intensité lumineuse de cette lampe. L'intensité horizontale maximum, dans une direction perpendiculaire à celle du biseau, est donnée ci-dessous en carcels:

DÉSIGNATION	Courants	Watts	Watts	Intensité	Watts par carcel
Charbon n° 1	30,8	7,8	240	19,1	12,5
— —	34,4	7,9	272	22,1	12,3
Charbon n° 2	34	7,4	252	26,4	55

Dans le plan horizontal passant par le foyer et au régime de 34 volts et 8 ampères, on a obtenu 22,1 de carcels de face, 13,1 à 45 degrés et 9,8 dans une direction voisine de celle du biseau; ce qui donne une intensité horizontale

moyenne de 15 carcel environ ; dans les mêmes azimuts, M. Rousseau a mesuré également l'intensité émise dans des directions inclinées sur l'horizon et dressé le tableau suivant où l'intensité moyenne horizontale est prise comme unité et qui donne l'intensité moyenne dans tous les azimuts pour un angle déterminé avec l'horizontale et la répartition de la lumière entre 0 et 10 degrés, 10 et 20 degrés, etc.

ANGLE au-dessous de l'horizon	INTENSITÉ moyenne	RÉPARTITION de la lumière totale dans chaque zone	ANGLE au-dessus de l'horizon	INTENSITÉ moyenne	RÉPARTITION de la lumière totale dans chaque zone
0° . . .	1	»	10° . . .	1.01	0.0872
10° . . .	0.99	0.0864	20° . . .	0.94	0.0821
20° . . .	0.96	0.0821	30° . . .	0.86	0.0711
30° . . .	0.91	0.0739	40° . . .	0.68	0.0550
40° . . .	0.86	0.0632	50° . . .	0.45	0.0848
50° . . .	0.79	0.0508	60° . . .	0.34	0.0197
60° . . .	0.66	0.0362	70° . . .	0.27	0.0112
70° . . .	0.49	0.0212	80° . . .	0.19	0.0052
80° . . .	0.34	0.0094	90° . . .	»	0.0007
90° . . .	0.19	0.0020			

L'intensité moyenne sphérique serait sensiblement les quatre cinquièmes de l'intensité horizontale moyenne, soit 12 carcel environ ; la théorie indique d'ailleurs qu'elle doit être la moitié de l'intensité maximum, puisque la surface lumineuse se réduit sensiblement à un plan.

La lampe est très fixe ; l'entretien de la lampe est presque nul et la consommation de charbon évaluée à un demi-centime par heure.

LAMPES A INCANDESCENCE DANS LE VIDE

La lampe à incandescence, dont Edison a fait la base de son système d'éclairage, est trop répandue pour qu'il y ait lieu de la décrire ; les types les plus répandus de 10 et 16 bougies fonctionnent sous des différences de potentiel de 50, 65 et 100 volts ; ces types paraissent les plus convenables pour l'éclairage domestique, et se prêtent parfaitement à la distribution en dérivation tout indiquée pour l'éclairage de régions peu étendues et de grande consommation. Il a été reconnu cependant que dans les cas où des foyers lumineux plus puissants moins nombreux pouvaient être employés, il y avait économie à les substituer à

ces types courants au point de vue du prix des lampes et de l'installation, peut-être même au point de vue de la consommation d'énergie, et on a été amené à construire des lampes aussi puissantes que des arcs, consommant plus il est vrai, mais ayant des avantages évidents comme sécurité et simplicité de fonctionnement. Les lampes Sunbeam, fabriquées par MM. Clarke, Chapman et Parsons, dont le pouvoir éclairant équivalrait à 100 carcelles, répondent à ce besoin.

D'un autre côté les conditions de la distribution peuvent imposer une distribution en série, qui serait impraticable avec les lampes de haut voltage primitivement employées, d'où la convenance d'avoir des lampes à faible résistance et à grand débit, usitées spécialement en Amérique.

Les charbons, en filaments ou lames minces, proviennent généralement de la carbonisation en vases clos de substances fibreuses, bambou, coton, soie, dont les fabricants cachent ordinairement la nature ; M. Lodyguine purifie par l'action du fluorure de bore les charbons ainsi obtenus ; la Société du travail électrique des métaux obtient, par l'action de l'acide sulfurique sur le sucre, un charbon dit *homogène*, qualité revendiquée par MM. Woodhouse et Rawson, tandis que les charbons Gérard sont fabriqués, comme les charbons à lumière, par passage à la filière d'un mélange de charbon et de matières gommeuses.

Les charbons sont nourris en y faisant passer le courant pendant qu'ils sont plongés dans une atmosphère de gaz hydrocarburés ou dans un hydrocarbure liquide, et acquièrent ainsi une résistance uniforme ou du moins la propriété d'acquérir en tous points la même température sous l'influence du courant.

Leur jonction avec les fils de platine qui traversent l'ampoule est faite par dépôt galvanique de cuivre dans les lampes Edison et par dépôt de charbon dans la plupart des autres, et la solidité de cette jonction est un point important pour la durée de la lampe.

Les nombreux travaux dont la lampe à incandescence a été l'objet depuis son invention ont certainement eu pour résultat d'abaisser la consommation par bougie, et, d'après les constructeurs, on peut évaluer à 3,5 watts (1) la dépense moyenne pour les lampes de puissance ordinaire peu de temps après leur fabrication et correspondant à une durée moyenne de 800 heures, dépense qu'il peut y avoir intérêt à diminuer aux dépens de la durée de la lampe. D'après les inventeurs de la lampe Sunbeam, ces chiffres s'abaisseraient à 2 watts pour des lampes de 150 à 1 500 bougies, pour la durée de 800 heures, lampes dans lesquelles le courant varie de 6 à 30 ampères.

Les lampes de la Compagnie Thomson-Houston, de 7 à 10 ampères, consom-

1. Ce chiffre est cependant dépassé en pratique et atteint 4 ou 4.2 watts dans un grand nombre d'installations. Il n'est d'ailleurs pas susceptible de précision, l'évaluation des puissances lumineuses et du degré d'incandescences n'étant pas jusqu'ici soumise à des règles universellement acceptées.

meraient 3 watts, et celles de M. Heissler (30 bougies et 5 ampères) 2,3 seulement, mais leur durée n'est pas indiquée.

Les lampes de M. de Kotinsky sont remarquables par la résistance du filament ; on peut employer des tensions de 150 et 200 volts pour actionner des lampes de 10 bougies et au-delà, ou bien faire fonctionner des lampes de 5 bougies sur les distributions ordinaires à 100 volts.

Lorsque la source d'électricité est une pile, surtout si celle-ci est portative et peut être jointe à la lampe par des conducteurs sans résistance appréciable, il y a tout intérêt à diminuer la tension ; les lampes Gérard, dont le filament est assez gros, peuvent donner 6 bougies avec 6 volts.

Pour des applications spéciales, lampes de voiture, de pompier, de mineur, on est descendu encore au-dessous. La Société générale des lampes à incandescence, MM. Woodhouse et Rawson, avaient exposé des lampes fonctionnant avec deux accumulateurs. M. Trouvé, auquel on doit un grand nombre d'applications de l'électricité aux arts et à la médecine, avait exposé des lampes de ce genre actionnées par des piles au bichromate ; sa lampe est renfermée dans une double enveloppe ; elle s'allume ou s'éteint par le déplacement du couvercle qui porte les zincs.

Les lampes à incandescence en série doivent être munies d'organes accessoires assurant la continuité du circuit en cas de rupture du filament.

Dans le système Heissler, de distribution à courant constant (lampes à incandescence de 14 volts et 5 ampères estimées à 30 candles), la mise en court circuit de toute lampe rompue est assurée par un électro-aimant de 200 degrés de résistance intérieure mis en dérivation sur les bornes de la lampe ; quand celle-ci s'étend, le courant tout entier passe dans l'électro-aimant pendant tout le temps suffisant pour que celui-ci attire son armature et établisse un court circuit entre le fil d'arrivée et celui de sortie.

La Compagnie Thomson emploie également des lampes à incandescence en série sur ses circuits à arcs. La lampe est le type Sawyer Mann, les extrémités du filament sont en rapport, l'une avec un écrou central, l'autre avec une virole de laiton formant la base de la lampe. La douille porte en son centre une vis saillante sur laquelle se visse la lampe ; séparée par une feuille de mica d'une feuille plate annulaire formant ressort. Lorsque la lampe n'est pas montée sur la douille, celle-ci forme un court circuit, la pièce annulaire étant pressée contre une lame reliée à l'un des conducteurs, tandis que l'autre est en connexion permanente avec la vis centrale, lorsque la lampe est vissée, la pièce annulaire est écartée de son contact, qui porte sur la virole. Les deux conducteurs sont, à l'intérieur de la douille, séparés par une feuille de papier très mince, qui est percée par l'extra-courant. Lorsque, par suite de rupture, le courant cesse de passer dans le charbon, la continuité du circuit est ainsi rétablie, sauf une petite épaisseur d'air d'environ 1/30 de millimètre.

Cette disposition, suffisante pour les circuits alimentés par des courants alternatifs, ne paraît pas fonctionner avec une sécurité absolue pour les courants continus.

Pour ceux-ci, les fils de platine qui amènent le courant sont, à l'extérieur de l'ampoule, tordus et voisins l'un de l'autre ; on compte qu'en cas de rupture du filament, un arc jaillit entre ces fils, les fonds, et met la lampe en court circuit.

Les lampes sont construites par des courants de 6,5 et 10 ampères ; ces dernières prenant 20 ou 40 volts.

La disposition analogue des lampes Edison sera décrite avec le système dit *municipal*.

VI. — Procédés de distribution

La distribution de l'électricité se fait en dérivation, en employant des génératrices à potentiel constant, ou en série avec des génératrices à intensité constante. Le premier système est presque exclusivement employé en Europe, soit qu'il s'agisse de courants continus, soit de courants alternatifs ; le second est, concurremment avec le premier, très employé en Amérique ; il offre l'inconvénient d'exiger des tensions élevées, dangeureuses si des précautions minutieuses ne sont pas prises pour l'isolement des fils, mais il est beaucoup plus économique et est le seul pratique lorsque les consommateurs sont très espacés.

Le prix élevé des conducteurs à grande section qu'entraîne la distribution par dérivation à basse tension a fait imaginer les systèmes dits à *3 ou 5 fils*, qui permettent l'emploi de conducteurs plus faibles, tout en laissant à chaque foyer son indépendance ; ces systèmes étaient représentés à l'Exposition par les Compagnies Edison française et américaine, pour les courants continus, et par la Compagnie Thomson pour les courants alternatifs.

DISTRIBUTION A COURANT CONSTANT

La constance du courant est automatiquement réglée par la dynamo elle-même ; il suffit alors d'assurer la continuité du circuit : en cas d'extinction fortuite des lampes, il est inutile de les remplacer par une résistance équivalente, la force électromotrice de la machine baissant à mesure que l'on éteint un plus grand nombre de foyers.

Les machines Thomson Houston, Sperry et Henrion pour les courants continus, et Heissler pour les courants alternatifs, ont été décrites plus haut, ainsi

que les lampes, soit à arc, soit à incandescence, à grand débit. La Société de l'éclairage électrique emploie des machines à courant alternatif dont l'induit renferme beaucoup de fer, et qui donnent à vitesse constante un courant sensiblement constant ; dans le circuit de la dynamo sont montées en série, suivant la méthode employée en 1878 par M. Jablochkoff, les circuits primaires de transformateurs en nombre égal à celui des bougies à alimenter ; chaque bougie est alimentée par le circuit secondaire du transformateur correspondant, placé dans le socle de la lanterne. On a pu ainsi porter de 5 à 20 le nombre des foyers entretenus par une machine auto-excitatrice Gramme, et abaisser très notablement le prix de revient de l'éclairage par bougies.

Ce système, qui joint à l'économie que donne la haute tension le bénéfice de l'indépendance des foyers, peut s'installer très rapidement, comme l'a montré la Société de l'éclairage électrique au début de l'Exposition (1).

Le système municipal d'Edison a de commun, avec les dispositifs ci-dessus, l'emploi de tensions élevées, mais il ne constitue pas une distribution à proprement parler ; toutes les lampes doivent être éteintes et allumées en même temps (2).

Le courant est fourni par une machine de 1200 volts et 9 ampères, et se divise en trois circuits de même résistance, recevant chacun 3 ampères ; les lampes employées diffèrent par leur voltage seulement, leur puissance éclairante étant estimée à une bougie par volt.

Si une lampe est brisée sur un des circuits, elle est automatiquement mise en court circuit ; l'ampèremètre de ce circuit placé à la station centrale accuse une augmentation de courant ; on introduit une résistance (une ou plusieurs lampes) de manière à ramener le courant à 3 ampères.

La mise en court circuit de la lampe est assurée par deux moyens ; chaque lampe porte, comme dans le système Thomson Houston, un papier mince, séparant les deux conducteurs aboutissant aux extrémités du filament, et qui est percé par l'étincelle en cas de rupture du circuit. De plus, un fil de platine isolé pénètre dans la lampe par une extrémité, tandis que l'autre est fixée à un ressort relié au conducteur positif. Si le filament se rompt, et que le vide soit maintenu dans la lampe, le courant passe dans l'air raréfié entre le conducteur négatif et ce fil, l'échauffe assez pour que la partie du fil de platine extérieure à la lampe se rompe, et le ressort établit alors une connexion directe entre le conducteur positif et le négatif.

Tout le réglage consiste donc à manœuvrer les rhéostats d'excitation, de manière à obtenir constamment le voltage normal, et à ajouter des lampes sur chacun des circuits.

1. Voir dans l'atlas ci-joint, planches 13 à 14, la station du Champ de Mars de la Société l'Eclairage électrique.

2. Voir dans l'atlas ci-joint, planches 5 à 6, la station du Champ de Mars de la Compagnie Edison.

DISTRIBUTION A POTENTIEL CONSTANT

Le procédé le plus simple consiste à affecter à chaque arc un circuit spécial partant de la dynamo ; chacun de ces circuits est muni d'un rhéostat de réglage ; si le moteur est à vitesse constante, l'excitation mixte peut être employée ; mais dans les stations importantes, le réglage à la main de l'excitation est préféré. Les appareils de mesure et de réglage constituent alors une part importante des prix de l'installation et sont groupés sur des tableaux, avec les commutateurs ou interrupteurs, et les appareils de sûreté, coupe-circuits fusibles ou interrupteurs automatiques. Dans le cas où l'installation comporte plusieurs machines, celles-ci, groupées en quantité, communiquent par leurs balais + et —, avec deux rails sur lesquels est prise aussi l'excitation, et des commutateurs spéciaux sont destinés à mettre en service chaque machine.

M. Cance emploie cette disposition dans des installations remarquables par la régularité de leur fonctionnement, chaque foyer étant surveillé individuellement ; mais en général, on se contente de brancher les arcs sur deux conducteurs portant des rails + et — du tableau sans affecter de rhéostat à chacun d'eux. Les tensions usitées sont 65 ou 110 volts ; le premier chiffre permet de placer indifféremment un arc ou une lampe en dérivation sur les conducteurs ; avec le second, on place en dérivation deux arcs en série, ce qui est plus économique.

Pour la mise en service des machines, la Compagnie française Edison emploie un enclenchement dû à M. Ebel, qui s'oppose à ce que l'induit puisse être mis en circuit sans que le champ soit excité ; cette disposition paraît recommandable.

La distribution en dérivation pure et simple conduit à employer des conducteurs d'un prix très élevé, surtout s'il est nécessaire d'avoir entre les deux fils qui amènent le courant une différence de potentiel sensiblement constante et uniforme en des points éloignés les uns des autres, et quel que soit le débit, ce qui est le cas⁷ pour une distribution de lumière par lampes à incandescence, dont le voltage ne doit pas varier de plus de 2 à 3 %. Pour diminuer le prix des conducteurs, la Compagnie Edison emploie le système dit *à trois fils*.

Deux dynamos (ou groupes de dynamos associés en quantité) donnent chacune aux bornes la force électromotrice nécessaire, 110 volts par exemple, sont couplées en tension, et le troisième fil ou fil neutre part du conducteur qui les relie ; et les lampes sont mises en dérivation, soit sur le fil + et le fil neutre, soit le fil — et le fil neutre ; de cette manière, quand le nombre de lampes allumées dans chaque groupe est le même, le fil neutre n'est parcouru par aucun courant, si à une lampe d'un groupe en correspond une de l'autre groupe, ayant le même point d'attache sur le fil de compensation : le système fonctionne alors comme si le fil n'existant pas, et si les lampes étaient groupées deux par deux en série.

Lorsque ces conditions ne sont pas réalisées, le fil neutre est parcouru en chacun de ses points par un courant dont l'intensité est le produit de l'intensité normale de chaque lampe par la différence du nombre de lampes allumées dans chaque groupe au-delà du point considéré. Le courant le plus intense qui puisse être débité dans chacun des trois fils est donc au plus celui qui correspond à la moitié du nombre des lampes à desservir, et tombera bien au-dessous de cette valeur pour le fil neutre, si on fait pénétrer les trois fils dans chaque local dont la consommation est notable, de manière à équilibrer autant que possible les débits des deux groupes. On peut alors employer pour chacun des trois conducteurs un fil dont la section soit le quart de celle des deux fils qu'il aurait fallu employer dans le système ordinaire pour le même débit, et en consentant la même perte d'énergie; mais les pertes de charge et, par suite, les différences entre les tensions individuelles des lampes peuvent être plus grandes.

Que l'on emploie la dérivation simple, ou un système à trois ou cinq fils, on diminuera toujours ces différences et on approchera davantage de l'uniformité dans la distribution en employant des feeders ou alimentateurs, c'est-à-dire en reliant directement aux pôles des machines, ou aux rails du tableau de distribution, des points convenablement choisis sur le circuit. Les constructeurs forment ainsi un réseau que la station centrale alimente par plusieurs voies, et si un accident survient dans l'une des portions du circuit, les conséquences en sont très localisées. De chacun des points de jonction des feeders avec le circuit général, partent des fils fins, revenant à la station où leur différence de potentiel est mesurée. Chacun des feeders comporte autant de fils que le circuit général.

La régulation se fait entièrement à la main, de manière à amener, en chacun des points de jonction, la différence de potentiel entre le fil neutre et chacun des deux fils + et — à sa valeur normale au moyen de rhéostats placés sur ces deux fils. Toutefois, le réglage du feeder le plus chargé se fait en agissant sur les rhéostats de l'excitation des dynamos (celles-ci sont excitées en dérivation simple).

Comme disposition accessoire, la Compagnie américaine Edison emploie deux petites dynamos qui sont chargées du service pendant les heures de faible consommation. Deux commutateurs permettent, si un accident survient à l'une des machines, de réunir rapidement les rails \pm du tableau de distribution. Si, par exemple, c'est la machine dont le positif est réuni au rail + qui est mise hors de service, le rail + est, par le jeu du commutateur, séparé de la machine, connecté au pôle — de l'autre machine, qui porte alors toute la charge; le fil neutre, réuni à son pôle +, sert alors de fil de sortie commun pour le courant total.

M. Thury se dispense de fils de retour qui servent à contrôler les différences

de potentiel aux extrémités des feeders ou alimentateurs. Un voltmètre ordinaire est placé en dérivation sur les deux fils d'un feeder, mais en même temps le courant du feeder passe dans une barre de cuivre placée au voisinage de l'aiguille et tend à ramener l'aiguille au zéro; il est facile de placer cette barre à une distance telle que l'action de la bobine en dérivation (proportionnelle à la différence V de potentiel aux bornes de la machine) et celle de la barre (proportionnelle à l'intensité I du courant) produisent une déviation proportionnelle à $V - RI$, c'est-à-dire à la différence de potentiel au bout du feeder, et le réglage devra se faire en maintenant constante la dérivation de cette aiguille.

Lorsque la station centrale a à desservir plusieurs centres situés à des distances très différentes, le système du réseau devient inapplicable; d'un autre côté, il est utile, pour ne pas éléver outre mesure le prix des conducteurs, de consentir à une perte de charge sur les circuits les plus longs. Pour pour pouvoir utiliser une même grande dynamo à l'alimentation des divers centres secondaires, M. Lahmeyer emploie (disposition exposée par M. Garnot) une dynamo auxiliaire pour chaque centre secondaire; cette dynamo, actionnée par le moteur de l'usine, est montée en série et traversée par le circuit; elle ajoute donc pour ce circuit, à la force électromotrice de la machine principale maintenue constante, une force électromotrice proportionnelle au débit de ce circuit secondaire; cette disposition évite l'emploi de résistances destinées à équilibrer les divers circuits secondaires.

La Compagnie Thomson-Houston emploie un procédé différent pour alimenter aussi un système à trois fils. Soit une machine A génératrice à 220 volts et deux autres dynamos plus petites dont les inducteurs sont pris en dérivation sur les pôles de la machine A; les deux induits, en série, forment également une dérivation sur cette machine; les trois fils sont attachés, deux aux bornes de A et le troisième au fil connectant les deux induits: ce troisième fil joue le rôle du fil neutre. Ces deux dynamos, attelées sur le même arbre, fonctionnent toutes deux comme des moteurs, absorbant chacune 140 volts environ; elles peuvent être placées d'ailleurs à une distance quelconque de la génératrice.

Il est clair que le même système permettrait la division de la force électromotrice en 3, 4 ou 5 parties égales, en employant autant de dynamos.

Cette même division est approximativement réalisée pour les courants alternatifs par une disposition toute différente due au professeur E. Thomson. Les deux fils issus de la machine primaire sont reliés, à une distance quelconque, par une série de quatre bobines contenant un noyau de fer et ayant un coefficient de self-induction très élevé. Des extrémités de chacune de ces bobines partent des conducteurs entre lesquels sont placées les lampes en dérivation et dont la différence de potentiel, constante malgré les variations de débit, est sensiblement le quart de celle des bornes.

DISTRIBUTION AVEC ACCUMULATEURS

L'emploi des accumulateurs pour la distribution des courants continus offre des avantages évidents au point de vue de la régularité de l'éclairage. Les variations de vitesse des moteurs n'ont plus d'influence nuisible sur la tension aux bornes des circuits, qui peut être maintenue constante à un volt près, en plus ou en moins, par l'adjonction de nouveaux éléments, s'il est nécessaire. L'utilisation des chaudières, des moteurs et des dynamos est améliorée, parce que le travail de ceux-ci peut être continu, et enfin une interruption, même de quelque durée, est sans inconvénient si la capacité des accumulateurs est suffisante. Par contre, le capital d'installation est généralement plus considérable et les frais acérus de l'entretien et du remplacement des plaques; enfin une perte notable d'énergie, environ 30 %; accompagne la transformation lorsque les accumulateurs sont chargés par les dynamos et déchargés ensuite dans les circuits; cette perte est compensée quand le courant de charge est produit par une machine à haute tension et à grande distance, par l'économie faite sur les câbles. Aussi n'a-t-on point formulé de règles générales relatives à leur emploi. Pour chaque cas, la solution préférable ne peut être déterminée que par l'examen des conditions particulières, notamment de la répartition des heures d'éclairage dans la journée.

M. Crompton a proposé d'employer les accumulateurs, répartis dans des centres secondaires, pour distribuer le courant produit par une dynamo à haute tension, et a organisé ainsi un certain nombre de stations centrales (Vienne, Kensington, le Mans, Gothenbourg).

Le courant partant d'une dynamo à 440 volts, traverse en série de quatre batteries d'accumulateurs placées dans autant de stations secondaires et sur les bornes desquelles sont branchées les canalisations de distribution proprement dite à 100 volts. Les accumulateurs se chargent aux heures de faible consommation, peuvent venir en aide à la machine au moment de la consommation maximum et, au besoin, la suppléer pendant un court arrêt. Leur capacité doit être calculée d'après la forme de la courbe indiquant la consommation aux différentes heures de la journée. Dans un exemple cité par M. Crompton, les accumulateurs auraient à fournir, au moment du maximum, le tiers de la consommation, et la machine les deux autres tiers. Abstraction faite des frais généraux et de l'amortissement, M. Crompton évalue à 0 fr. 203 les 1 000 watt-heures. Plus récemment, M. Crompton évaluait à un dixième seulement la part à demander aux accumulateurs et à 0 fr. 15 les 1 000 watt-heures, c'est-à-dire 0 fr. 11 le cheval-heure aux bornes des lampes, prix singulièrement bas.

Le même système est préconisé par la Société propriétaire des brevets Faure, Sellon, Volkmar.

Un autre système basé sur l'emploi de stations secondaires d'accumulateurs,

consiste à les charger pendant une partie de la journée et à les séparer des dynamos pendant qu'ils débitent, ce qui exige évidemment un bien plus grand poids de plomb, des dynamos plus puissantes, et fait subir à toute l'énergie dépensée la coûteuse transformation des accumulateurs. Tel est le système King.

Le système King est adopté par l'Electrical Power Storage Company et la Chelska Electricity Supply Company. Des dynamos à haute tension, placées dans une station centrale, chargent à haute tension des accumulateurs disposés dans des stations ou centres secondaires situés au milieu de la région à éclairer. Un centre secondaire comprend 8 groupes de 54 accumulateurs, dont 4 distribuent le courant tandis que les 4 autres sont chargés en séries; ce centre secondaire est destiné à alimenter 2000 lampes de 30 watts à 100 volts.

L'usine centrale charge en série tous les centres secondaires, c'est-à-dire que dans le circuit des dynamos sont intercalés à chaque centre 216 accumulateurs; la charge de ceux-ci prend ordinairement six heures; lorsqu'elle est achevée, les 216 accumulateurs sont mis automatiquement hors circuit, placés sur le circuit de distribution et remplacés dans le circuit de la charge par les 216 autres. La charge de cette seconde série étant terminée, ces accumulateurs sont également placés sur le circuit de distribution par groupes de 54. La charge totale demande douze heures environ. De plus, en cas d'insuffisance des batteries en hiver, pendant les deux ou trois heures les plus chargées, un transformateur à courant continu est alimenté à courant constant par la station centrale.

La constance de potentiel de distribution est obtenue par l'intercalation automatique d'accumulateurs intercalés en sens contraire dans les circuits de distribution et qui règlent ce potentiel à 1 volt 1/2 en plus ou en moins de potentiel normal.

Dans ces conditions, on estime que l'énergie consommée dans les lampes serait environ 70 % de l'énergie disponible aux bornes des dynamos, et on estime à 12 % de leur valeur les frais d'entretien à leur état normal des accumulateurs employés.

Avec cet ensemble de dispositions, la capacité totale du système ou le nombre de lampes qui peuvent être alimentées pendant la partie la plus chargée de la journée est à peu près le double de ce que les dynamos seules pourraient fournir, si l'on tient compte de la perte qu'entraîne l'usage des accumulateurs.

L'organe essentiel est l'appareil automatique qui arrête la charge des accumulateurs; c'est un gazomètre dans lequel se rend l'hydrogène dégagé sur la plaque négative d'un des accumulateurs, choisi comme témoin de l'état du groupe dont il fait partie et dont la capacité est calculée de manière qu'il soit plein lorsque la charge est complète. Ce gazomètre porte une valve qui est maintenue fermée par un électro-aimant actionné par le courant de charge; quand le gazomètre est plein, il actionne un relais, forme le circuit d'une pile locale dans un

électro-aimant qui, en attirant son armature, rompt les contacts entre le circuit de charge et les accumulateurs et relie ceux-ci à la distribution. Cet appareil est le « transposeur » (*transposing-switch*). Chaque série de 216 éléments est reliée à un transposeur. En même temps que les contacts (à mercure) du courant de charge et du transposeur sont rompus, le circuit local est interrompu dans un électro-aimant dit *relais de charge*, qui introduit rapidement une résistance en charbon à la place des accumulateurs.

L'armature du transposeur, continuant son mouvement, détermine ensuite un contact agissant sur le transposeur n° 2 de la seconde série de 216 éléments ; celui-ci rompt les connexions avec le circuit de distribution, met ensuite ces éléments en série sur le circuit de charge, puis rétablit le courant dans l'électro-aimant du relais de charge, supprimant ainsi la résistance en charbon. La seconde série se charge à son tour et, quand sa charge est complète, elle est mise, par l'intermédiaire du gazomètre, sur le circuit de distribution. En même temps, un signal est envoyé à la station centrale.

Un second organe de réglage est en rapport avec le circuit de distribution et règle la tension au point où les alimentateurs (*feeders*) se soudent au circuit principal. C'est un voltmètre actionnant un relais polarisé, dépendant d'un circuit local et au moyen duquel on peut introduire ou supprimer dans les circuits de décharge un ou plusieurs accumulateurs en sens inverse du courant de décharge (1). La décharge totale est [d'ailleurs répartie également entre les deux groupes de 216 éléments au moyen d'une *balance* : c'est un double solénoïde dont chaque branche est parcourue par le courant d'un des groupes et qui supprime, pour le groupe dont le courant est le plus faible, l'un des accumulateurs dont on vient de parler.

Le voltmètre régulateur présente une disposition particulière : il est compensé pour les variations de température. A cet effet, le courant passe non-seulement dans le fil fin de la bobine, mais dans un filament de charbon qui lui est ajouté en série et dont une extrémité plonge dans un tube recourbé dont une branche est formée et remplie d'alcool, tandis que la branche ouverte renferme du mercure et reçoit l'extrémité du filament de charbon ; une élévation de température augmente le volume de l'alcool, fait monter le mercure et diminue la longueur de la partie efficace du charbon.

La supériorité pratique de tous ces agencements automatiques sur le réglage à la main reste à établir.

Le major général Webber estime que la station pourrait débiter 600 ampères et, au besoin, 800 exceptionnellement, ou alimenter 2 000 lampes normalement et accidentellement 2 400, correspondant à 210 magasins ou appartements ayant 27 lampes, mais ne se servant que d'un tiers à la fois.

1. Ce sont ces accumulateurs qui fournissent le courant aux circuits locaux qui actionnent les appareils régulateurs.

La Société pour la transmission de la force par l'électricité a installé à Paris et employait à l'Exposition (1) une distribution à basse tension dans laquelle elle emploie aussi simultanément des dynamos et des accumulateurs. Ceux-ci servent à la fois de volant pour la tension et de réserve pour la partie de la journée où la consommation est le plus faible ; de plus, ils peuvent jouer le rôle d'une machine de secours ; il faut, pour cela, que leur capacité soit équivalente à l'unc des unités génératrices du courant.

Les pôles négatifs des machines et de la batterie sont réunis sur une même barre, tandis que les dispositifs des machines ont en connexion avec le pôle positif d'un élément de cette batterie dont le rang est variable à volonté. La batterie ayant 65 éléments, on introduit aussi dans le circuit d'une des dynamos un nombre variable (de 65 à 48) d'accumulateurs. L'organe dit *commutateur de réduction*, qui établit cette connexion, est un simple contact mobile, lié au pôle de la dynamo, glissant sur une série de touches reliées aux pôles des 17 derniers éléments de la batterie. Dans le circuit principal de la dynamo est intercalé un disjoncteur automatique qui interrompt le courant dès qu'il tombe au-dessous d'une valeur fixée à l'avance.

Les pôles négatifs des divers feeders ou alimentateurs du réseau sont réunis aux négatifs des dynamos et des accumulateurs, tandis que les pôles positifs peuvent, par l'intermédiaire de commutateurs de réduction semblables à ceux des dynamos, être reliés à l'un des accumulateurs de la série.

Tous les commutateurs sont réglés à la main, ainsi que les rhéostats d'excitation des dynamos, d'après les indications des voltmètres et ampèremètres placés sur chaque circuit, tant des machines que d'alimentation. Les éléments de la batterie doivent être fréquemment changés de place, et les dynamos susceptibles de fonctionner également bien avec des forces électromotrices variables. Une station de ce système a fonctionné à l'Exposition, alimentée par trois dynamos Marcel Deprez à double anneau.

Pour une distribution étendue, la Société préconise l'emploi de plusieurs stations secondaires à basse tension, avec dynamos et accumulateurs, dont les réseaux seraient reliés entre eux et auxquelles la force motrice serait fournie par des récepteurs à haute tension, recevant le courant d'une station centrale proprement dite.

M. Léon Gérard, de Bruxelles, emploie trois modes de distribution :

1° A 110 volts, avec chargement d'accumulateurs ; ceux-ci, au nombre de 60, sont divisés en deux groupes : l'un desservant la ligne, le second recevant le plein courant de la machine. Le tableau est disposé de manière à introduire à volonté les accumulateurs du second groupe dans le premier, et par suite à maintenir la tension constante malgré les variations de débit ;

1. Voir dans l'atlas ci-joint, planches 9 à 12, la station centrale du Champ de Mars de la Société de transmission de la force par l'électricité.

2^o Le système en série simple, avec des machines de 800 volts et 10 ampères ; une résistance variable de 0 à 2 ohms suffit pour le réglage ;

3^o Un système de distribution à haute tension et à grande distance avec accumulateurs, qui est appliqué au Théâtre et à l'Hôtel-de-Ville de Bruxelles, système proposé dès l'apparition des accumulateurs et que M. Crompton emploie également, comme on l'a vu plus haut. Un des inconvénients de ce système est que tous les accumulateurs en série sur la machine reçoivent le même courant et que le débit de chaque groupe est différent. L'organe appelé *permutateur* par M. Gérard remédie à cet inconvénient en mettant successivement chaque groupe d'accumulateurs en relation avec les divers circuits. A Bruxelles, les 600 accumulateurs sont chargés par une machine située à 3700 mètres ; ils sont divisés en 10 groupes de 60 ; ils alimentent 10 circuits distincts dont les 20 pôles sont en relation, par des frotteurs circulaires, avec autant de cercles métalliques disposés suivant les sections droites d'un cylindre isolant, mis en rapport, par des barres noyées dans le cylindre, avec les pôles des batteries par l'intermédiaire de contacts à ressort réglable. Chaque rotation d'un dixième de circonférence change les rapports des circuits et des batteries.

* ONDULEUR SOLIGNAC

Un système tout particulier était exposé par la Compagnie Popp ; il est basé sur l'emploi de l'onduleur de M. Solignac. Les dynamos génératrices sont à courant continu et à haute tension. Les centres secondaires alimentés par ce courant le transforment en courants alternatifs à haute tension également, reçus par des transformateurs Gaulard. Chaque centre secondaire se compose de deux transformateurs dont les circuits primaires sont mis en dérivation, chacun aux extrémités d'une résistance variable depuis zéro jusqu'à l'infini. Les deux commutateurs tournants qui font varier ces résistances sont montés sur le même arbre, de sorte que la somme des résistances des circuits soit constante, l'un des transformateurs se trouvant en court circuit quand l'autre est sans dérivation et reçoit le courant total ; ils sont, de plus, munis d'inverseurs par lesquels le courant est renversé dans le transformateur au moment du court circuit. A l'Exposition, on faisait ainsi fonctionner quatre bougies Jablochkoff au moyen d'accumulateurs fournissant 60 volts et 45 ampères.

Dans ce système, chaque centre secondaire doit être pourvu d'un moteur tournant avec une rapidité suffisante pour permettre un emploi économique des transformateurs ; cette disposition n'a pas encore été appliquée autrement qu'à titre d'expérience ; il est difficile de voir quels avantages elle présente sur l'emploi direct des transformateurs combinés avec des machines à courants alternatifs, ou l'emploi des transformateurs à courant continu combinés avec une distribution à courant continu.

VII. — Compteurs.

COMPTEUR DE TEMPS

Le compteur Aubert est un appareil de 0^m,10 de diamètre renfermant un mouvement d'horlogerie, pouvant marcher deux cents heures, actionnant un compteur. Un électro-aimant déclenche le mouvement quand le courant passe, tandis que, pendant l'interruption du courant, l'armature, rappelée par son ressort antagoniste, arrête le mouvement. Le compteur, fort économique, ne convient qu'à une lampe unique, ou à un groupe de lampes fonctionnant simultanément.

COMPTEUR CHIMIQUE

Le compteur chimique d'Edison est très précis, il est répandu principalement aux Etats-Unis, où il est employé par la Compagnie Edison. Sous sa forme primitive, il consistait en un double voltamètre à sulfate de cuivre ; la lame positive de l'un, la lame négative de l'autre étaient attachées aux deux extrémités du fléau d'une balance, fléau qui à chaque oscillation faisait manœuvrer un commutateur par l'intermédiaire d'un relais, ce qui permettait une totalisation. Ce système paraît abandonné aujourd'hui ; le compteur actuel se compose d'un voltamètre à sulfate de zinc, suivi dans les grands modèles d'un second voltamètre de contrôle.

Ce voltamètre est placé en dérivation sur une résistance en maillechort parcourue par le courant à mesurer ; le courant dérivé passe par les voltamètres et par une résistance en cuivre calculée de manière à ne laisser passer que $\frac{1}{1200}$ du courant total, ou à déposer un milligramme de zinc par heure et par ampère livré au consommateur. D'après les expériences citées par la Compagnie Edison, la résistance totale du circuit dérivé, est pratiquement constante entre 10 et 30 degrés centigrades, pour des courants variant de 0 à 20 ampères pour le type le plus répandu ; les variations de résistance du cuivre, du liquide et de la polarisation (d'ailleurs bien faible) des électrodes se compensent presque rigoureusement ; les variations de la résistance du maillechort sont très faibles de sorte qu'on peut considérer le courant du voltamètre comme une fraction constante du courant total, et le poids du zinc déposé comme une mesure pratique de la quantité d'électricité dépensée.

Il est nécessaire que le métal et la dissolution employés soient très purs, et que la distance des plaques soit maintenue constante. Pour éviter l'abaissement de la température au-dessous du point de congélation, une lame bimétallique est disposée dans la boîte qui contient les voltamètres et la résistance en maillechort ; lorsque la température s'abaisse, la lame se courbe et établit un contact allumant une lampe qui réchauffe l'air ambiant.

Ce compteur n'est arrivé à sa forme actuelle, considérée comme pratique, qu'après de nombreuses modifications de détail et des essais variés. Entre autres, Edison avait essayé un voltamètre à eau : après dégagement d'un volume déterminé de gaz, une explosion avait lieu ramenant toutes choses à l'état primitif. Dans le même ordre d'idées M. Trouvé propose de faire mouvoir une roue à auget formant compteur pour les gaz dégagés. Il est inutile d'exposer les défauts de ces systèmes.

COMPTEUR ARON

Les compteurs Aron se composent de deux pendules, dont l'un est un pendule ordinaire ; le second, synchronique au premier quand il n'y a pas de courant, porte à son extrémité inférieure un aimant permanent si c'est un compteur de quantité, une bobine en dérivation si c'est un compteur d'énergie ; l'aimant, ou la bobine, oscille à l'intérieur d'un solénoïde fixe dans lequel passe le courant principal ; la différence des nombres d'oscillations par heure est très sensiblement proportionnelle au courant dans le premier cas, à la puissance dans le second, et la différence dans un temps quelconque à la quantité d'électricité, ou au nombre de joules. Cette différence est enregistrée au moyen d'un train épicycloïdal dont l'axe a une vitesse angulaire proportionnelle à la différence des vitesses de deux roues commandées chacune par les rouages d'un mouvement d'horlogerie correspondant à chaque pendule.

Ce système très répandu en Allemagne, et dont plusieurs constructeurs exposaient des modèles, fonctionne très bien une fois le synchronisme des pendules bien réglé à vide. Il s'adapte aisément au système à trois fils : on fait porter à l'un des pendules deux aimants oscillant au-dessus de deux bobines.

Enfin, ce système s'applique aux courants alternatifs, avec une exactitude suffisante pour la pratique.

COMPTEUR ELIHU THOMSON

Le compteur Thomson pour courants alternatifs se compose d'un transformateur, d'un thermomètre différentiel, porté en son milieu par un fléau de balance, et d'un appareil enregistreur. Dans les deux boules du thermomètre sont insérées deux résistances qui communiquent d'une manière permanente par l'une de leurs extrémités avec l'une des bornes du circuit secondaire du transformateur, dont l'autre borne communique avec deux coupes à mercure placées sous les boules du thermomètre.

Quand le fléau incline d'un côté, la résistance du même côté a son extrémité dans le mercure correspondant, de sorte que le courant secondaire du transformateur passe tantôt dans une des résistances, tantôt dans l'autre. Le thermomètre différentiel contient une assez grande quantité de liquide ; lorsque le cou-

rant secondaire passe dans la résistance de gauche, par exemple, il l'échauffe, dilate l'air du réservoir, et le liquide est chassé dans la boule de droite, qui devient plus pesante, et fait incliner le fléau à droite; le courant est alors interrompu dans la résistance de gauche, passe dans celle de droite, l'échauffe, chasse le liquide dans la boule de gauche et ainsi de suite; le nombre des oscillations du fléau (qui est enregistré par le compteur proprement dit) dans un temps donné va donc en croissant avec l'intensité du courant secondaire et, par suite, avec celle du courant primaire du transformateur suivant une loi qu'il paraît difficile d'établir *a priori*. Le professeur Elihu Thomson a trouvé que si on compose le circuit primaire du transformateur d'un double enroulement, l'un dans lequel passe le courant à évaluer, l'autre fin, placé en dérivation sur le circuit de ce courant, supposé alimenté par la machine à potentiel constant dont il a été parlé plus haut, le nombre d'oscillations est, dans une assez grande étendue, proportionnel à l'intensité effective du courant alternatif.

Un compteur analogue a été construit pour le système à trois fils; l'enroulement primaire du transformateur est alors plus compliqué. Si l'on désigne par A, B, C les trois fils, le fil B étant le fil neutre ou de compensation, ce circuit primaire se compose : 1^o d'un enroulement pris sur le fil A ; 2^o d'un enroulement en dérivation sur A et B ; 3^o d'un enroulement pris sur le fil B, mais ayant la moitié du nombre des tours pris sur A et en sens contraire, de sorte qu'un courant passant dans le fil B donnant une indication dans un sens, le même courant passant dans A donnerait une indication dans l'autre sens. Ceci posé si n lampes sont mises en dérivation entre B et C, l'instrument indiquera n ; si elles sont placées entre A et B l'indication sera $2n - n$, ou encore n ; si n lampes sont placées dans chaque circuit, le fil compensateur n'est parcouru par aucun courant, et l'indication sera $2n$; enfin s'il y a n lampes entre A et B, n' lampes entre B et C, A sera parcouru par un courant $n - n'$ et par suite l'indication correspondra à $2n - (n - n')$ ou à $n + n'$ lampes.

COMPTEUR A MOTEUR

Desroziers. — Une dynamo motrice a son induit en dérivation, tandis que le champ est proportionnel au courant principal; l'induit est sans fer, et du type des induits de la machine décrite plus haut, et pour compenser la réaction d'induit, l'enroulement des inducteurs est mixte; ces inducteurs sont des solénoïdes sans fer. Ce moteur fait tourner un disque plat entre les pôles d'aimants permanents; la vitesse est théoriquement proportionnelle au produit des courants de l'induit et de l'inducteur, et il suffirait de faire entraîner les rouages d'un compteur par l'axe de l'induit. Pour compenser les résistances passives, l'auteur fait passer dans les inducteurs un troisième courant, inversement proportionnel au courant de l'induit, et produit par une dynamo auxiliaire, excitée par le courant même de cet induit; l'anneau de cette seconde dynamo est parcouru par un

courant qui devrait varier en raison inverse du premier, et produire en passant dans les inducteurs de la première un couple constant qu'on pourrait régler de manière à le rendre égal à celui des résistances passives. L'appareil démarre trop difficilement pour pouvoir être employé dans sa forme actuelle.

Le compteur Borrel, pour courants alternatifs est un disque en fer au-dessus duquel sont deux barreaux de fer, parallèles et coudés; une bobine placée excentriquement enveloppe le disque et l'extrémité des barreaux; quand un courant alternatif d'une intensité suffisante passe dans la bobine, le disque tourne avec une vitesse croissant avec l'intensité du courant; un compteur de tours est placé sur son axe, la vitesse n'est proportionnelle à l'intensité que dans des limites trop restreintes pour que le résultat puisse être considéré comme satisfaisant.

COMPTEURS A TOTALISATEUR

L'intégromètre de M. Jacquemier paraît être le premier en date des instruments où la totalisation se fait par un embrayage à durée variable avec la grandeur de la quantité à mesurer. Dans son premier compteur de quantité, une aiguille, reliée par engrenage à l'axe de l'ampèremètre, se déplace en face d'un cadran; l'axe de ce cadran reçoit d'une horloge un mouvement continu et uniforme; il porte un encliquetage, qui peut engrener sur une roue à rochet folle sur l'axe; en tournant, une pièce fixée au cliquet vient heurter un butoir correspondant au zéro de l'aiguille, et fait mordre le cliquet sur la roue à rochet qui entraînée jusqu'à ce que cette pièce vienne rencontrer un second butoir porté par l'aiguille, qui lui donne un mouvement en sens contraire et dégage le cliquet. A chaque tour, le rochet tourne d'un angle égal à celui de l'aiguille, et l'angle dont il a tourné pendant un temps quelconque est proportionnel à la quantité d'électricité, si la déviation de l'aiguille est proportionnelle au courant.

Cette proportionnalité est assurée ainsi: l'axe de l'aimant mobile entraîne avec lui une came sur laquelle s'appuie un levier dont les déplacements angulaires amplifiés sont transmis à l'aiguille; le profil de la came est tracé de manière que ces déplacements soient proportionnels au courant.

D'autres types étaient exposés par le même inventeur, dans lesquels une horloge fait mouvoir deux rouages: un rouage horaire, réglé par un échappement, et un second rouage, lâché toutes les cinq minutes par le premier, et fournissant le travail nécessaire pour faire avancer le totalisateur; toute la force motrice est fournie par deux barillets se remontant à la main. Les indications de l'ampèremètre sont constatées par la chute d'un sondeur qui, toutes les cinq minutes, tombe sur une came courbe solidaire de l'armature de l'ampèremètre; le mouvement du sondeur est transmis au totalisateur par un train épicycloïdal dans un modèle, par un pignon à déclenchement dans l'autre.

Dans un troisième type, l'organe sondeur est un petit balancier très léger, qui, dès qu'il frôle l'aiguille, subit un petit mouvement différentiel suffisant pour que son extrémité supérieure arrête les ailettes du rouage de totalisation. Pour maintenir la proportionnalité, le mouvement du sondeur est transmis au totalisateur par des roues dentées non circulaires.

Le compteur d'énergie représente un quatrième type. La bobine mobile du wattmètre est sollicitée d'une part par l'action du courant, de l'autre par un contrepoids mobile ; l'action du courant presse l'aiguille contre une butée. Le rouage du totalisateur, quand il a été lâché par l'horloge, déplace le contrepoids de manière à augmenter son action antagoniste ; il arrive un moment où la bobine est entraînée, et l'aiguille quitte son butoir ; elle rencontre alors un des mobiles du rouage et l'arrête ; le totalisateur indique donc la quantité dont le rouage a dû défiler pour que le contrepoids fasse équilibre à l'action des bobines, proportionnelle au nombre de watts ; par un choix judicieux de l'angle (102°) d'ouverture du levier coudé qui porte le contrepoids, le mouvement du rouage est rendu pratiquement proportionnel au moment des contrepoids par rapport à l'axe de la bobine, dans des limites de puissance de l'appareil, ce qui supprime les cames et roues dentées non circulaires. Sous cette dernière forme plus simple, le compteur de M. Jacquemier a donné des résultats satisfaisants comme exactitude, aussi bien pour les courants alternatifs que pour les courants continus.

M. Jacquemier exposait également un cinémomètre déjà ancien (1877) et qui, combiné avec un dynamomètre ou un indicateur et avec son intégromètre, permet la mesure du travail dans les machines.

Sous leur forme actuelle, les compteurs de M. Cauderay sont composés d'un appareil de mesure, d'un mouvement d'horlogerie et d'un totalisateur. Le mouvement d'horlogerie est entretenu par le courant. Il se compose d'un balancier de 700 grammes, oscillant sous l'action d'un spiral, à raison d'une oscillation double par seconde ; sur l'axe sont fixées les armatures des deux électro-aimants à pôles opposés, disposés dans un même plan vertical des deux côtés de l'axe ; les bobines des deux électros ont 1 000 ohms de résistance pour les distributeurs à 100 volts, sur lesquelles elles sont placées en dérivation.

Le principe de l'entretien est celui de M. Hipp ; le courant n'est lancé dans les électro-aimants, pendant un quart de seconde, que lorsque l'amplitude des oscillations descend au-dessous de 180° . Le contact est établi entre deux languettes d'acier portant des boutons de platine ; l'une de ces languettes est en forme de fourche, l'autre en forme de levier coudé, chacune porte deux contacts ; un double contact est donc établi : comme l'un d'eux est toujours légèrement en retard sur l'autre, l'étincelle d'interruption se produit toujours au même point, et l'autre contact ne s'altère pas ; ce contact est d'ailleurs accompagné d'un léger frottement qui nettoie les boutons de platine. Ces languettes sont articulées autour d'un axe et sollicitées à rester dans une position déterminée par des res-

sorts ; chacune d'elles est solidaire d'une tige en acier placée en face d'un collier correspondant sur l'axe du balancier ; l'un de ces colliers porte une came, l'autre porte deux entailles dans lesquelles s'engage la tige correspondante.

L'axe du balancier porte une came conique, taillée en spirale sur les quatre dixièmes de sa circonférence, qui à chaque oscillation pousse graduellement un galet porté par un levier articulé, et pressé sur la came par un ressort ; mais dans son mouvement de retour, l'extrémité du levier vient buter contre un secteur denté dont la position est réglée par celle de l'aiguille de l'ampèremètre, de sorte que le chemin parcouru par le levier est proportionnel à l'intensité ; les chemins décrits à chaque oscillation sont ensuite totalisés par un rochet et un compteur.

L'ampèremètre employé dans le compteur de quantité est un solénoïde parcouru par le courant, qui aimante un barreau de fer parallèle à son axe placé à l'intérieur ; une armature creuse en fer, plongeant obliquement dans le solénoïde, est articulée à une de ses extrémités, tandis que l'autre est repoussée par le pôle de même nom du barreau de fer en face de laquelle elle se trouve ; l'aiguille qui porte le secteur denté est fixée à cette armature.

Dans les compteurs d'énergie, l'appareil de mesure est un wattmètre, dont la bobine à fil fin a 3 000 ohms de résistance ; l'axe en acier de cette bobine porte, vissées sur des colliers réglables, deux tiges auxquelles sont attachés les ressorts antagonistes à des distances telles que la déviation de la bobine soit aussi voisine que possible de la proportionnalité avec la puissance à mesurer. L'axe du balancier porte un collier avec entaille, qui à chaque oscillation entraîne un levier muni d'un cliquet faisant avancer d'une dent une roue à rochet de 60 dents ; sur l'axe de cette roue est un cylindre en bronze, taillé suivant un plan incliné. Ce cylindre, par l'intermédiaire d'un galet, fait décrire un angle invariable à une tige articulée à l'une de ses extrémités ; cette pièce rencontre dans sa course l'extrémité de l'aiguille du wattmètre, la soulève plus ou moins suivant sa position sur le limbe en la ramenant au zéro ; l'aiguille transmet son mouvement à un cadre muni d'un secteur denté, engrenant avec le pignon de l'enregistreur.

Le compteur Cauderay-Frager se compose d'un ampèremètre, ou wattmètre, mouvement d'horlogerie et d'un totalisateur.

Les bobines fixes du wattmètre sont à axe horizontal ; la bobine mobile en fil fin, mobile autour d'un axe vertical, est suspendue à un fil fin de torsion, portant une aiguille dont les indications sont recueillies et totalisées toutes les 10,0 secondes.

La partie chronométrique se compose d'un balancier à spiral battant la seconde, dont le mouvement est provoqué et entretenu électriquement ; à cet effet l'axe du balancier, aplati dans sa partie médiane, est monté dans le plan de deux électro-aimants en fer à cheval, en dérivation sur le circuit général ; à l'état d'équilibre, la partie méplate est de 45° du plan des électro-aimants ; un commutateur spécial fait passer le courant pendant une des demi-oscillations du

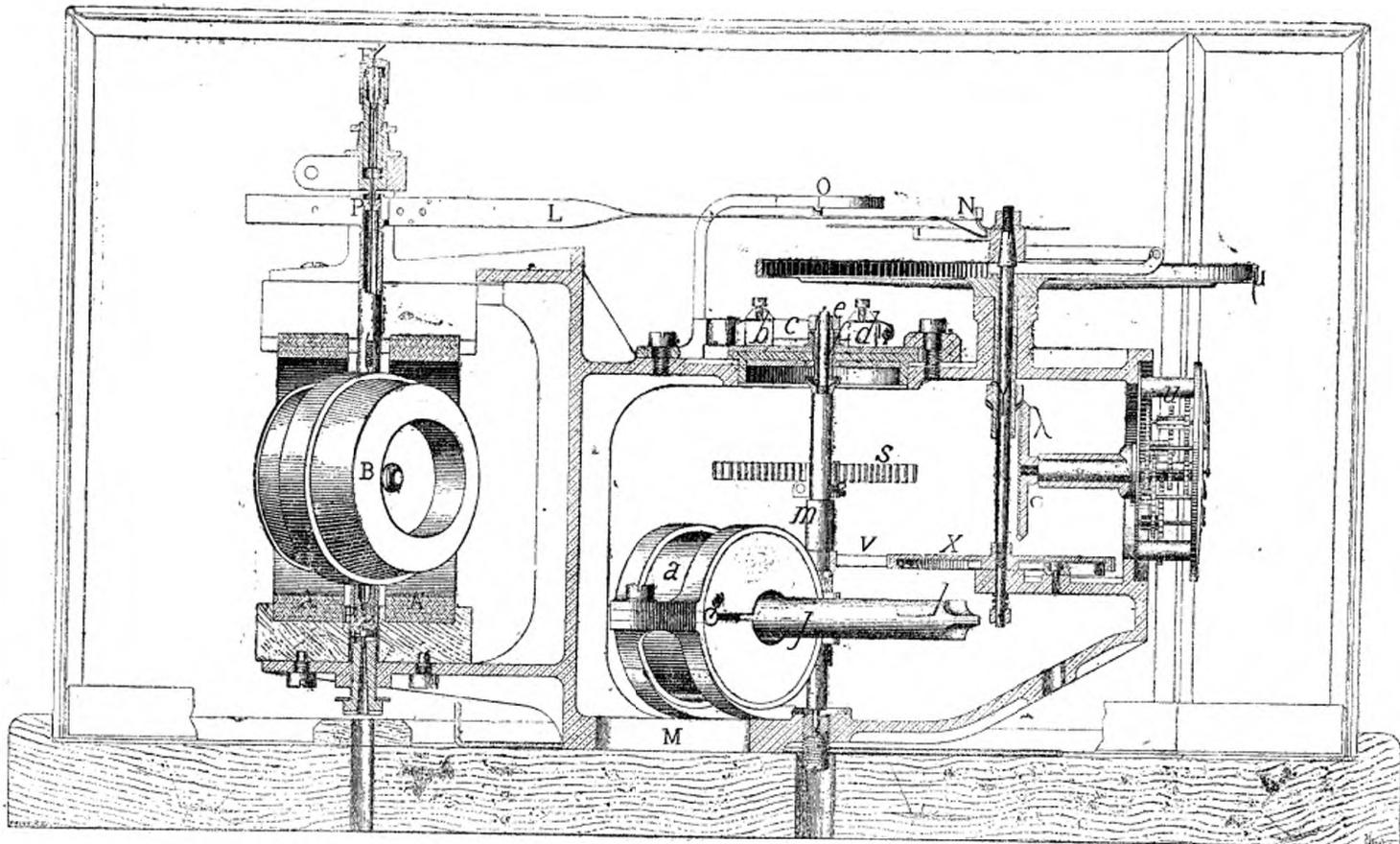


Fig. 30. — Compteur Frager. Elévation.

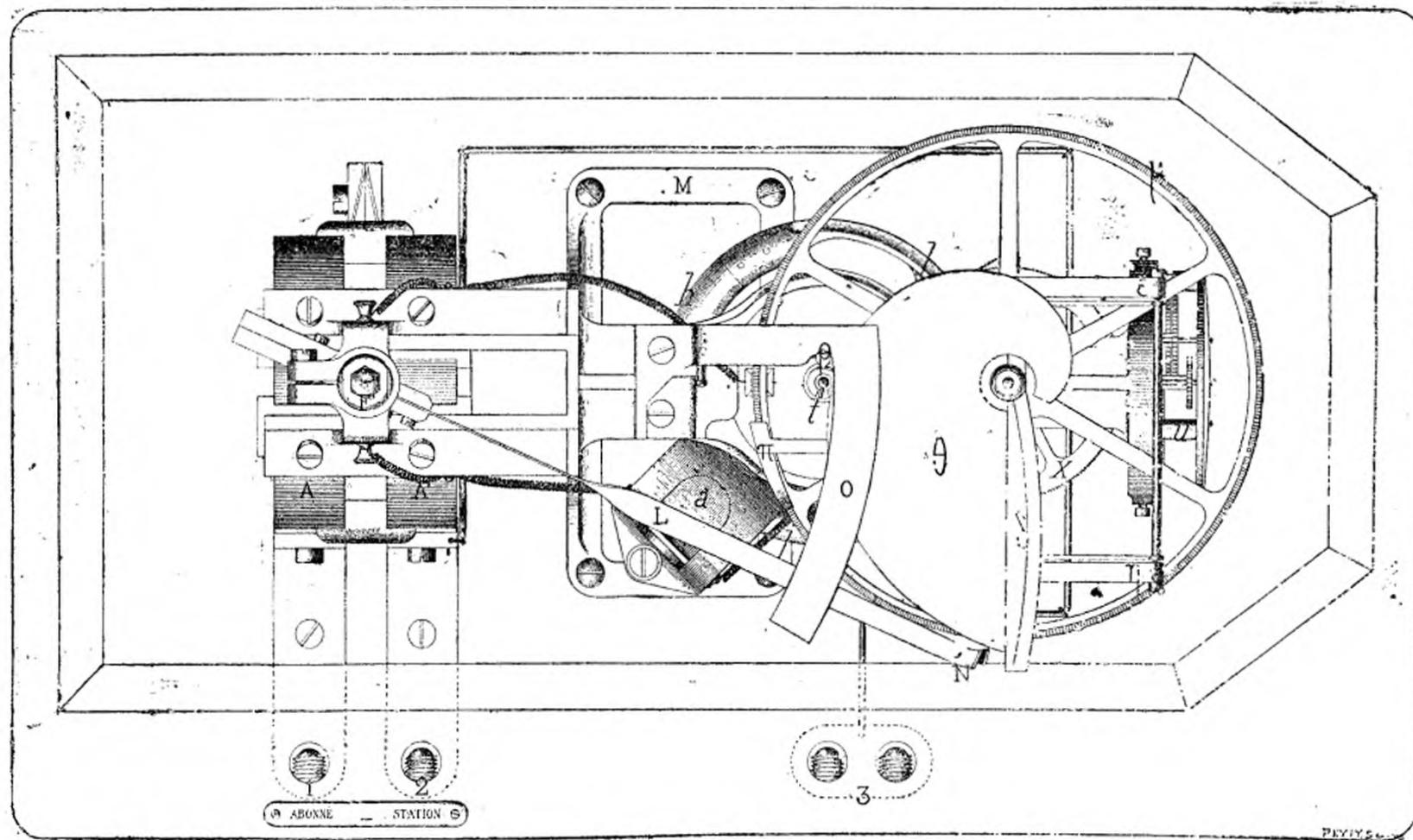


Fig. 31. — Compteur Frager. Plan.

spiral et du balancier. L'axe de ce balancier porte un cliquet à queue qui fait avancer d'une dent à chaque oscillation une roue de 100 dents, premier mobile du totalisateur.

L'arbre de cette roue porte à sa partie supérieure une rampe qui tourne avec lui, et vient saisir une fois par tour la pointe de l'aiguille, la fixe en l'appliquant sur un pont métallique; cette pointe tombe ensuite sur une came et provoque, en l'abaissant, l'embrayage d'une roue de 600 dents, montée sur le premier arbre de la minuterie; cet embrayage cesse quand la pointe sort de la came, et la courbe qui limite cette came est tracée de sorte que l'angle au centre de l'arc décris par la pointe de l'aiguille sur la came soit proportionnel non à la déviation de l'aiguille, mais au nombre réels de watts.

Le tracé de la came correctrice est rendu plus facile et les erreurs provenant des défauts de cette came diminuées, quand la bobine mobile est à 45° du plan des bobines fixes en l'absence du courant.

L'appareil s'applique aussi aux courants alternatifs, moyennant une petite correction dépendant de la période; il est entré dans la pratique.

Il est construit, comme les appareils Cauderay, par la Société pour la fabrication des compteurs.

COMPTEUR BRILLÉ

Dans ce compteur, comme dans le précédent, les indications du wattmètre sont totalisées après avoir été recueillies à des intervalles égaux; il comprend un électro-dynamomètre, un électromoteur, un modérateur, un mouvement d'horlogerie et un totalisateur.

L'axe de la bobine motrice de l'électro-dynamomètre est monté sur un couteau et sur un pivot; un ressort en spirale est calé sur son axe; deux butées limitent le déplacement de la bobine à un angle très petit.

L'électromoteur a trois armatures: l'une sert au remontage de l'horloge; une armature principale et une petite palette de fer doux. L'armature principale quand elle est attirée, tord le ressort de l'électro-dynamomètre, et lorsque la torsion fait équilibre au couple résultant de l'action réciproque des bobines, la bobine mobile jusque-là retenue par la butée, se déplace; son déplacement entraîne la rupture d'un contact, dit *contact de l'électro-dynamomètre*.

A des intervalles réguliers (cent fois par heure) l'horloge lance le courant dérivé dans les bobines de l'électro-moteur et dans la bobine mobile; la palette de fer doux est attirée et établit le contact de l'électro-dynamomètre en dérivation sur celui de l'horloge, l'armature de remontage fonctionne également, remonte l'horloge et interrompt le contact de l'horloge; l'armature principale se met en mouvement, avec une vitesse réglée par le modérateur, jusqu'au moment

où le contact de l'électro-dynamomètre étant rompu, aucun courant ne passe ; la palette de fer retombe, et l'armature principale revient en place.

Dans chacun de ces mouvements l'armature principale décrit l'angle nécessaire pour que le ressort l'emporte sur l'action électrodynamique, angle qui est la somme de la torsion nécessaire pour arracher le contact de la butée quand le courant est nul, et de la torsion équivalente au nombre des watts ; cette dernière torsion seule doit être enregistrée et totalisée. Le rôle du modérateur est de rendre aussi constante que possible la vitesse de torsion du ressort de l'électro-dynamomètre ; il est composé d'un moulinet monté sur un châssis mobile autour du même axe. Ce châssis est maintenu dans sa position normale par un ressort, dont la tension fait équilibre au couple transmis au moulinet quand celui-ci possède sa vitesse normale ; quand ce couple croît, le châssis s'incline et fait frein sur une poulie commandée par l'arbre du dynamomètre.

La totalisation des angles décrits par l'armature principale se fait par un entraîneur à friction ; c'est un cylindre serré aux trois points de contact d'un triangle métallique dont un angle est formé par une lame flexible ; l'un des côtés de cet angle porte un prolongement ; en appuyant dans un sens sur ce prolongement on ouvre l'angle flexible, et le triangle glisse sur le cylindre ; si on appuie en sens inverse, l'angle tend à se fermer, le cylindre est serré et entraîné. Ce prolongement est actionné par une bielle dont l'extrémité porte une coulisse ; cette bielle fait partie d'un parallélogramme articulé, dont un côté participe au mouvement de l'armature principale ; la longueur de la coulisse est réglée de manière que la bielle n'agisse pour entraîner le cylindre que lorsque l'armature a déjà décrit l'angle correspondant à un couple nul dans l'électro-dynamomètre.

L'appareil est théoriquement parfait : l'entraîneur produit un cliquetage sans temps perdu, et le couple, étant mesuré dans une position constante de la bobine mobile de l'électro-dynamomètre, est rigoureusement proportionnel au nombre de watts ; mais les pièces en sont nombreuses et délicates.

Le compteur Blondlot, construit par M. Fabius Henrion, comprend un wattmètre et un totalisateur. Le wattmètre est un solénoïde vertical à gros fil, à l'intérieur duquel peut tourner une bobine plate de fil fin, dont l'axe horizontal traverse le solénoïde et porte une aiguille mobile sur un cadran. À intervalles réguliers, toutes les cinq minutes par exemple, un courant est lancé dans un électro-aimant à fil fin, dont l'armature attirée ramène brusquement l'aiguille au zéro correspondant à la position verticale de la bobine plate ; au même moment, un disque en fer terminant l'axe de l'aiguille, attiré par un second électro-aimant, vient s'appliquer contre un disque semblable porté par l'axe d'une vis sans fin conduisant le rouage du totalisateur, axe qui est ainsi embrayé magnétiquement à chaque retour de l'aiguille au zéro ; le courant lancé dans les électros cesse au bout de quelques secondes, le débrayage a lieu et l'aiguille du wattmètre, libérée, revient à sa position d'équilibre.

Compteur Clerc. — Wattmètre dont la bobine mobile est suspendue sur deux pointes ou deux couteaux ; la force antagoniste est un poids réglable ; il porte un cliquet qui permet à la bobine de s'écartez de son zéro, mais mord sur un rochet quand s'opère le retour au zéro ; l'axe de ce rochet est pourvu d'un engrenage commandant l'enregistreur.

Toutes les minutes, l'instrument est ramené au zéro par un mécanisme déclenché par une horloge, qui peut être associée au compteur, ou être l'horloge d'une station centrale déclenchant à la fois tous les compteurs d'une distribution.

Le compteur d'électricité de M. Weber, exposé par la maison Alioth, paraît très simple ; l'instrument de mesure est un cylindre de fer doux qui, par l'action combinée d'un ressort et d'un solénoïde, s'enfonce plus ou moins suivant l'axe de celle-ci. A chaque oscillation de l'horloge, ce cylindre tourne et fait décrire à l'axe du premier mobile du compteur un angle proportionnel à l'intensité du courant ; à cet effet, le cylindre est creusé d'un sillon dont la largeur varie avec la hauteur ; à chaque position du cylindre correspond une longueur variable de la portion de sa circonférence suivant laquelle il entraîne cet axe par l'intermédiaire d'un galet.

VIII. — APPLICATION MÉCANIQUE

ASCENSEUR CHRÉTIEN

Une machine Gramme de 50 ampères et 200 volts, génératrice, envoie son courant à deux dynamos réceptrices placées en série, au sommet d'une tour de 35 mètres située vers l'entrée de la Galerie des Machines ; chacune de ces réceptrices actionne un arbre horizontal au moyen d'un manchon d'accouplement formé de deux plateaux en fonte portant des saillies, les saillies de l'un s'emboitant dans les intervalles qui séparent les saillies de l'autre.

L'arbre transmet par deux vis sans fin et deux grandes roues dentées son mouvement à deux arbres horizontaux qui lui sont perpendiculaires et portant les poulies à gorges sur lesquelles s'enroulent les câbles (¹) qui sont attachés, d'un côté, au sommet de l'ascenseur, et, de l'autre, à des contrepoids qui font équilibre à l'ascenseur chargé de quatre voyageurs (sur huit qu'il peut transporter).

1. Ces câbles, au nombre de 8, sont tous indépendants les uns des autres, et portent chacun leur contrepoids ; chacun d'eux pourrait faire le travail demandé sans dépasser sa limite d'élasticité.

Dans son déplacement l'ascenseur introduit automatiquement des résistances dans le circuit des dynamos, et l'interrompt complètement lorsqu'il arrive à la fin de sa course, soit vers le haut, soit vers le bas ; de plus, des résistances sont à la disposition du personnel qui occupe l'ascenseur et permettent de régler l'intensité de courant sur le nombre de personnes.

Enfin, l'arbre actionné par les dynamos porte une poulie de frein. Deux leviers articulés, munis de sabots en bois, sont réunis par un ressort dont la tension est suffisante pour arrêter tout l'appareil ; deux électro-aimants, agissant en sens inverse du ressort, tiennent les sabots écartés du frein, dès que le courant a l'intensité correspondant à la vitesse maximum.

CHEMIN DE FER DU NORD

La Compagnie du chemin de fer du Nord exposait un treuil électrique, employé à la gare de la Chapelle pour l'empilage de sacs. C'est un chariot à quatre roues portant deux dynamos, l'une dont l'arbre commande par engrenages ; l'un des essieux fait avancer ou reculer le chariot sur ses rails ; l'autre commande les mouvements d'élévation et de descente. Les prises de courant se font sur des langinettes de laiton fixées sur des madriers établis à l'intérieur du chemin de roulement. On peut produire l'un ou l'autre de ces mouvements avec 25 ampères et 100 volts. (Voir les planches de l'atlas ci-joint).

La même Compagnie exposait un appareil de manœuvre à distance des aiguilles. C'est une dynamo réceptrice de 110 volts et 10 ampères dont l'arbre porte une vis à 45 degrés, dont le pas est de 0^m,055 ; ce qui permet d'exercer sur les lames d'aiguilles un effort de 70 kilogrammes, et de les déplacer complètement en deux tours de vis ou un quart de seconde ; à la fin de la course, des taquets calent les lames appliquées sur les contre-rails.

SOCIÉTÉ POUR LA TRANSMISSION DE LA FORCE

Marteau-pilon. — Le marteau proprement dit est constitué par quatre fers doux, réunis par une culasse commune, s'engageant dans une série de quatre solénoïdes juxtaposés, et formés eux-mêmes de douze sections ou bobines élémentaires ; les quatre solénoïdes sont entourés d'une enveloppe en fonte qui augmente leur attraction sur les fers doux. Le poids du marteau est de 4200 kilogrammes, sa course de 0^m,90 ; il reste suspendu dans les solénoïdes lorsque huit sections seulement sont excitées.

Toutes les sections aboutissent à un collecteur semi-circulaire à quarante-huit lames portant deux balais ou frotteurs, qui peuvent avoir, à volonté, un mouvement indépendant ou être rendus solidaires. Pour soulever le marteau,

les balais laissant passer le courant dans huit sections, il suffit de donner à leur ensemble un mouvement de rotation, mettant toujours huit sections en circuit, mais prises de plus en plus haut sur les solénoïdes ; quand le marteau est au sommet de la course, la manivelle qui porte les balais est automatiquement déclenchée ; les balais reprennent immédiatement leur position primitive, les bobines inférieures des solénoïdes sont seules excitées, et leur action, de même sens que celle de la pesanteur, accélère la chute du marteau.

Au marteau est adjoint un pont roulant, qui pivote autour du marteau-pilon, et repose à l'autre bout sur un chevalet porté sur deux galets roulant sur des rails circulaires, de 6^m,60 de rayon ; une dynamo spéciale à un seul anneau, actionnant par une vis sans fin une roue calée sur l'axe des galets.

Cabestan. — La dynamo réceptrice, du système M. Deprez, porte deux anneaux indépendants qui tournent en sens contraire. Les arbres de ces anneaux portent des cônes de friction actionnant l'arbre vertical de la poupée ; des rhéostats permettent de faire varier la vitesse de rotation, entre douze tours au départ et soixante-dix en marche normale, avec des efforts au démarrage de 500 kilogrammes à 350 à la périphérie de la poupée.

RIVEUSE

Une riveuse, spécialement destinée aux cadres de foyers de locomotives, est actionnée par une dynamo réceptrice de 13 chevaux, tournant à 600 tours. L'arbre de cette machine, à quatre pôles, est évidé en forme d'écrou sur une portion de sa longueur ; dans cet écrou se meut l'extrémité filetée de la tige d'un piston plongeur vertical d'un corps de pompe verticale pris dans le bâti, et communiquant avec un grand cylindre qui lui est parallèle, l'ensemble formant une presse hydraulique. Le piston du grand cylindre porte la bouterolle supérieure ; la bouterolle inférieure est portée par le bâti ; l'ensemble, suspendu à un collier, peut être orienté dans toutes les directions.

Un commutateur ferme le courant sur les résistances progressivement décroissantes jusqu'au moment où la bouterolle est amenée au contact du rivet ; à ce moment la pression à exercer devient considérable (22 tonnes pour des fers de 0^m,022) ; le courant est rompu automatiquement avant la fin de la course. Le retour s'effectue très rapidement, et le circuit est encore coupé automatiquement avant la fin de cette course en arrière.

TREUIL ET GRUE

M. Guyenet s'est proposé de construire des treuils et grues électriques, d'un déplacement facile, et peu volumineuses, destinées spécialement aux manœuvres dans les magasins.

Le bâti du treuil est porté par un chariot qui permet de le transporter facilement. L'arbre du treuil porte deux tambours recevant les cordes, et à ses deux extrémités sont calées les roues par lesquelles il reçoit le mouvement de la dynamo, portée sur le même bâti; la jante de ces roues est évidée et présente deux couronnes, l'une intérieure, l'autre extérieure; la dynamo commande par courroie un arbre intermédiaire portant des galets de friction; un léger mouvement en avant ou en arrière du système formé de la dynamo et de l'arbre fait embrayer les galets sur la couronne intérieure ou sur la couronne extérieure; pour une position intermédiaire du levier de manœuvre, l'arbre intermédiaire tourne à vide; mais un frein commandé, par le même levier, est serré dès que l'arbre intermédiaire est brayé. Dans le treuil exposé, la dynamo faisant 1200 tours à la minute, on peut lever un poids de 160 kilogrammes avec une vitesse de 1^m,60 par seconde.

La grue du même constructeur a une largeur de 0^m,65. Son poids de 1000 kilogrammes permet de la transporter facilement. Le moteur dynamo Gramme (type supérieur) actionne l'arbre de la grue par une double transmission de courroie; la manœuvre se fait par une corde; à l'état de repos un frein empêche tout mouvement du fardeau; en tirant un peu sur la corde, le frein est desserré et le fardeau descend; en tirant davantage, on tend la courroie de la transmission et le fardeau remonte.

Cette grue lève des sacs de 100 kilogrammes avec une vitesse de 0^m,60; les manœuvres peuvent se succéder à raison de six par minute, et 100 sacs peuvent être arrimés en vingt ou vingt-cinq minutes.

Un mode nouveau de suspension des sacs, qui sont pris par le milieu, et dont le poids serre automatiquement les branches de la pince qui les saisit, complète cette grue, en permettant de laisser une moins grande hauteur entre le haut des piles et le plafond.

PONTS ROULANTS

Deux ponts roulants ont fonctionné avec une parfaite régularité pendant toute la durée de l'Exposition, et avaient servi au montage d'énormes pièces de machines; ils sont construits sur des plans légèrement différents.

Le pont Bon et Lustremont est actionné par une machine Gramme et pèse 35 tonnes; le mouvement de la dynamo est transmis par l'intermédiaire de deux galets de friction à un arbre qui commande les trois mouvements: 1^o de translation du pont, 2^o de déplacement vertical des fardeaux, 3^o de déplacement horizontal perpendiculaire à la direction des rails sur lesquels le pont circule par l'intermédiaire de six cônes, réunis deux par deux par des manchons tournant avec l'arbre sur lequel ils peuvent coulisser; chaque paire de cônes agit dans un sens ou dans l'autre soit sur les roues motrices, soit sur l'arbre du treuil, soit sur les roues du chariot porteur de celui-ci.

La dynamo réceptrice reçoit le courant d'une génératrice semblable (type supérieur) de 220 volts et 25 ampères, à 750 tours, couplée directement sur une machine Westinghouse.

Le pont Etcheverry-Bazan-Mégy est actionné par une réceptrice Miot qui transmet par engrenages son mouvement à l'arbre général, qui porte trois embrayages doubles à frein du système Mégy, commandant les trois mouvements.

La génératrice, également du système Miot, est couplée directement avec un moteur Mégy à grande vitesse et peut donner à 850 tours 70 ampères sous 300 volts, tandis que la réceptrice, à trois inducteurs, pourrait à la même vitesse donner 70 ampères à 200 volts; mais, dans les conditions du travail normal à l'Exposition, le pont, pesant 27 tonnes à vide et 36 à charge, absorbait, pour une vitesse de 0^m,60, une énergie électrique de 3500 watts (35 ampères et 100 volts), et il suffisait de faire marcher la génératrice à 500 tours (1).

HAVEUSE

M. Sperry expose une haveuse qui reçoit son mouvement d'un petit moteur électrique à axe vertical; à chaque tour le fleuret est ramené en arrière et comprime fortement un ressort qui le lance vivement en avant dès que le point mort est atteint; en dix heures de travail, un homme et un aide auraient pratiqué, sur une longueur de 36 mètres, une sous-cave de 1^m,20 de profondeur, en donnant 200 coups par minute; la dépense à la surface était de 2 chevaux 55; la dynamo génératrice était à 480 mètres du front de taille, où le moteur fournit 1 cheval 73; la perte sur la ligne était de 2,25 volts, avec un courant (maintenu constant) de 20 ampères et une différence de potentiel de 80 volts.

TRAMWAYS

Trois types de voitures étaient soumis à l'examen du jury, présentés par la Société l'Electrique, de Bruxelles; la Société Thomson-Houston et M. Sprague. Dans les trois types, le moteur est placé sous la voiture; mais, dans le type belge, il est unique et solidaire du truck, et actionne les deux essieux par l'intermédiaire d'une chaîne, tandis que dans les types américains chaque essieu a un moteur particulier, et la transmission a lieu par engrenages; le bâti du moteur est porté, d'un côté, par l'essieu lui-même, et de l'autre, par des traverses suspendues par des ressorts au truck.

Les procédés de réglage diffèrent d'un des systèmes de l'autre. La voiture belge ou Jullien, est actionnée par des accumulateurs placés sous les banquettes;

1. Voir dans la *Revue technique*, l'article concernant les ponts-roulants au chapitre *Appareils de levage*.

un commutateur permet de changer le groupement et de les mettre ou tous en série, ou de les diviser en groupes associés en quantité (¹), et cela pour les deux sens de marche, ou enfin de les isoler de la machine.

Dans les voitures américaines, le courant est fourni par des dynamos fixes et pris par la voiture sur un conducteur aérien unique, le retour du courant se faisant par les rails.

Pour la voiture Thomson-Houston, le moteur est enroulé en série (²); le réglage se fait en intercalant, entre l'induit et les inducteurs, une résistance variable. Le rhéostat est d'une construction particulière; il est formé d'une série de lames de fer repliées et séparées par du mica; à des intervalles

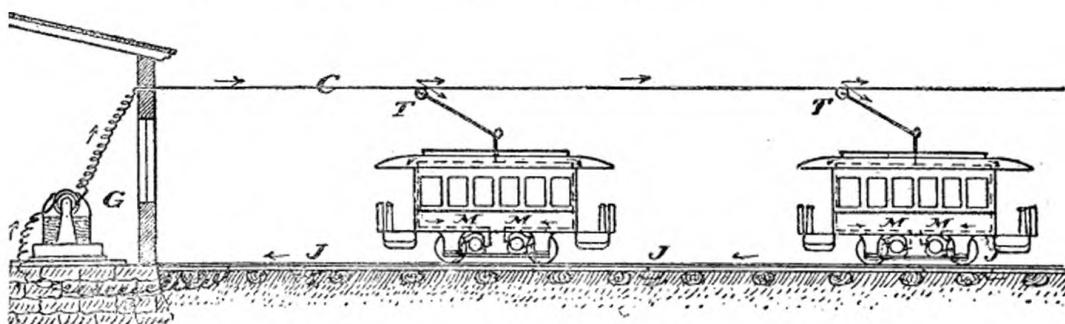


Fig. 32. — Ensemble de l'installation d'un tramway électrique. Système Thomson-Houston.

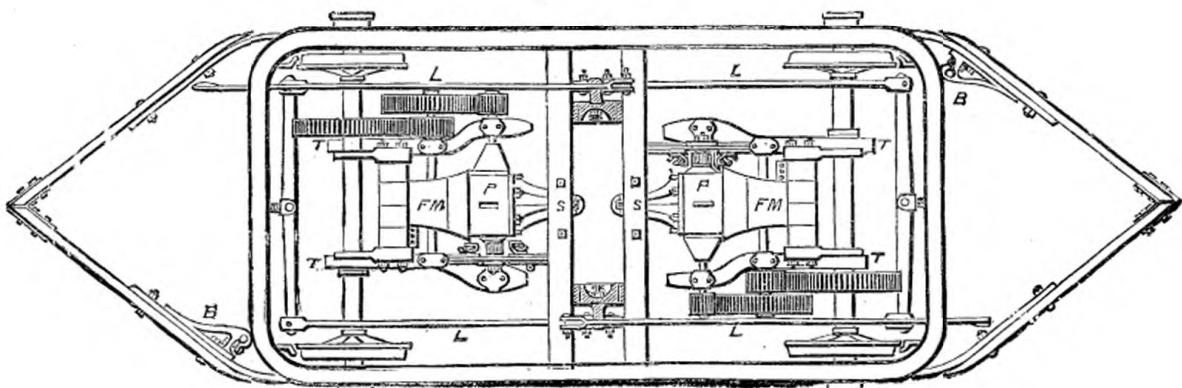


Fig. 33. — Plan du truck moteur des tramways électriques. Système Thomson-Houston.

réguliers se trouvent des lames plus épaisses, recourbées à leur extrémité supérieure, sur laquelle le contact est pris par un curseur muni d'un ressort. Toute-

1. Les accumulateurs sont divisés en quatre groupes de vingt, qui peuvent être associés : 1^o tous en série; 2^o deux en quantité, et les deux autres en série; 3^o en deux en quantité; 4^o tous en quantité.

2. Les dynamos génératrices sont à potentiel constant d'environ 500 volts, et accouplées en quantité, à mesure que le développement du service l'exige.

fois l'antépénultième résistance est remplacée par une bobine avec noyau de fer doux, qui se trouve ainsi introduite dans le circuit un peu avant que la totalité

du rhéostat entre en jeu ; cette bobine est placée à l'extrémité du rhéostat de telle sorte que lorsque la manette est à fond de course, au moment où le circuit va être interrompu, l'étincelle d'extra-courant jaillit au-devant du noyau de cet électro-aimant et ne peut se prolonger par un arc capable d'endommager les machines ; un inverseur spécial change les communications et renverse le courant dans l'induit pour la marche en arrière (1).

Les moteurs des voitures Sprague sont enroulés en dérivation et sont alimentés à 450 volts ; le réglage, qui avait lieu primitivement par un rhéostat introduit dans l'excitation, est, dans le modèle exposé, déterminé par un changement dans le couplage des bobines excitatrices ; celles-ci sont au nombre de trois et peuvent être réunies en quantités ou en tension par un commutateur analogue à celui qui modifie le groupement des accumulateurs dans le système Jullien ; les balais sont remplacés par des plaques de charbon.

M. Sprague a eu en vue l'exploitation de réseaux de tramways par une station centrale ; il établit en conséquence ses conducteurs principaux avec

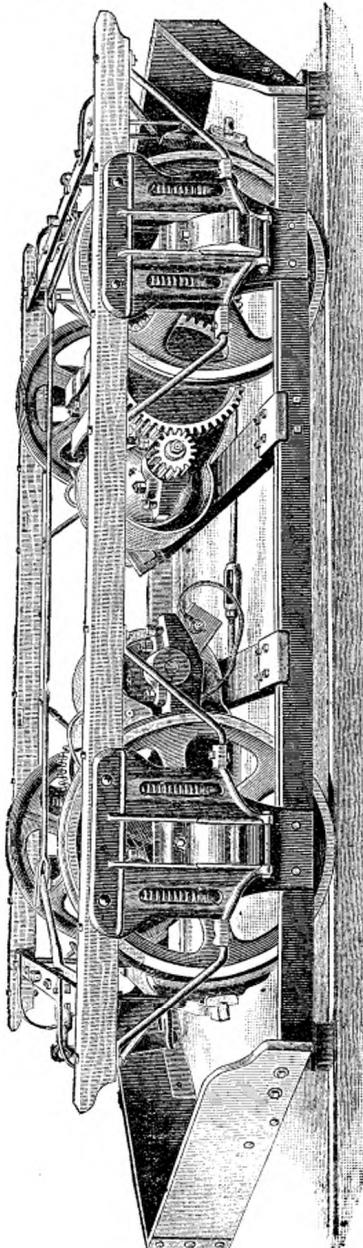


Fig. 34. — Trunk moteur des tramways électriques, système Thomson-Houston

1. Dans les voitures exposées, chaque essieu portait un moteur de 10 kilowatts ; ils peuvent remorquer, en outre la voiture qui les porte, une seconde voiture chargée sur un rampe de 6 p. 100.

La voiture usitée en Amérique, pouvant contenir trente personnes, pèse 3 200 kilogs dont 1 200 kilogs pour les moteurs, de 5 chevaux chaque.

des alimentateurs comme pour un circuit d'éclairage, mais il ne prend pas le courant sur ces conducteurs ; un fil spécial de bronze siliceux de 0^m,063 de diamètre fortement, tendu (272 kilogrammes) à une hauteur de 5^m,80 au-dessus de la voie et recevant le courant par des alimentateurs secondaires branchés sur le circuit principal, est divisé en sections isolées les unes des autres ; c'est sur ce fil que le contact est pris par une poulie à gorge portée sur un bras porté par la voiture. Ce fil est suspendu à des isolateurs ; le contact est pris sur sa partie inférieure ; les changements de voie sont assurés par des plaques portant des rainures dans lesquelles on engage la poulie de la voiture elle-même.

Dans le système adopté par la Thomson-Houston Company, les organes moteurs sont également placés sous le plancher de la voiture ; un moteur est affecté à chaque essieu ; il n'est pas fixé à la voiture d'une manière rigide, mais suspendu par de forts ressorts et monté à charnière d'un côté ; les coussinets sont graissés automatiquement, recouverts d'une enveloppe qui les met à l'abri de la poussière ; l'arbre lui-même est noyé dans l'huile.

Cet arbre porte une roue dentée formée de plaques d'acier alternant avec du cuir cru, qui engrène sur une roue en fonte montée sur un arbre dont les coussinets sont fixés aux flasques du bâti du moteur ; c'est cette roue en fonte qui engrène sur une roue portée par l'essieu, dont la vitesse est le douzième de celle du moteur.

Le bâti portant le moteur et cette première transmission repose, d'un côté sur l'essieu ; de l'autre, un support en bronze, boulonné par une de ses extrémités sur les pièces polaires, vient reposer par l'autre bout sur des ressorts en caoutchouc fixés entre deux traverses métalliques suspendues au châssis du truc.

Les moteurs, d'une puissance variable de 5 à 8 kilowatts suivant le profil de la ligne, sont enroulés en série mais associés en quantité ; le courant peut atteindre dans chacun d'eux 50 ampères et la force électromotrice 500 volts ; la vitesse est réglée au moyen d'un rhéostat décrit ci-dessus.

Le courant est pris sur un conducteur aérien par une poulie à gorge, traverse un parafoudre, un interrupteur et un commutateur, les armatures, les rhéostats, les inducteurs et se ferme par la terre par l'intermédiaire des roues et des rails ; des coupe-circuits en métal fusible protègent en outre les machines.

Tous les points entre lesquels peuvent jaillir des étincelles, bornes de la machine, des interrupteurs, sont protégés par des électro-aimants.

IX. — DÉPOTS ELECTROLYTIQUES SOUDURES — EXPLOSEURS — TRIEUSES

DÉPOTS ÉLECTROLYTIQUES

Depuis la mémorable découverte de Jacobi, l'art de déposer des métaux par voie électrolytique n'a cessé de progresser; non seulement le cuivre et les métaux précieux, mais le nickel, le cobalt et le fer peuvent, aujourd'hui, s'obtenir en couches minces ou épaisses; on sait également déposer des alliages, soit d'argent et d'or, soit de cuivre et de zinc ou d'étain. Les compositions des bains, les densités de courant et les forces électromotrices à employer sont connues, et le mode opératoire décrit dans d'excellents traités, parmi lesquels on doit citer ceux de MM. Fontaine et Roseleur. Lenoir, puis Planté, ont indiqué l'artifice qui permet de reproduire des rondes bosses, aussi bien que des bas reliefs. Aussi bien que chaque atelier ait quelques tours de main spéciaux, c'est surtout par le soin donné à l'exécution, par le goût et le sens artistique, le choix des modèles, que se distinguent les reproductions par voie galvanoplastique exposées par les grandes maisons françaises, à la tête desquelles se placent par l'importance des travaux MM. Christophe et C^{ie}, et parmi lesquelles on doit citer MM. Lionnet et Poussielgue-Rusand. Ces productions sont faites en cuivre d'abord, puis recouvertes ensuite des dépôts les plus variés; on donne à la dorure l'aspect de la dorure ancienne en disposant d'abord une légère couche de mercure, puis l'or, et chauffant l'objet pour volatiliser le mercure. M. Rivaud exposait des reproductions très fines obtenues par un dépôt direct d'argent sur les moules.

Dans la préparation des moules des objets délicats, la maison Christophe emploie la gutta-percha complètement fondu, comme l'a indiqué M. Pellecat, ce qui dispense de soumettre le moule et l'objet aux fortes pressions nécessaires quand la gutta est seulement ramollie; ce procédé remarquable permet, en outre, de reproduire directement en métal l'œuvre de l'artiste, sans passer par le creux en plâtre, puis l'épreuve en plâtre et enfin le creux en gutta.

La gutta fondu et coulée directement sur la terre glaise humide, pénètre dans les creux les plus fouillés et sans bulle d'air; la terre est délayée ensuite dans l'eau et disparaît laissant un moule parfait: ce procédé rappelle, comme le fait remarquer l'inventeur, la fonte à cire perdue des artistes de la Renaissance et de l'Orient; le cuivre déposé par voie galvanique sous une faible épaisseur, puis renforcé par la coulée de bronze à l'intérieur, et enfin bronzé, donne une reproduction solide et fidèle.

Le dépôt direct d'un métal sur la fonte brute présente des difficultés spéciales; l'artifice qui consiste à plombaginer la surface n'est qu'une solution imparfaite du problème; le dépôt n'est pas adhérent, on doit lui donner une grande épaisseur, et les finesse du moulage disparaissent.

M. Weill paraît avoir trouvé le premier un moyen de faire un dépôt adhérent de cuivre sur la fonte, en employant des bains alcalins et organiques, tels qu'un tartrate cupro-sodique additionné d'alcali; ces bains dissolvent l'oxyde de fer et décapent la pièce; le cuivrage s'obtient en mettant des fils de zinc en contact des pièces dans le bain, ou bien en plongeant ce zinc relié par un gros conducteur aux pièces à cuirrer, dans un vase poreux rempli de soude caustique, ou enfin au moyen d'une source étrangère d'électricité. Il est important que le bain garde une composition constante, et M. Weill a indiqué les procédés rapides et exacts d'analyse volumétrique, au moyen desquels on détermine le poids d'oxyde de cuivre à restituer au bain.

En variant les conditions du dépôt, on peut obtenir des oxydes de cuivre présentant des couleurs variées, et, d'après l'inventeur, ces procédés permettraient également le dépôt d'autres métaux sur fonte brute.

M. Bertrand a résolu ce problème par une autre voie, et exposait un grand nombre de petits objets de fonte brute, recouverts électriquement sans emploi de plombagine, d'étain, de nickel et de cuivre, vendus à très bas prix, meilleur marché que le fer-blanc.

Le jury a remarqué parmi les objets nickelés, l'exposition de M. Pérille qui emploie de préférence des anodes percées; celle de M. Zippelius Gaiffe qui reconvre de cuivre puis de nickel, les manches en bois des instruments de chirurgie, qui conservent ainsi leur légèreté, et dont le nettoyage complet devient facile, les joints et la virole étant entièrement recouverts par le dépôt de nickel; et, dans l'exposition de la maison M^{me} veuve Henry, les feuilles de zinc nickelées et polies qui se prêtent à la fabrication de menus objets, connus sous le nom d'*articles de Paris*. M. Zippelius Gaiffe applique également des dépôts de cobalt d'un heureux effet.

L'électro-métallurgie et le raffinage des métaux étaient peu représentés dans la classe 62, bien que le raffinage électrolytique du cuivre et la fabrication de l'aluminium par les procédés Héroult et Minet soient entrés dans la pratique industrielle; cependant, M. Létrange exposait du zinc obtenu par électrolyse, et M. Placet du fer assez épais qu'il affirme pouvoir être obtenu à raison de 0 fr. 15 le kilogramme; le jury a regretté que le silence absolu gardé par l'auteur sur ses procédés ne lui permit pas de se faire une opinion sur ce point, ainsi soustrait à son appréciation, et n'a pu examiner que les très intéressants moulages obtenus par dépôt direct du métal sur des épreuves photographiques.

M. de Méritens exposait des pièces de fer, de fonte et d'acier, rendues inattaquables par l'humidité, au moyen d'un mince dépôt d'oxyde magnétique, dépôt

qui est d'une grande dureté et résiste bien au frottement, ainsi que des modèles d'appareils dans lesquels il soumet à l'action d'un courant alternatif les vins eaux-de-vie et alcools d'industrie pour les vieillir et les purifier.

SOUUDURE ÉLECTRIQUE

La température élevée que produit le passage d'un courant électrique intense à la surface de deux barreaux métalliques en contact a été utilisée par le professeur E. Thomson pour souder non seulement le fer, mais les autres métaux ou alliages, cuivre, bronze, maillechort, les uns avec les autres.

Les barres à souder sont pincées entre deux étaux ; un courant, dont l'intensité dépend de la section de la barre, est lancé à travers le contact, et à mesure que le métal se ramollit, les deux barres sont pressées l'une contre l'autre, et le courant réglé de manière à ne pas dépasser la température suffisante pour le ramollissement. L'opération est excessivement rapide, demandant deux minutes au plus pour les barres de 0^m,05 de diamètre ; la chaleur reste concentrée dans le voisinage de la soudure.

Pour ces grosses pièces, le courant doit être de plusieurs milliers d'ampères ; il est produit par un transformateur ; le noyau est formé de disques de fer doux, de 0^m,30 de diamètre extérieur et de 0^m,25 de diamètre intérieur ; il a 0^m,375 de long et porte l'enroulement primaire de 3000 tours ; un tube de cuivre de 0^m,112 de diamètre extérieur et de 0^m,045 de diamètre intérieur, placé suivant l'axe et relié aux deux étaux par deux barres de 135 centimètres carrés de section, constitue le secondaire qui est fermé par les barres à souder. Le circuit primaire était alimenté par une machine à courant alternatif de 300 volts à excitation séparée, et pouvant donner jusqu'à 120 ampères quand le circuit secondaire est fermé ; on estime à 60 ou 80 chevaux la puissance absorbée pendant la soudure d'une grosse pièce (tige cylindrique de 0^m,05 de diamètre soudée en une minute).

Pour les barres d'un moindre diamètre, l'emploi du transformateur est inutile, et le courant d'une dynamo auto-excitatrice, décrite plus haut et munie d'un régulateur de courant à main, suffit ; la pression sur les mâchoires est donnée par un ressort, et le circuit est ouvert automatiquement dès que la course de celle-ci a atteint une certaine grandeur.

Les essais de résistance à la rupture de barres de fer soudées par ce procédé ont donné des résultats remarquables, pour le fer forgé ; la rupture se fait aussi souvent à quelque distance de la soudure qu'à la soudure même, et les efforts nécessaires ne sont pas moins considérables pour une barre soudée que pour une barre ordinaire, au moins quand on laisse dans son intégrité le bourrelet formé par la soudure. Le cuivre et le laiton ont donné d'aussi bons résultats ; l'acier, des résultats un peu inférieurs.

Aussi, bien que très récents, ces procédés sont déjà employés pour la fabrication d'outils, de chaînes, de tubes d'une grande longueur, etc.; la facilité avec laquelle on peut régler la température leur donne une grande supériorité sur le procédé où l'arc voltaïque est employé à chauffer directement les métaux.

Ce procédé plus ancien, dû à M. de Benardos, consiste à employer la chaleur de l'arc voltaïque, en créant cet arc entre un crayon de charbon et les pièces à souder; actuellement, le charbon est le pôle positif, il s'use assez rapidement, mais la pièce à souder est dans une atmosphère moins oxydante qu'avec la disposition inverse primitivement employée.

EXPLOSEURS

L'exploseur Bürgin, adopté par l'armée fédérale suisse, pèse 20 kilogrammes; il est renfermé dans une boîte de $30 \times 27 \times 24$ centimètres; cette boîte contient une petite dynamo, à laquelle le mouvement est donné par une manivelle; la machine à l'état normal en court circuit et son excitation assurée; quand le magnétisme des inducteurs atteint une certaine valeur, une armature placée obliquement devant les électrodes est attirée et le courant est lancé dans le circuit extérieur. Il peut être renforcé par l'addition d'un condensateur logé dans le socle de l'instrument. En changeant la distance de l'armature à l'inducteur, on peut employer la même machine pour les amorces en fil de platine ou aux amorces d'induction.

On attache dans les travaux de mines une certaine importance à la basse tension; celle-ci permet de se servir de fils moins bien isolés, et on a moins à craindre, en cas de perte, des étincelles dangereuses dans une atmosphère de grisou.

L'exploseur Manet, construit pour répondre à ce désideratum, est composé de trois organes: une petite dynamo à anneau Gramme et à deux pôles conséquents, un conjoncteur automatique et une sonnerie. L'induit est formé de deux anneaux dont l'un excite les inducteurs, tandis que l'autre est: 1^o en circuit avec la sonnerie et le circuit extérieur tant que la vitesse est faible; on est averti par le fonctionnement de la sonnerie que le circuit extérieur est fermé; 2^o isolé pour une valeur moyenne de la vitesse; 3^o de nouveau en circuit avec le circuit extérieur quand la vitesse est grande. En tournant la manivelle, on peut lui communiquer une vitesse croissante, puisque dans la deuxième période le circuit extérieur n'est pas fermé; et lorsque la vitesse a une certaine valeur, que la force électromotrice du deuxième anneau est suffisante, l'inertie du système s'ajoute au travail de la manivelle pour aider au mouvement de l'induit, ce qui prolonge le courant pendant un temps appréciable. Le conjoncteur automatique qui réalise ces changements de circuit est analogue aux régulateurs à force centrifuge; le mouvement du manchon fait osciller un levier qui rompt ou établit les contacts. Un électro-aimant supplémentaire, dit *de retenue*, a pour effet de maintenir

les contacts établis dans la troisième période; il est alimenté par une dérivation des inducteurs et ne permet au circuit de s'ouvrir que lorsque la vitesse, et par suite le courant, est redevenue nulle.

La machine est assez légère (10 kilogrammes) et la boîte de 0^m,21 de hauteur, a 21 × 27 de base; les amores employées sont en fil de platine de 1/20 de millimètre; leur résistance, 3 ohms; la machine peut produire l'inflammation de la poudre des amores, avec 20 amores en circuit et 4 ohms de résistance extérieure, la force électromotrice maximum développée peut atteindre 80 volts.

Le succès dépend surtout de la qualité et de l'uniformité des amores.

TRIEUSES MAGNÉTIQUES

L'usage des trieuses magnétiques, soit pour la séparation des minerais de fer, et notamment du fer magnétique et des sables, soit pour la purification des matières, telles que la pâte à porcelaine, où le fer présente des inconvénients, paraît se généraliser. M. Edison exposait un appareil complet pour la séparation des minerais, ainsi que MM. Vavin et Jaspar; le principe commun à tous ces appareils consiste à faire tomber sur un cylindre aimanté les matières brutes; la partie ferrugineuse est retenue à la surface du cylindre d'où elle est détachée ensuite et recueillie dans un canal spécial. M. Vavin détermine l'aimantation du cylindre au moyen d'un certain nombre d'aimants permanents disposés radialement, tandis que M. Jaspar se sert de deux cylindres de fer dont les extrémités portent des bobines; quand le courant d'une petite dynamo est lancé dans ces bobines, chaque cylindre présente sur presque toute sa longueur un pôle conséquent énergique.

Dans la trieuse Edison, le minerai tombe en nappe mince devant les pôles épanouis d'un large électro-aimant; à intervalles périodiques, la trémie qui donne passage au minerai est fermée, le courant rompu et les matières adhérentes aux pôles dirigées dans un récipient spécial.

X. — TRANSMISSION DES SIGNAUX ET DE LA PAROLE

La télégraphie proprement dite n'a pas fait depuis l'Exposition de 1878 de progrès comparables à ceux de l'électricité industrielle ; son développement a suivi celui de la civilisation générale et le progrès des échanges, les réseaux se sont étendus, et, en particulier, de nouveaux câbles sous-marins de grande longueur ont été déposés au fond de l'Océan ; le développement total de ces câbles qui était de 60 000 milles marins atteint aujourd'hui 120 000 milles ; les méthodes de pose et d'exploitation sont restées les mêmes. Cette grande industrie presque entièrement entre les mains de compagnies anglaises, était représentée à l'Exposition par l'Eastern Telegraph C° et la Commercial Cable C° (américaine), qui exposaient les appareils de service. La dernière y avait ajouté un modèle de bateau à vapeur, le *Mackay-Bennet*, employé à la réparation des câbles.

En dehors de ces deux Compagnies, l'Administration française des Postes et Télégraphes était le seul représentant des grands services télégraphiques. Dans un pavillon spécial, elle avait exposé les divers appareils employés en France et quelques autres conçus par des fonctionnaires de l'Administration et encore à l'essai.

Le réseau télégraphique a été étendu et amélioré, la communication directe établie entre les chefs-lieux et la capitale, le nombre des télegrammes triplé environ pendant la dernière période décennale et tout indique que ce mode de correspondance, de plus en plus apprécié, est loin d'avoir atteint tout le développement dont il est susceptible. Les chiffres officiels suivants font connaître l'augmentation du matériel et du trafic.

		1878	actuel
Longueur des lignes	aériennes	57.500 kilom.	90.338 kilom.
	souterraines urbaines . . .	260	1.757
	souterraines à longue distance	»	4.527
Développement total	des lignes aériennes	158.500	274.957
	souterraines urbaines . . .	5.500	15.508
	souterraines à grande distance	»	30.521

Les câbles côtiers et sous-marins de la Méditerranée ont passé de 1 587 à 4 316 kilomètres. Le trafic a subi les modifications suivantes :

	1878	1888
Services		
{ intérieur	11.173.476 kilom.	21.617.525 kilom.
{ international.	1.319.460	5.006.525
{ de transit.	421.521	1.117.206

Le trafic par kilomètre a donc augmenté notablement ; il en est de même du trafic par bureau :

	1878	1889
Bureaux		
{ principaux.	674	890
{ municipaux	2.307	5.201
{ de gare.	1.485	2.905
{ d'écluses	136	138
{ de semaphores	129	128
{ d'intérêt privé	103	252

Pour desservir ce trafic plus actif, le réseau a été amélioré comme qualité, par l'emploi de lignes souterraines de haute conductibilité substituées aux lignes en fer, par la suppression (en voie d'exécution) des appareils à cadran, par le développement donné à l'appareil Hughes, et l'introduction d'appareils rapides, tels que le baudot et le wheatstone.

	1878	1889
Appareils		
{ Morse.	5.243	13.221
{ à cadran	1.296	1.090
{ Hughes	332	840
{ Baudot.	»	50
{ Wheatstone	»	10
{ divers.	8	35

Grâce à ces perfectionnements, le débit des lignes peut suivre le développement du trafic et les retards qu'éprouvent parfois les communications proviennent surtout du temps demandé par la lecture et la transmission à nouveau, nécessitées par l'organisation du service, d'un certain nombre de dépêches. Ce délai peut être abrégé par l'emploi d'appareils récepteurs qui livrent une bande perforée, semblable à celles qui servent à la transmission ; on trouvera plus loin quelques dispositions (Meyer, Nault, Parment) conçues dans ce but, mais qui n'ont pas encore été appliquées en service courant.

Sur les lignes longues et chargées, les courants émis par les appareils rapides, tels que le wheatstone ou les multiples, se succèdent à des intervalles tellement rapprochés que les signaux successifs ont une tendance à se confondre, tant à raison de l'inertie magnétique des récepteurs qu'à cause de l'influence nuisible de la capacité de la ligne ; la disposition très simple imaginée par M. Godfroy paraît de nature à améliorer l'état de choses actuel sur les longues lignes.

Parmi les appareils exposés, plusieurs ont paru constituer des améliorations sensibles aux appareils actuellement en service; on s'explique cependant qu'ils n'aient pas remplacé ceux-ci; il faut, en effet, qu'une amélioration soit considérable, représente une augmentation réelle de rendement d'une ligne, ou du personnel qui lui est attaché, pour peu qu'un service public se décide à modifier des appareils existants déjà en grand nombre, ou à déduire l'uniformité des types qui est une des conditions fondamentales de l'exploitation.

L'Administration française a une préférence marquée pour l'emploi des appareils qui livrent les dépêches imprimées en caractères alphabétiques; malgré les perfectionnements qu'ont subi ces appareils, leur débit est inférieur à ceux des récepteurs qui impriment en caractères conventionnels, et qui, jusqu'ici, ont été seuls employés conjointement avec des transmetteurs automatiques; aussi les inventeurs ont-ils surtout cherché les moyens d'augmenter la capacité de ces appareils imprimeurs, tant par l'emploi d'appareils multiples (Baudot, Munier) que par celui de la composition préalable (Nault, Parment).

L'augmentation du débit des lignes par transmissions simultanées de plusieurs dépêches dans le même sens n'a pas encore été tentée avec les appareils imprimeurs; à côté des systèmes duplex par courants de deux intensités différentes, actionnant deux récepteurs distincts, soit parleur, soit récepteur Morse, on emploie des systèmes dérivés du télégraphe harmonique d'Elisha Gray et dans lesquels les transmetteurs et récepteurs correspondants sont des organes vibrants synchroniquement (phonopore Longdon Davies, système Sieur, système Mercadier).

Les appareils exposés par l'Administration des Postes et Télégraphes sont en partie fabriqués dans ses ateliers, sous la direction de M. Clérac, ateliers qui sont également chargés des réparations, en partie, chez des constructeurs, maison Bréguet, MM. Carpentier, Deschiens, Dumoulin-Froment, Postel-Vinay, Société générale des Téléphones, renommés pour les soins qu'ils apportent à la fabrication. L'École supérieure de Télégraphie exposait, avec le matériel de son enseignement, des appareils employés par M. Blavier, pour ses recherches sur les courants telluriques, et par MM. Estaunié et Brylinski, pour leurs intéressantes recherches sur l'intensité des courants téléphoniques. L'État possède enfin, à la Seyne, un atelier où l'on recouvre les âmes de câbles sous-marins, dirigé par M. Morris. Un modèle des machines était exposé, ainsi qu'une photographie du navire *La Charente*, employé aux réparations et à la pose des câbles sous-marins.

Le service télégraphique joue un rôle important dans l'exploitation des chemins de fer; les conditions en sont tout à fait différentes de celles des services d'État (1); la rapidité des transmissions y a peu d'importance, la simplicité des

1. Voir l'article de MM. Dumont et Baignères dans la *Revue technique*, sur les Signaux et les appareils électriques dans les chemins de fer.

appareils destinés à être mis dans les mains d'un personnel non spécial et la facilité des communications entre les différents postes ou gares y sont surtout recherchées. Ces qualités sont encore plus précieuses dans la transmission et le contrôle des signaux, télégraphie rudimentaire, dont les engins ne diffèrent que par des détails des appareils de la télégraphie ordinaire.

La Compagnie de l'Est avait seule organisé, par les soins de M. Dumont, une exposition spéciale dans la classe 62 ; les autres Compagnies françaises ont cependant demandé que les appareils de sûreté employés sur leur réseau fussent examinés par le jury, qui a déféré à ce désir ; les applications de l'électricité spéciales aux chemins de fer ont été groupées ensemble.

La téléphonie était à peine née en 1878, puisque c'est de 1876 seulement que date l'admirable découverte de Graham Bell, et, cependant, on peut estimer à près d'un milliard la valeur des capitaux engagés aujourd'hui dans les entreprises téléphoniques qui couvrent le monde entier ; déjà, en 1878, étaient venus s'ajouter au téléphone les transmetteurs à piles d'Edison et les appareils microphoniques du professeur Hughes, mais on n'avait encore construit à cette époque qu'un seul réseau téléphonique à New-York, tandis qu'aujourd'hui il n'est pas de ville de 20 000 âmes qui ne possède un semblable réseau, et les services publics font du téléphone un usage constant ; on évalue à 50 000 le nombre des dépêches qui passent, par jour, au bureau central de New-York.

La téléphonie comprenait deux groupes d'exposants, les uns, comme l'American Bell C°, la Western Electric C°, l'Administration du grand-duché de Luxembourg, la Société générale des Téléphones (France), la Société belge de Télégraphie et de Téléphonie internationales, s'occupent de transmissions urbaines et interurbaines ; les autres ont pour objectif principal la téléphonie domestique, branche presque exclusivement représentée par des exposants français, et qui a pris une extension considérable ; tous les constructeurs de sonneries, annonciateurs, avertisseurs et autres appareils de ce genre, ont adjoint à leur fabrication celle de postes téléphoniques ou micro-téléphoniques, dont quelques-uns sont remarquables par leur simplicité extrême, leur légèreté et leur bon marché. MM. de Branville, Mildé, Mors, Postel-Vinay, Trouvé, entre autres, ont beaucoup contribué au développement de cette application.

Les appareils transmetteurs et récepteurs employés pour les communications urbaines et interurbaines ne diffèrent pas essentiellement des précédents ; l'emploi de la bobine d'induction y est nécessaire, pour les grandes distances seulement, car toute la téléphonie du grand-duché de Luxembourg repose sur des appareils sans pile ; c'est surtout dans les appareils destinés à établir rapidement les communications que résident les difficultés, croissant avec le nombre des abonnés desservis dans un même bureau. C'est en Amérique, berceau de la téléphonie, que l'usage du téléphone s'est aussi le plus rapidement répandu et que ces difficultés se sont fait sentir tout d'abord. Elles ont amené à construire les

appareils dits *commutateurs multiples*, au moyen desquels on doit pouvoir mettre en rapport direct jusqu'à 6 000 abonnés, dans un temps très court. Ce système, consistant à réunir dans le même bureau, le plus grand nombre possible de fils d'abonnés, est de beaucoup supérieur, comme rapidité, au système, plus économique comme construction, des petits bureaux disséminés dans le réseau et reliés avec un bureau central et entre eux par des fils auxiliaires, système employé en France jusque dans ces derniers temps.

Les inconvénients en ont été atténués par une disposition, exposée par la Société des téléphones, mettant sous la main de chaque employé d'un de ces bureaux secondaires la totalité des fils auxiliaires arrivant au bureau ; ce n'est toutefois qu'un palliatif et la même Société exposait un modèle de commutateur multiple, approprié au double fil.

Le système de téléphonie et télégraphie simultanée de M. Van Rysselberghe était exposé par la Société belge ; il est employé en France, en Suisse et en Belgique. Les lignes de Paris à Marseille, à Bruxelles, entre autres, fonctionnent à l'aide des condensateurs et électro-aimants dits *graduateurs et séparateurs*, de M. Van Rysselberghe. En Amérique, où la téléphonie interurbaine à grande distance fait également de grands progrès, les services télégraphique et téléphonique sont séparés.

Les auditions théâtrales qui avaient obtenu, en 1881, un si grand succès, étaient encore une des attractions du soir, à l'Exposition ; malgré l'accroissement de la distance et du nombre des récepteurs en dérivation, le son arrivait avec une netteté et une intensité remarquables. M. Ader, qui avait organisé ce service (¹), désireux de montrer la puissance à laquelle peut atteindre le son émis par le téléphone, y avait adjoint une série de récepteurs de grande puissance faisant entendre à plusieurs centaines de mètres le son de la trompe.

On a rattaché à la téléphonie les nouveaux phonographes d'Edison et de M. Tainter et terminé ce rapport par la revue d'applications diverses, telles que l'horlogerie, où le rôle du courant se borne, comme en télégraphie, à actionner des électro-aimants, dont les armatures provoquent une série de mouvements.

XI. — TÉLÉGRAPHIE

RÉCEPTEURS MORSE

Bien que le type des récepteurs Morse de l'Administration des Postes et des Télégraphes n'ait pas varié depuis 1878, l'exposition du Ministère du commerce présentait quelques modèles s'en écartant un peu.

1. Dans le chalet occupé par la Société générale des téléphones.

M. Oudin exposait un récepteur très léger et très compact renfermé dans la partie supérieure d'une boîte dont le compartiment inférieur contient une pile sèche de dix éléments. Le récepteur de M. Dini est robuste et économiquement construit ; l'électro-aimant a sa culasse mobile autour d'un axe vertical, ce qui permet de faire varier l'angle de l'armature et de la ligne des pôles, et par suite de régler rapidement.

M. Charrière fait porter le levier d'impression et les butoirs par un bras monté sur un pivot concentrique à la molette ; il peut être déplacé de haut en bas, entraînant l'armature par une vis verticale dont l'écrou est fixé à la platine du récepteur ; on peut alors régler sans arrêter le déroulement et sans que le

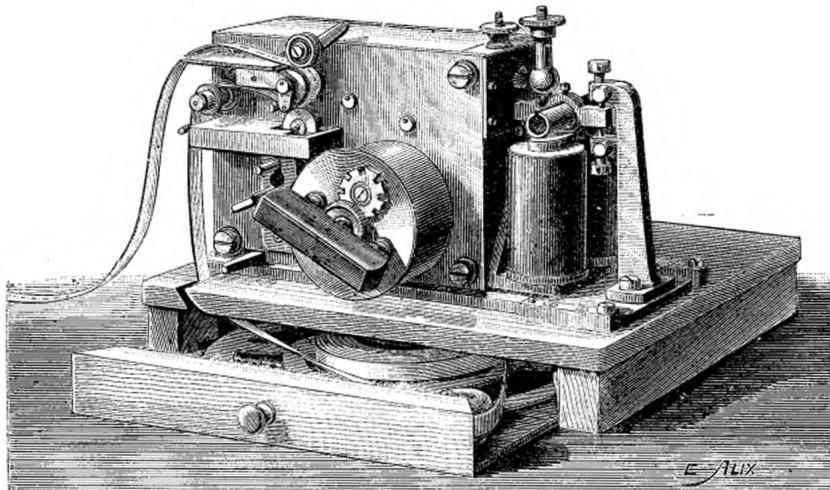


Fig. 33. — Récepteur Morse, construit par la maison Bréguet.

couteau cesse d'être tangent à la molette, ou bien il soulève et abaisse l'électro-aimant lui-même au moyen d'une vis agissant sur deux plans inclinés, sur lesquels repose la culasse terminée elle-même par deux plans inclinés.

Afin de supprimer les tampons encreurs, qui s'encrassent quand l'encre n'est pas de bonne qualité, MM. Rault et Chassan fixent sur la molette une goupille tournant à l'intérieur de l'encrier (celui-ci est rempli de vaseline colorée), tandis que M. Lefilleul fait tourner la molette devant une roue à gorge tournant dans un réservoir plein d'encre fluide : ce dernier récepteur est muni d'une mise automatique sur sonnerie à la fin d'une transmission. L'emploi de l'encre de MM. Rault et Chassan, qui est assez consistante pour ne pas couler, quand l'appareil est inactif, constitue un perfectionnement sensible.

PARLEURS

Les parleurs, peu usités comme récepteurs par l'Administration des postes et télégraphes parce qu'ils ne laissent pas de trace des dépêches, sont d'un emploi très commode pour les vérifications de ligne ou pour les services militaires, particulièrement quand la ligne est assez courte pour qu'on puisse se dispenser de relais.

Le parleur de M. Trouvé a la dimension d'une montre ; un appendice de l'armature vient frapper le fond d'une boîte métallique contenant l'électro-aimant et qui joue le rôle de caisse de résonance ; à ce parleur est associée une clef de Morse ; c'est un petit levier pivotant autour d'un axe porté par la boîte ; en combinant avec une pile portative ce petit appareil muni de trois cordons souples, on réalise un poste télégraphique volant d'une grande légèreté.

Le parleur contrôleur de M. Gras constitue un poste simple qui peut fonctionner soit en courant continu, soit en courant ordinaire. La manœuvre d'une vis permet, en outre, de faire fonctionner le parleur en frappeur, battant les signaux envoyés, comme un trembleur dont le bruit ne s'interrompt que lorsqu'il ne passe pas de courant dans la bobine. Le butoir de repos est, comme d'habitude, relié à l'entrée de la bobine, et le butoir de travail à la borne de pile par construction ; quand on travaille en courant ordinaire, la sortie de la bobine est mise à la terre par la lame n° 1, et le bloc portant le ressort de manipulation est mis sur la ligne par la lame n° 2 d'un commutateur à deux lames ; de plus ce dernier bloc porte une manette isolée. Pour le travail en courant continu, avec pile à un seul poste, il faut manœuvrer le commutateur à deux lames ; au poste muni de pile, la lame n° 2 isole la borne de terre, tandis que la lame n° 1 réunit la borne de ligne à la sortie de la bobine qui est ainsi intercalée dans le circuit ; la même manœuvre au poste sans pile met la butée de travail à la terre par l'intermédiaire de la borne de terre et de la borne de pile que réunit la lame n° 2 ; on doit ensuite, au moyen de la manette, faire communiquer le bloc du manipulateur soit avec la butée de travail (pour la réception), ce qui met cet axe sur le pôle de pile au premier poste, à la terre au second, soit avec la butée de repos (pour la transmission), ce qui met le manipulateur sur la ligne par l'intermédiaire de la bobine du parleur.

Cette disposition peut rendre des services pour la télégraphie militaire, M. Gras exposait également une disposition fondée sur l'emploi du même commutateur pour introduire ou supprimer du circuit la bobine du parleur du poste transmetteur dans le travail ordinaire, chaque poste ayant sa pile ; il suffit d'ajouter aux deux contacts sur lesquelles la manette peut reposer un troisième contact intermédiaire mettant à la terre le bloc portant le ressort de manipulation, contact sur lequel on met la manette pour la réception. Si on a monté en

trembleur le poste appelé, le parleur du poste appelant, bien que monté en frappeur, devra battre quand on appuiera d'une manière permanente le manipulateur sur la butée de travail.

Deux appareils à deux styles étaient exposés; dans les deux, les points et les traits parallèles à la bande de papier de l'alphabet Morse sont remplacés par des traits et demi-trait perpendiculaires à la bande et occupant moins d'espace.

Le manipulateur de l'appareil Estienne (le premier en date) est à deux touches, l'une pour les émissions de courants positifs, l'autre pour les courants négatifs. Le récepteur est un électro-aimant à armature polarisée. Deux styles terminés par des becs de longueur inégale sont appliqués contre la bande par le mouvement de l'armature suivant que le courant du relais est positif ou négatif. Les styles trempent dans un encier par leur extrémité inférieure et s'alimentent par capillarité.

Le récepteur Hérodote est une modification des appareils Morse existants; on ajoute à l'appareil un second électro-aimant dont l'armature polarisée n'obéit qu'à des courants négatifs et un second couteau parallèle au premier et côté à côté avec lui sous la molette.

L'appareil Estienne a été essayé en France, il est employé en Allemagne. Le rendement est légèrement supérieur à celui de l'appareil Morse, notamment inférieur à celui de l'appareil Hughes.

Diverses dispositions ont été proposées pour décharger la ligne le plus rapidement possible après l'émission d'un courant, afin que les émissions suivantes ne se confondent pas avec la première; dans ce but, on a cherché soit à mettre la ligne à la terre dès que l'émission est terminée et même à y envoyer un courant de sens contraire au courant de charge et de peu de durée.

Dans les manipulateurs Wunschendorff et Schœffer, le mouvement d'une pièce solidaire du levier est amplifié de telle sorte qu'on puisse sur sa course intercaler un contact à la terre et un contact de décharge. Dans le manipulateur Farjou, la ligne est mise à la terre; au moment où on abaisse la clef, celle-ci fait osciller un petit levier articulé qui pousse une bille vers le fond d'une glissière peu inclinée sur l'horizon; la bille en s'écartant soulage un ressort dont l'extrémité la portait, et ce ressort, en connexion permanente avec l'enclume de repos, bute sur un contact à la terre jusqu'au moment où la bille retombe et écarte de nouveau le ressort; la ligne est ainsi mise directement à la terre, sans passer par le récepteur, pendant le temps qui s'écoule entre l'instant où le levier touche l'enclume de repos et celui où la bille retombe. Dans un second appareil, entre la position de transmission et celle de repos, le courant d'une pile de décharge est envoyé dans la ligne; un petit appendice, porté par le levier et portant à sa partie inférieure une lame isolante, fait basculer une fourchette liée à un pôle négatif; en s'abaissant, la clef fait basculer la fourchette, en se relevant elle rencontre de nouveau la fourchette, mais la touche par sa partie

supérieure non isolée. Enfin, dans un troisième modèle, dit *à compensation et à double décharge*, l'émission du courant est divisée en deux parties; avant que la clef touche l'enclume, le levier est mis en rapport avec le pôle positif de la pile complète du poste par un contact de très courte durée qui cesse quand la clef touche l'enclume qui est en rapport avec une partie de la pile seulement; en relevant le manipulateur le jeu de la bille met la ligne à la terre, puis la décharge complétée comme ci-dessus par la fourchette. L'appareil Farjou a donné entre Paris et Bordeaux (650 kilomètres) 120 lettres par minute, au morse, sans relais.

Dans son appareil multiple, M. Baudot, qui emploie comme récepteur des relais polarisés, envoie sur la ligne un courant à chaque contact, positif pour les touches abaissées et négatif pour les touches relevées, n'ayant pas d'action sur le récepteur; de plus, quand deux courants de même sens se suivent immédiatement, le second est affaibli par l'introduction de résistances ou de dérivations à la terre.

M. Wunschendorff, pour améliorer la transmission sur une longue ligne souterraine, avait été amené à mettre une dérivation assez résistante d'une manière permanente entre les appareils et la terre. M. Godfroy a notablement facilité ces transmissions en donnant à ces dérivations la forme de bobines à noyau de fer, d'une self-induction d'autant plus grande que la capacité de la ligne est plus considérable; au début, le courant de la pile passe intégralement sur la ligne, puis s'affaiblit dans la ligne en se partageant entre elle et les dérivations; celles-ci, pourvu que leur coefficient de self-induction ne soit pas trop élevé, contribuent efficacement à la décharge après l'émission. Par exemple, M. Godfroy a pu produire, avec l'appareil Morse, 16 à 17 mots par minute sur une ligne de 925 kilomètres ayant une capacité de 185 microfarads. Ce système s'applique à tous les appareils télégraphiques; une application aux translations Baudot était exposée. En service, il amène une augmentation de rendement, atténue les difficultés de réglage et permet de diminuer le nombre des relais de translation.

Les dispositions de M. Rambaud et de M. Willot tendent au même but; elles se rapprochent des dispositions antérieures de Schwendler.

M. Rambaud se sert d'un parleur qui peut en même temps servir à contrôler un translateur ou un manipulateur; l'armature de ce parleur est lourde et bute, sous l'action du courant envoyé dans la ligne, sur un butoir élastique relié à la borne de repos du translateur ou du manipulateur; cette armature est mise directement à terre à cause de sa masse et de l'élasticité du butoir; le contact de l'armature est prolongé et dure encore lorsque le translateur ou le manipulateur est dans la position de repos. En réalité, M. Rambaud met ce parleur en dérivation sur le courant, de manière que son extra-courant ne produise pas d'étincelle nuisible et prolonge le contact de l'armature à la terre;

cette disposition a été substituée au relais à coup de fouet d'Arlincourt ; le réglage est plus facile et le nombre des éléments des piles locales diminué.

Le parleur de M. Willot est basé sur le même principe ; ici c'est l'armature dont l'extrémité porte une entaille où est logé un ressort ; quand le courant passe dans la bobine du parleur, ce ressort vient presser contre un butoir en rapport avec le butoir de repos du translateur. C'est ici l'armature et non le butoir qui est élastique.

Dans ces dispositifs la durée de la mise à la terre est d'autant plus grande que le magnétisme rémanent est plus prononcé dans le parleur ; elle est croissante avec la durée des courants émis, plus longue pour un trait que pour un point.

Dès 1881, M. Wunschendorff avait appliqué aux appareils Hughes un dispositif de décharge qui a permis de les employer sur les lignes souterraines avec un bon rendement (160 lettres à la minute entre Paris et Nancy, 397 kilomètres). Sur l'arbre des cames, on ajoute une came en acier qui, en appuyant contre un ressort, met la ligne en rapport avec la pile de décharge ; le profil de la came est calculé de manière que le contact commence un instant avant la fin de l'émission et se prolonge jusqu'au moment où la terre et la ligne sont en relation directe par l'ossature de l'électro-aimant ; le courant compensateur dure environ un quart du temps pendant lequel le courant a été émis.

RELAIS

Relais Mandroux. — Une armature polarisée est placée entre quatre bobines, dont les pôles en regard sont de nom contraire ; un double ressort de rappel ramène l'armature à égale distance des pôles quand le courant ne passe pas. (Voir plus loin : *Câbles sous-marins*).

Relais Baudot. — L'armature est polarisée par un aimant permanent à angle droit avec les bobines et son axe repose sur des pointes implantées dans les pôles de cet aimant ; cet axe est en cuivre sur une partie de sa longueur ; la palette est perpendiculaire à cet axe et attachée à l'un des pôles seulement.

Relais Willot. — Spécialement étudiée pour les translations, l'armature est doublement polarisée et le relais ne fonctionne que pour les courants supérieurs à un milli-ampère, intensité habituelle des courants telluriques.

L'armature se compose de deux palettes S et N polarisées par un aimant permanent dont les pôles sont en face des palettes réunies par un axe en cuivre. L'électro-aimant a la forme des électro-aimants d'Arlincourt ; les noyaux des deux bobines portent à l'entrée et à la sortie deux pièces polaires et sont reliés de plus par une culasse ; après le passage d'un courant et en vertu d'un magné-

tisme rémanent, les deux pièces polaires d'un même côté ou sur le même noyau ont des polarités de même nom, tandis que pendant le passage même ces pièces ont des polarités différentes; la pièce placée près de la culasse présentant toujours un magnétisme moindre à cause de la dérivation établie par la culasse, les palettes de l'armature sont placées au niveau de ces pièces polaires, et l'action des pièces voisines de la culasse renforcé par deux vis de fer doux qui les traversent et peuvent être rapprochées de la palette correspondante, jusqu'à ce que, sous l'influence du magnétisme rémanent seul, l'armature soit en équilibre dans sa position moyenne où elle est du reste amenée par un ressort. Lorsqu'un courant passe dans les bobines, le magnétisme des pièces polaires voisines de la culasse diminue d'abord, puis change de signe pour une intensité suffisante; l'action résultante des quatre pièces polaires sur les deux palettes de l'armature, nulle sous l'influence du magnétisme rémanent seul, prend une valeur croissante avec l'intensité du courant, et, pour une certaine valeur de l'intensité, peut vaincre l'action du ressort antagoniste. Ce résultat est atteint tout aussi bien par l'emploi d'électro-aimants Hughes.

Le relais Brown Allan est employé par l'*Eastern Telegraph Co.* sur des lignes de longueur moyenne (1 800 kilomètres). Le courant du câble est reçu par une petite bobine légère, suspendue à un fil de platine, qui oscille entre les quatre pôles de deux forts aimants en fer à cheval; l'une des extrémités du noyau creux de la bobine est attachée à deux ressorts antagonistes; une tige de fer peut tourner à frottement dur autour d'un axe vertical fixé à la bobine; cette tige oscille entre deux butoirs très rapprochés (dans un autre modèle la tige oscille autour d'un axe indépendant de la bobine, et sur cet axe est calée une seconde tige de fer dont l'extrémité voisine de celle du noyau suit les mouvements de ce dernier). Dès qu'un courant passe, la bobine est attirée dans le sens correspondant, entraîne la tige de fer qui porte sur l'un des butoirs, tandis que la bobine continue son mouvement, et la tige est ramenée dès que le courant diminue d'intensité; c'est un relais sensible aux variations d'intensité. Les butoirs établissent les contacts d'une pile locale actionnant le récepteur.

Électro-motographe d'Edison. — Un tambour métallique entraîné par un mouvement d'horlogerie est recouvert d'un rouleau de papier humecté de potasse; une pointe de platine appuie légèrement sur le papier; le frottement du papier tend à entraîner cette pointe qui est sollicitée en sens contraire par un petit ressort; quand un courant passe entre la pointe de platine et le cylindre, le frottement est diminué considérablement; quand le courant va du cylindre à la pointe, celle-ci cède à l'action du ressort; un levier solidaire de la pointe reçoit un petit mouvement qui le fait porter sur un butoir et fermer le contact d'une pile locale; il n'y a ni extra-courant, ni magnétisme permanent.

Relais à charbon d'Edison. — Entre un électro-aimant et son armature est disposée une pastille de charbon traversée par un circuit local ; aux variations de pression de l'armature correspondent des variations de résistance et, par suite, d'intensité du courant local qu'on utilise pour actionner un récepteur.

L'appareil Wheatstone est beaucoup moins employé en France qu'en Angleterre, où il est seul en usage pour les transmissions rapides. Il a été très notablement perfectionné, et le modèle exposé par la maison Elliot frères peut produire jusqu'à 600 mots à la minute.

Cette grande production est obtenue, d'une part, par des améliorations d'ordre électrique (condensateur en dérivation pour éviter les étincelles aux contacts, condensateur en dérivation sur des résistances placées entre les récepteurs et la terre pour diminuer l'influence de leur self-induction), et, d'autre part, par une construction mécanique de plus en plus soignée. A la transmission, le balancier fait osciller un levier très léger, en rapport avec la ligne, entre deux butoirs réunis à des pôles de nom contraire ; à la réception, le ressort a été remplacé par un poids, et le régulateur de vitesse amélioré.

APPAREIL AUTOMATIQUE UNIVERSEL

M. Meyer avait conçu un appareil, complété et terminé par M^{me} veuve Meyer, dans lequel le récepteur produit en même temps qu'une bande imprimée une bande perforée, pouvant servir à la réexpédition de la dépêche sans traduction.

Les signaux imprimés se composent de traits fins correspondant aux points du morse, et de traits quatre fois plus larges correspondant aux traits ; ces traits sont parallèles entre eux et perpendiculaires à la bande de papier (1). Un clavier à trois touches sert de composteur. Le levier, manœuvré par la touche de droite, soulève contre la bande un couteau qui imprime le trait fin et sert de propulseur à un poinçon qui fait un trou au même niveau sur la partie droite de la bande ; le levier correspondant à la touche du milieu soulève une pièce de la longueur du couteau et quatre fois plus large, en même temps qu'un poinçon fait un trou à gauche ; enfin, ces deux touches et la troisième, ou touche des blancs, font avancer, chaque fois qu'elles se retirent, une roue à rochet dont l'axe porte le cylindre entraîneur du papier, et font frotter la molette contre le tampon encrur.

La bande perforée passe entre deux rouleaux, et de là sur un cylindre métallique qui communique avec la ligne. Deux frotteurs reliés respectivement aux pôles positif et négatif, et dont la distance est celle des deux bandes de trous,

1. Depuis l'ouverture de l'Exposition ceci a été modifié, et les points figurés par une trace courte, et le trait par deux traces semblables placées bout à bout, comme dans l'appareil Hérodoté.

sont mis en contact avec le cylindre quand un trou passe au-dessous d'eux, ce qui produit une émission positive ou négative sur la ligne.

Ces courants sont reçus par deux relais polarisés qui ferment des circuits locaux dont les électro-aimants agissent sur des leviers munis de couteaux, agissant comme ceux du composteur, et donnant, sur une bande réceptrice et entraînée par un mouvement d'horlogerie, une impression et une perforation ; celle-ci sort du récepteur identique à la bande de transmission.

M^{me} Meyer estime à 100 dépêches par heure le rendement de l'appareil exposé.

APPAREIL NAULT. — PERFORATION PRÉALABLE ET APPAREIL HUGHES

La dépêche est préparée au départ au moyen d'un perforateur, transmise automatiquement, et le récepteur Hughes la traduit en caractères typographiques.

Le clavier du perforateur est celui de Hughes. Chaque touche correspond à un goujon ; en abaissant une touche, on soulève un goujon, et une roue à rochet, dite *rosace de détente*, avance d'une division et embraye avec le mouvement d'horlogerie l'axe vertical d'un chariot semblable à celui de l'appareil Hughes. Quand une ou plusieurs touches sont abaissées, le mouvement de la détente fait faire à cet arbre une révolution complète pendant laquelle le chariot rencontre les goujons soulevés ; chaque rencontre produit l'embrayage d'une pièce, dite *toupie de perforation*, avec un axe horizontal du mouvement qui, en tournant, entraîne une came qui vient frapper le levier porte-poinçon et fait un trou dans la bande ; l'espacement des trous, réglé par l'avancement du papier, est celui des lettres qu'ils représentent.

Le même perforateur sert de récepteur ; un électro-aimant produit l'embrayage de la toupie à chaque émission de courant, sur une bande se déroulant d'une manière continue ; la bande reçue et perforée est passée comme au départ dans un appareil Hughes ; un frotteur, chaque fois qu'il envoie un courant, en rencontrant un trou, actionne l'électro-aimant et imprime une lettre ; il est donc nécessaire que la longueur de bande, qui passe par tour de la roue des types, soit égale à celle qu'a déroulée le perforateur de réception par tour du transmetteur. Cette égalité est obtenue par un compensateur de vitesse et l'envoi de courants correcteurs. L'axe de la roue des types est prolongé et porte quatre roues ; la première tourne à frottement doux sur l'axe, et se déplace avec la roue correctrice à laquelle elle est liée par un cliquet ; elle entraîne un manchon à rainure hélicoïdale, dans laquelle peut se mouvoir un goujon implanté sur un manchon solidaire de la seconde roue ; sous l'action du courant correcteur, cette roue se déplace longitudinalement, entraînant la troisième roue qui a le même diamètre que la seconde, et roule avec elle sur un plateau horizontal qu'elles entraînent ;

la quatrième roue, celle d'entraînement du papier, est solidaire de la troisième, et sa vitesse est modifiée comme celle de la troisième par l'influence du courant correcteur.

APPAREIL IMPRIMEUR AUTOMATIQUE

Pour augmenter le rendement de l'appareil Hughes, M. Parment substitue à la roue des types deux roues parallèles, l'une pour les lettres, l'autre pour les chiffres et signes usuels; chacune porte quarante-huit caractères; sur la roue des lettres, les caractères les plus fréquemment employés figurent plusieurs fois :

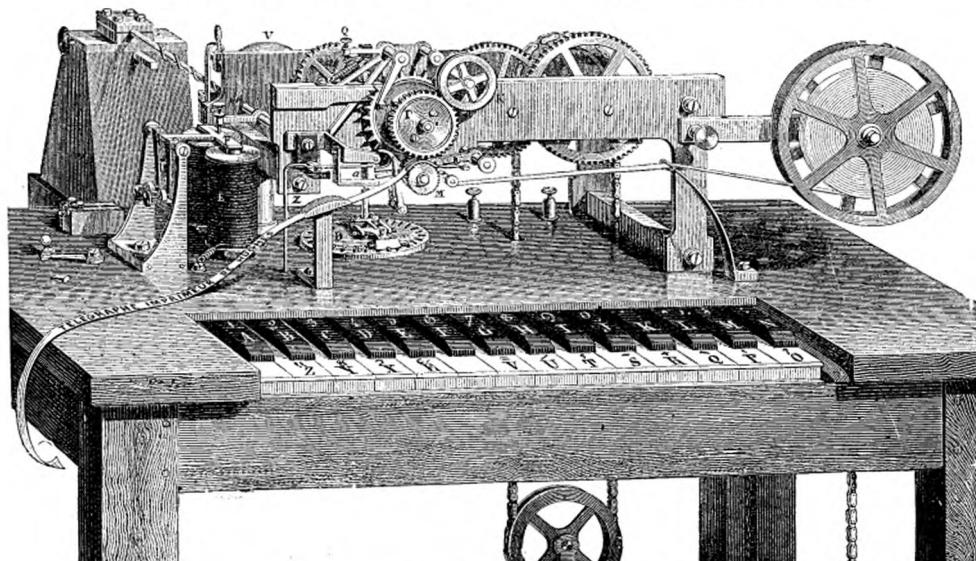


Fig. 34. — Appareil Hughes, construit par la maison Bréguet.

la voyelle E cinq fois, les autres quatre fois; sur la roue des chiffres, 0 et 5 figurent cinq fois, les autres quatre. Les blancs de la roue des types sont supprimés et produits sur la bande de réception par un contre-électro-aimant spécial, excité par un courant négatif, tandis que l'impression est produite par un courant positif; on pourrait obtenir ainsi trois lettres et demie par tour, à condition de substituer une perforation préalable à la manipulation.

Le perforateur comporte huit poinçons manœuvrés par des touches et une manette; six touches blanches correspondent aux perforations positives; six noires aux perforations négatives; en regard des touches est un prisme à huit faces; sur chaque face, six lettres et six chiffres, inscrits dans l'ordre où ils sont

sur les roues, la première lettre d'en face étant de six rangs en avance sur la première de la face précédente. Pour poingonner, on doit se placer en face du prisme ; si la lettre à imprimer se trouve sur la face visible du prisme, on presse la touche correspondante, sinon on fait tourner la manette d'avant en arrière, ce qui amène la face suivante du prisme devant l'opérateur et fait avancer la bande ; on doit ensuite faire tourner de nouveau le prisme avec la manette et n'imprimer la lettre suivante que si elle est au-dessus et à droite de la précédente, c'est-à-dire séparée par six rangs au moins.

La bande perforée passe dans un transmetteur automatique ; et les signaux reçus par des électro-aimants polarisés fermant, suivant le sens du courant, le circuit de l'un ou de l'autre des électro-aimants du récepteur qui va être décrit et qui était seul exposé ; les autres éléments du système n'étaient représentés que par des dessins.

L'axe imprimeur de l'appareil Hughes est remplacé par trois axes qui peuvent embrayer, sous l'action des électro-aimants, avec trois axes situés dans leur prolongement et mis par le mouvement d'horlogerie ; leur vitesse est quatre fois celle de cette roue. L'arbre n° 1 sert à l'impression ; l'arbre n° 2 à faire les blancs ; l'arbre n° 3 sert à déplacer longitudinalement la double roue des types, pour permettre d'imprimer soit des lettres, soit des chiffres ; une émission de courant embraye un seul des trois arbres qui accomplit alors une demi-révolution.

La roue correctrice porte 24 dents placées sur l'une de ses faces, en regard de l'extrémité de l'arbre n° 1 qui porte deux cames diamétralement opposées agissant, l'une pour corriger l'avance, l'autre pour corriger le retard.

Les embrayages sont déterminés par deux électro-aimants Hughes ; l'un, dont l'armature obéit aux courants positifs, gouverne les arbres n°s 1 et 3 ; le second obéit aux courants négatifs et régit l'arbre n° 2 par l'intermédiaire d'un mécanisme particulier ; un axe est formé de trois parties discontinues ; celle du milieu est actionnée par le levier d'échappement de l'électro-aimant des blancs ; les deux extrêmes sont liées l'une au levier agissant sur l'arbre n° 1, l'autre sur un levier agissant sur l'arbre n° 3.

Les trois parties de l'arbre portent des saillies dans le prolongement les unes des autres, de sorte que le déplacement d'un manchon rend solidaire la partie médiane et l'une des extrêmes. Ce manchon est porté par une fourchette menée par un excentrique, porté par un arbre relié par engrenages à l'axe des blancs, et tournant deux fois moins vite que lui. L'émission d'un courant négatif fait tourner l'excentrique d'un quart de révolution, ce qui déplace le manchon, mais d'une quantité insuffisante pour rompre la solidarité existante normalement entre le levier de l'arbre n° 1 et la partie médiane ; si un courant positif succède à ce négatif, des cames placées sur l'axe imprimeur (n° 1) ramènent le manchon et l'excentrique en place ; au contraire, l'émission d'un second courant négatif

doublant le déplacement rend solidaires les trois parties de l'axe et le levier de l'arbre n° 3 ; le premier courant positif émis après, actionnant le levier n° 1 déplace en même temps la roue des types, et permettra l'impression des chiffres ; le manchon sera ramené à sa position initiale, et on imprimera des chiffres jusqu'à un nouvel envoi de deux négatifs l'un après l'autre.

Trois émissions négatives consécutives ont pour effet de produire le soulèvement de la pédale d'arrêt au moyen d'une came portée par l'arbre de l'excentrique, et de mettre en marche l'appareil récepteur.

A côté du récepteur imprimeur est un récepteur perforateur pour la transmission de la dépêche.

A la même classe d'instruments appartient un appareil d'Edison au moyen duquel on aurait obtenu, sur une ligne courte, il est vrai, la vitesse extraordinaire de 2 000 mots par minute. La perforation est faite sur cinq bandes, et les perforations disposées de manière à représenter les diverses lettres de l'alphabet ; le clavier est construit de telle manière qu'il suffit d'appuyer sur une touche pour déterminer ces perforations. La bande perforée est passée dans un transmetteur du genre Wheatstone ; mais à chaque bande de perforation correspondent un fil et un style en fer traçant une courte ligne sur un papier préparé passant sur un cylindre qui tourne avec rapidité ; l'ensemble des marques ainsi obtenues reproduit en caractères romains la dépêche expédiée.

APPAREILS MULTIPLES

L'appareil Meyer à transmissions multiples était exposé sous son ancienne forme, et aussi avec une modification de M. Willot, permettant au récepteur d'imprimer en signaux Morse ordinaires. Dans ce récepteur, la vitesse du papier doit être assez grande pendant que le frotteur passe sur le secteur du distributeur correspondant à l'appareil, et insensible quand le frotteur passe sur les autres secteurs. A cet effet, le mouvement d'horlogerie est double et comporte deux bariollets ; l'un produit un mouvement continu de la molette et du disque encreur ; le rouage du second est déclenché par un courant local, un instant avant que le secteur soit mis en rapport avec la ligne ; ce courant passe dans les bobines d'un électro-aimant dont l'armature attirée libère le rouage ; l'armature est ensuite maintenue par le courant de ligne qui circule également autour du noyau, jusqu'à ce que l'impression soit terminée ; l'armature se relève et arrête le rouage. L'électro-aimant destiné à l'impression est à armature polarisée, ce qui suppose la manipulation faite par courants inversés ; l'axe de la molette est engagé dans le levier de l'armature : un courant positif rapproche la molette du papier, un courant négatif l'en éloigne.

L'appareil Baudot a subi des modifications importantes depuis 1878 ; le re-

lais Siemens a été remplacé par un relais nouveau ; un régulateur à force centrifuge substitué à la tige vibrante ; le traducteur ou combinateur est purement mécanique.

Le régulateur est un frein qui agit dès que la vitesse dépasse la vitesse normale. Une masse mobile peut se déplacer en glissant sur deux tiges-guides ; celles-ci sont fixées transversalement à l'extrémité d'un arbre. Deux ressorts à boudin tendent à ramener la masse vers l'axe de rotation ; ils prennent leur point d'appui sur l'arbre lui-même. Au repos, le centre de gravité du système formé par la masse, les ressorts et les supports se trouve sur l'axe. Lorsque l'arbre tourne, la masse se déplace, et les ressorts, prenant leur point d'appui sur l'arbre, le font sur ses paliers, ce qui introduit une résistance dépendant de la distance de la masse à l'axe. Pour rendre ce frein isochrone, il faut que la masse ne soit en équilibre que pour une vitesse déterminée, et que pour cette vitesse l'équilibre puisse subsister quelle que soit la position de la masse. M. Baudot obtient ce résultat :

1^o En disposant les ressorts de manière que leur tension soit nulle quand le centre de gravité de la masse est sur l'axe ;

2^o En déterminant leur section de sorte que pour un raccourcissement de 0^m,01, par exemple, leur tension soit égale à la force centrifuge appliquée à la masse, tournant à la vitesse normale et à une distance de 0^m,01 de l'axe ; si cette dernière condition est réalisée pour une distance de 0^m,01, elle le sera à toute distance, les tensions et les forces centrifuges étant proportionnelles à la distance à l'axe ou raccourcissement. La masse reste donc en équilibre seulement à la vitesse normale, et introduit par l'intermédiaire des ressorts la résistance strictement nécessaire pour égaliser le travail moteur et le travail résistant. Le travail supplémentaire imposé au moteur par le régulateur varie de 5 à 90 grammes par seconde, dans les modèles de M. Baudot, où la vitesse est de 265 tours par minute, et la masse de 40 grammes.

Quant au traducteur actuel, il est caractérisé par ceux-ci : les cinq chercheurs, au lieu d'être sur un même rayon, se suivent : les dix voies de l'appareil primitif, sont remplacées par deux disques parallèles, sur les tranches desquelles se meuvent les frotteurs. Les disques portent des entailles, les pleins de l'un correspondant aux creux de l'autre. Les électro-aimants aiguilleurs déterminent pour chaque frotteur le disque suivi ; il y a pour chaque combinaison d'aiguillage, correspondant à une combinaison des touches du clavier, une position unique des frotteurs pour laquelle les frotteurs se trouvent tous en face de creux, et permettent le mouvement de bascule qui produit l'impression.

M. Munier a exposé un appareil quadruple destiné à actionner plusieurs récepteurs Hughes. A la transmission et à la réception sont deux appareils distributeurs synchroniques, dont chaque secteur est attribué à un clavier d'un côté, à

un imprimeur pour la réception. Chacun d'eux est divisé en secteurs plus petits au nombre de 7. Quand le balai du distributeur porte sur le premier de ces secteurs, le courant de ligne est envoyé dans un groupe de deux électro-aimants en série, à armature polarisée, le premier lâchant son armature sous l'influence d'un courant négatif, le second sous l'influence d'un positif ; quand le balai porte sur le second, le courant est envoyé dans un groupe semblable ; ces quatre électro-aimants se nomment *les clefs* ; le balai sur la troisième touche met la ligne à la terre ; les quatrième, cinquième et sixième secteurs en rapport successivement avec trois groupes d'électro-aimants semblables aux premiers, et qui sont les six relais ; le septième secteur établit encore une communication à la terre.

Le clavier de manipulation est disposé de telle sorte qu'en abaissant une de ses touches, on peut mettre les quatrième, cinquième et sixième secteurs en rapport avec le pôle positif ou le pôle négatif d'une pile, tandis que les deux premiers ou bien restent à la terre, ou sont mis en rapport avec un pôle positif ou négatif ; on peut donc, pendant le passage du balai sur le secteur, ou envoyer un seul courant actionnant l'un des six relais, ou envoyer deux courants, le premier actionnant une des quatre clefs, le second une des six séries de la réception, ce qui constitue trente combinaisons, dont vingt-huit seulement correspondant aux signaux Hughes, c'est-à-dire vingt-six lettres, blanc des lettres et blanc des chiffres, signaux qu'on peut décomposer en cinq groupes qu'on peut numérotter de I à V, le premier pour les signaux formés d'une seule émission de courant, et les autres pour les signaux agissant sur les première, deuxième, troisième et quatrième clefs et qui, dans chaque groupe, seront numérotés de 1 à 6 par le numéro du relais actionné ; le cinquième groupe ne contient que quatre signaux.

A la réception, l'impression est faite pour une roue du type ordinaire, sous l'action d'un courant local passant dans l'électro-imprimeur au moment où la lettre se trouve en face du papier. La fermeture de ce courant a lieu au moment voulu par le mécanisme suivant : un disque isolant, dit *collecteur*, porte deux couronnes de secteurs métalliques isolés les uns des autres ; la couronne extérieure porte 28 divisions, la couronne intérieure, 5, dont les premières correspondent à 6 divisions de la couronne extérieure, et la dernière à 4 seulement ; un frotteur fait communiquer à chaque tour les éléments de la couronne extérieure avec la division correspondante à l'intérieur ; le frotteur est synchronique de la roue des types ; à chaque signal ou type, correspond un numéro, variant de 1 à 6, de l'un des cinq groupes ; il faut que, lorsque le frotteur passe sur un numéro d'un groupe correspondant au signal envoyé, le circuit local se ferme. Toutes les touches du collecteur de même numéro sont reliées entre elles et au relais de même numéro ; le secteur I de la couronne intérieure est relié à l'électro-aimant imprimeur passant successivement par les armatures et les butoirs des clefs, qui est ouvert, par conséquent, quand l'une d'elles a lâché son arme-

ture, mais fermé dans le cas contraire. Si le signal formé au manipulateur appartient au premier groupe, le troisième par exemple de ce groupe, le courant de la ligne ayant été dirigé vers le troisième relais, l'armature de celui-ci aura lâché son armature, et au moment où le balai du collecteur viendra sur la troisième division du premier groupe, le circuit local sera fermé par le contact de l'armature n° 3 et de son butoir ; la division n° 3 de la couronne extérieure, n° 1 de la couronne intérieure, et de tous les contacts des armatures des clefs, les contacts des armatures des relais sont en dérivation sur le circuit local. Les autres secteurs II, III, IV, V, sont respectivement reliés aux armatures des première, deuxième, troisième et quatrième clefs, de sorte que, quand un signal du troisième groupe a été envoyé, la circuit local est fermé par l'armature de la deuxième clef, le secteur III de la couronne, et la division de la couronne extérieure correspondant au numéro du relais qui a fonctionné, et il a été fermé seulement quand le frotteur, et par suite la roue des types, est arrivé à la place convenable. Quand l'impression se fait, l'armature de l'électro-imprimeur ferme le circuit d'une seconde pile locale sur lequel sont intercalés deux électro-aimants qui ramènent les armatures déplacées, soit des relais, au contact des noyaux.

Le synchronisme des distributeurs est maintenu par l'emploi du courant collecteur comme dans l'appareil Hughes ordinaire ; il est essentiel que la roue des types du récepteur et le balai du collecteur correspondant soient rigoureusement synchroniques, et que ces deux organes aient terminé leur rotation avant que le secteur correspondant du distributeur entre en activité ; la vitesse de la roue des types est un peu supérieure à celle du distributeur ; elle s'arrête à chaque révolution automatiquement et n'est débrayée que sous l'action d'un petit électro dans lequel le distributeur envoie un courant local avant l'entrée en jeu du secteur.

L'appareil fonctionne à raison de 130 tours à la minute ; chaque lettre demande 1 tour, avec deux émissions de courant seulement ; on pourrait donc avoir, avec 1 000 émissions de courant par minute, environ 500 lettres ou 5 000 mots à l'heure.

Ce système, très intéressant pour l'Administration française des postes et télégraphes, parce qu'il utilise les éléments de l'appareil Hughes qui est l'instrument le plus répandu, a été essayé sur une ligne assez courte (Paris à Dijon), puis récemment sur la ligne de Paris à Lyon ; la vitesse a dû être un peu réduite, et chaque clavier donne en moyenne 40 dépêches à l'heure.

TRANSMISSIONS SIMULTANÉES. — APPAREILS EDISON

Parmi les appareils de l'exposition Edison, se trouvait un dispositif ancien pour envoyer à volonté des courants d'intensité variée dans le fil et les récep-

teurs correspondants. Chaque poste comprend deux relais dont l'un, polarisé ne fonctionne que pour des courants positifs supérieurs à une intensité déterminée $+1$, l'autre est un relais ordinaire fonctionnant sous l'action de courants, positifs ou négatifs, d'intensité au moins égale à 3 . Au départ sont deux piles, dont l'une a deux fois plus d'éléments que l'autre, et deux manipulateurs. Quand les deux manipulateurs sont au repos, un courant négatif -1 passe sur la ligne ; si le manipulateur n° 1 est abaissé, le courant envoyé -3 agit sur le relais ordinaire, le manipulateur n° 2 envoie le courant $+1$, qui agit sur le relais polarisé, et les deux manipulateurs abaissés ensemble envoient un courant $+3$ qui agit sur les deux relais. Lorsque le courant passe brusquement de -3 à $+3$ dans le relais ordinaire, la transmission serait troublée si l'on ne disposait un condensateur dont la décharge maintient l'armature appliquée. Cette disposition, combinée avec l'emploi d'un pont de Wheatstone à chaque station, sur une diagonale duquel est monté le relais du récepteur, permet la transmission quadruplex, et est employée en Amérique.

TRANSMISSION SIMULTANÉE DANS LES DEUX SENS

Pour une transmission duplex simple, Edison expose deux systèmes. Le premier est analogue au système duplex qui vient d'être décrit ; les signaux sont transmis dans un sens par renversement de la polarité d'un courant, et dans l'autre sens par changement de l'intensité. Le poste n° 1 a deux piles : le pôle positif de l'une P_1 , et le négatif de l'autre P_2 , sont reliés à la ligne par deux électro-aimants agissant sur une armature unique. La pile P_1 est isolée et le pôle positif P_2 est à la terre quand le manipulateur est baissé ; quand il est levé, la pile P_1 a son pôle négatif à la terre et la pile P_2 est isolée. L'armature, maintenue par son ressort, bien que sollicité par les deux électro-aimants, ne cède pas à leur attraction ; le mouvement du manipulateur, renversant le sens du courant, agit sur le relais polarisé du poste n° 2.

Au poste n° 2, le manipulateur, quand il est levé, met la ligne à la terre par le récepteur à travers une résistance assez grande ; quand il est baissé, cette résistance est supprimée et le courant positif ou négatif, qui passe alors dans les électro-aimants du n° 1, agit sur l'armature.

Un autre système est différentiel : le récepteur est placé sur le circuit primaire d'une bobine à deux fils, l'un de ces deux fils va à la ligne, l'autre à la terre par la ligne artificielle du poste transmetteur ; un courant venant de la ligne se propage dans le même sens dans les deux fils, tandis que les courants émanés du poste, se bifurquant entre ces deux fils, n'ont pas d'action sur le récepteur.

PHONOPORES

M. Langdon Davies donne le nom de *phonopore* à une bobine d'induction portant un fil primaire et deux fils secondaires, avec cette particularité que chacun de ces deux fils a une extrémité isolée ; l'un est à la terre et l'autre aboutis au *transformateur* par la seconde extrémité ; le circuit primaire comprend une pile, un trembleur ou vibrateur et une clef de manipulation. Le transformateur est le véritable récepteur, et le fil, après l'avoir traversé, se rend à la ligne. C'est un noyau de fer doux portant deux bobines : l'une reçoit le fil qui vient du phonopore, et l'autre fait partie d'un circuit local contenant un galvanomètre, un relais et un contact ; au-dessus d'un des pôles est une plaque ou diaphragme qui vibre dès que des courants alternatifs passent dans la bobine, tandis qu'il est attiré et maintenu fixe par le courant local, en l'absence de courant sur la ligne ; les vibrations de ce diaphragme n'acquièrent une amplitude appréciable qu'autant que la période des courants alternatifs est celle de son propre mouvement vibratoire, et, dans ce cas seulement, il fonctionnera comme récepteur en rompant le contact ; sa position moyenne est d'ailleurs déterminée par l'intensité du courant local, passant dans l'une des bobines de l'électro-aimant dit *transformateur*. Le contact est établi, au-dessus du diaphragme vibrant, entre une languette, portée par un ressort, et une petite masse ou pendule, portée au bout d'une tige horizontale ; lorsque les vibrations du diaphragme ont l'amplitude suffisante, il vient toucher la languette et trouble le contact entre elle et le pendule ; l'intensité du courant local diminue ce qui éloigne un peu le diaphragme du pôle et rend son action sur la languette assez énergique pour que le pendule soit soulevé et le courant local interrompu dans le relais, qui abandonne son armature et actionne le récepteur télégraphique, imprimeur ou parleur, qui se trouve dans un circuit fermé par l'armature.

A l'Exposition, une ligne de 10 000 ohms avait été établie entre deux stations comprenant chacune un morse ordinaire et deux phonopores de sons différents, les transformateurs de chacune d'elles étant accordés avec les phonopores de l'autre, ce qui permettait d'envoyer simultanément trois dépêches dans le même sens, sur le fil qui les réunit, et les signaux émis par les chefs de chaque poste venaient s'inscrire sur les imprimeurs de l'autre.

M. Langlois Davies indique plusieurs moyens de duplexer, dont le plus simple consiste à affecter des sons différents aux récepteurs et aux phonopores de la même station. Une ligne phonoporique proprement dite, étant ouverte aux deux bouts et travaillant par les décharges oscillatoires d'un condenseur à haute tension formé par les deux fils induits, peut avoir une résistance considérable. L'inventeur annonce avoir transmis, avec 15 éléments à chaque bout dans les circuits primaires, à travers une résistance de 100 000 ohms.

M. Sieur exposait trois systèmes de transmissions duplex.

Première méthode. — Le courant envoyé sur la ligne peut prendre l'intensité 1 quand le manipulateur n° 1 est abaissé, l'intensité 3 quand le manipulateur n° 2 est abaissé, et enfin l'intensité 2 quand les deux sont abaissés à la fois. Le récepteur est un relais à deux armatures, l'une, ordinaire, dont le ressort est antagoniste de manière à fonctionner pour un courant d'intensité 2 ou au-dessus, l'autre polarisée, est repoussée pour les courants égaux à 2 ou inférieurs, mais reste attirée pour les courants d'intensité supérieure, la polarité développée par l'électro-aimant détruisant celle due à l'aimant permanent.

Deuxième méthode. — La transmission emploie deux piles, l'une positive, l'autre négative; une roue dentée, animée d'un mouvement de rotation rapide, met la ligne alternativement en communication avec deux frotteurs reliés aux pôles de ces piles; un manipulateur est intercalé dans chacun de ces circuits; le relais de réception est à double armature; chacune de ces armatures est polarisée et n'obéit qu'à des courants de sens déterminés; elles vibrent d'une manière continue; si, au moyen du manipulateur, on interrompt les courants positifs, l'armature correspondante, sollicitée par le ressort antagoniste, vient fermer un circuit local sur un récepteur.

Troisième méthode. — On ajoute aux organes ordinaires de la transmission simple des appareils fonctionnant par des courants alternatifs de courte période: le manipulateur ferme en local, sur un vibrateur, le circuit primaire d'une bobine dont le secondaire est en rapport avec la ligne; à la station réceptrice, ces courants sont transformés, ils passent dans le fil fin d'une bobine semblable dont le circuit primaire contient un relais à double armature polarisée qui vibre sous l'action de ces courants, et ouvrent le circuit local d'un récepteur qui était fermé au repos; ce circuit local passe successivement par les contacts de repos de la double armature, et il suffit que l'une des deux soit légèrement déplacée pour que ce courant local soit affaibli notablement; un relais établi dans ce circuit lâche alors son armature et ferme le circuit d'un récepteur Morse.

D'autre part, la ligne, après avoir traversé la bobine, arrive à un appareil télégraphique ordinaire, muni du dispositif Van Rysselberghe; le manipulateur ordinaire, anti-inducté et muni du condensateur, n'envoie dans la ligne que des courants trap gradués pour déterminer dans le circuit primaire de la station réceptrice des courants assez intenses pour agir sur le relais à double armature polarisée.

APPAREILS AUTOGRAPHIQUES

L'exposition américaine, à côté des appareils déjà anciens, au moyen desquels M. Elisha Gray avait réalisé les premières transmissions multiples par diapa-

sons, contenait un spécimen remarquable de reproduction télautographique, c'est-à-dire d'une dépêche reproduite pendant qu'elle est écrite à la main, mais la combinaison qui a permis d'atteindre ce résultat n'était ni décrite ni exposée.

Dans l'appareil Edison, le transmetteur est un cylindre vertical tournant, sur lequel est enroulé le papier; la dépêche est écrite avec un crayon dur. Sur ce cylindre, animé d'un mouvement hélicoïdal à pas très petit, frotte une pointe, qui, en passant sur les petites dépressions causées par le crayon, se déplace assez pour produire la fermeture d'un courant; celui-ci, au poste de réception, agit sur un papier réactif enroulé sur un cylindre semblable dont le mouvement est synchronique du premier.

Dans l'appareil Jordery, la dépêche est tracée par un crayon qui fait mouvoir deux tringles à angle droit; chacune de ces tringles agit sur un rhéostat à liquide dont elle fait varier la résistance; les courants qui traversent ces rhéostats sont envoyés chacun par un fil dans les deux électro-aimants de récepteur.

Ceux-ci font mouvoir des armatures sollicitées par des ressorts antagonistes puissants, à angle droit l'une sur l'autre; chacune porte une fourchette dans son prolongement; un tube capillaire traverse le carré formé par l'intersection des deux fourchettes et laisse une trace sur un papier qui se déroule avec une vitesse de 4 millimètres par seconde.

Ces appareils, comme leurs prédecesseurs, n'ont qu'un faible rendement et n'ont jamais fait l'objet d'une exploitation suivie.

A titre historique, les appareils autographiques, l'un électro-magnétique de Meyer, l'autre électro-chimique de d'Arlincourt, qui ont tous deux fonctionné avec succès, étaient exposés au Pavillon de l'Administration française.

TRANSMISSION SUR LES CABLES SOUS-MARINS

L'appareil de réception pour les grands câbles sous-marins est toujours le siphon recorder de sir William Thomson; à l'électrisation de l'encre du siphon, M. Cuttris a substitué un mouvement vibratoire de ce dernier. L'extrémité du tube en verre porte une petite pointe tirée d'un fil de fer très fin et séparée de l'armature d'un électro-aimant par l'épaisseur du papier; l'électro-aimant est excité à intervalles réguliers par un trembleur; le siphon vibre à l'unisson et trace sur la bande une ligne formée d'une série de points très rapprochés.

Pour la transmission, on est arrivé sur le câble de Marseille à Alger, duplexé par la méthode de M. Ailhaud, à transmettre de 600 à 650 émissions de courant dans chaque sens, ce qui dépasse la vitesse de manipulation que peut pratiquement soutenir en employé pendant quelques heures. MM. Belz et Brahic ont adapté la transmission automatique de l'appareil Wheatstone à ce service.

L'appareil n'ayant à transmettre que des points placés à droite ou à gauche de la ligne centrale, le perforateur ne porte que trois poinçons. Le transmetteur actionne un relais Froment monté en inverseur de courant, qui émet les courants envoyés au câble. Deux leviers coudés montés sur le même axe sont en relation d'un côté avec les aiguilles, de l'autre avec deux vis butoirs, contre lesquels des ressorts tendent constamment à les appliquer; ces leviers solidaires des aiguilles sont actionnés par une cheville unique fixée sur le balancier. Une pile locale positive est reliée au massif de ce transmetteur qui envoie le courant tantôt dans l'une, tantôt dans l'autre paire des bobines du relais. Les deux pôles de la pile de ligne communiquent : l'un avec les deux butoirs supérieurs, l'autre avec les deux butoirs inférieurs entre lesquels se meuvent les palettes mobiles du relais; l'une de ces palettes communique avec la terre, l'autre avec le câble.

Sur ce même câble, relativement court (494 milles, 5 390 ohms et 12 microfarads), M. Mandroux, après la mort de M. Ailhaud, essaya l'emploi de l'appareil Hughes. Au départ, le câble est en communication avec un frotteur calé à l'extrémité de l'arbre des cames, et qui se meut sur un distributeur; chaque fois que le chariot rencontre un goujon soulevé, ce frotteur effectue une révolution; son jeu, combiné avec celui d'une came et d'un levier de transmission, détermine successivement :

1° L'isolement du câble pendant un temps très court, mais suffisant pour atténuer l'effet des courants telluriques;

2° La charge, par une pile de 15 éléments, d'un condensateur dont une armature est reliée au câble produit le signal;

3° La mise à la terre d'abord à travers une résistance, puis directement;

4° La mise en communication du câble avec un galvanomètre Thomson, qui indique si la ligne est bien déchargée, ou s'il convient de modifier le réglage pour y arriver.

A la réception se trouve le relais dont il a été fait mention plus haut et dont l'armature, au lieu d'établir un contact sous l'action du courant de ligne, rompt au contraire le circuit d'une pile locale, dont une dérivation, dans la position de repos, passe d'une manière permanente dans l'électro-récepteur; le plus petit mouvement de l'armature produisant un mauvais contact augmente l'intensité dans ce récepteur, et l'action est immédiate, l'armature n'ayant pas à se déplacer d'une manière appréciable pour que le récepteur soit actionné.

Ce système, intéressant en ce qu'il permet d'utiliser le Hughes sur des lignes d'une grande capacité, a fonctionné pendant deux ans sur les lignes franco-algériennes, mais son rendement est inférieur à celui du siphon recorder, et il a été abandonné.

MANIPULATEUR DE L'EASTERN ET C°

L'Eastern C° emploie la double clef de M. Saunders, qui permet de contrôler au départ les dépêches transmises. Cette clef se compose de deux leviers Morse accouplés, dont l'extrémité postérieure porte un ressort en acier, isolé du levier principal par une feuille d'ébonite, et mobile entre deux vis butoirs. L'abaissement d'une touche envoie le courant de la pile de ligne sur le condensateur, et en même temps le courant de même sens émanant d'une pile locale dans un récepteur à double armature polarisée, tandis que l'abaissement de l'autre touche envoie un courant de sens contraire, et sur le conducteur et sur le récepteur, dont la seconde armature est attirée ; chacune des armatures agit sur une des molettes d'un appareil imprimeur double ; les deux molettes impriment sur deux lignes parallèles une série de traits qu'on lit dans l'alphabet des bandes perforées de Wheatstone.

RAPPELS

En France, dans le réseau exploité par l'État, il n'y a jamais plus de deux bureaux dits *municipaux*, embrochés sur la même ligne, et ne possédant pas de personnel permanent pour ces bureaux ; un rappel par sonnerie est nécessaire, et il suffit de placer dans chacun de ces bureaux un relais polarisé, n'obéissant qu'aux courants d'un sens déterminé ; la correspondance se fait avec l'un des postes par courant positif, avec l'autre par courant négatif ; inversement pour savoir, au bureau central qui correspond avec eux, quel est le poste appelant, il suffit de connaître le courant reçu. M. Claverie a construit un commutateur inverseur qui supprime cette opération et met automatiquement sur la ligne le pôle correspondant au poste qui a appelé. Le courant du poste passe dans l'électro-aimant dont l'armature est mobile au-dessus des pôles d'un aimant permanent, qui porte quatre butoirs, dont deux en rapport avec le pôle positif et deux autres avec le pôle négatif de la pile du bureau ; cette armature porte une queue reliée à la terre et isolée de l'armature qui est reliée électriquement au manipulateur ; quand l'armature porte sur l'un ou l'autre des butoirs antérieurs, la queue porte sur le butoir diamétralement opposé, et les communications convenables sont établies.

Dans le cas où plusieurs postes sont embrochés sur la ligne, M. Vacquier de Limon emploie pour l'appel d'un poste quelconque, désigné par un numéro d'ordre, un système de deux électro-aimants, l'un à deux bobines et deux armatures polarisées en sens inverse ; l'autre est un électro-aimant ordinaire, et en face duquel est une roue ayant autant de dents qu'il y a de postes à appeler. Toutes ces dents, sauf une, différente pour chaque poste, sont en communication

avec la terre ; celle qui est isolée est sur sonnerie. Chaque émission positive du poste central agissant sur une des armatures polarisées fait avancer la roue d'une dent par l'intermédiaire d'un cliquet ; par suite, à la cinquième émission positive, toutes les cinquièmes dents sont en face de l'électro-aimant, mais, au poste 5 seulement, le cliquet qui touche cette dent est en rapport avec la sonnerie. Le poste central lance alors un courant négatif, agissant sur la seconde armature du relais polarisé, qui ferme un circuit local sur le levier, la dent et la sonnerie ; ce circuit traverse en même temps le second électro-aimant qui attire le ressort qui appuyait le levier sur la dent et le dégage de la roue ; celle-ci revient à sa position primitive.

Le rappel général de M. Claude résout plus complètement le problème de l'intercommunication des postes embrochés ; il permet à un poste quelconque d'en appeler un autre et de rester en rapport avec lui seul.

Chaque poste possède un relais double et un rappel à deux cadrants ; chaque cadran porte autant de numéros plus un qu'il y a de poste. Le poste appelant amène l'aiguille d'un des cadrants sur son numéro, puis amène l'aiguille de l'autre cadran sur le numéro du poste appelé ; cette manœuvre suffit pour que la communication soit établie entre les deux postes. Un numéro commun sert à établir la communication générale ou collective.

Le rappel, le récepteur et la sonnerie de chaque poste fonctionnent au moyen d'une pile locale ; seuls les relais sont actionnés par le fil de ligne ; ils sont tous embrochés par le circuit, la terre n'est prise qu'aux deux extrémités.

Le relais double est composé de deux bobines placées chacune dans le champ magnétique d'un aimant permanent, et qui oscillent chacune sous l'influence d'un courant de sens déterminé ; lorsqu'elles sont traversées toutes deux par un courant quelconque, une seule des deux s'écarte de ses butoirs.

Le rappel est une combinaison de deux appareils à cadran ; un mouvement d'horlogerie actionne les deux cylindres quand on les fait déclencher par leur électro-aimant respectif. L'un des cadrants correspond à *poste appelé*, l'autre à *poste appelant*. La rotation de ces cylindres qui avancent d'un cran à chaque émission, l'un pour les émissions positives, l'autre pour les émissions négatives, a pour effet d'ouvrir ou de fermer les circuits, suivant la position des cames qui soulèvent ou laissent retomber des ressorts sur des contacts.

La poste appelant émet un nombre de courants égal au numéro du poste appelé. Tous les cadrants *poste appelé* de la ligne s'arrêtent à ce même numéro, mais seul le poste correspondant pourra recevoir, les récepteurs des autres étant isolés de la ligne ; après inversion de courant au départ, on émet des courants de sens contraire en nombre égal à celui du poste appelant, les aiguilles des cadrants *postes appelant* s'arrêtent au nombre correspondant, et toute la ligne sait quels sont les postes en correspondance. En ramenant les aiguilles de tous les rappels à la croix, on indique que la voix est libre.

Ce système est employé sur le chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée sur une longueur de 511 kilomètres, avec 11 postes.

C'est à la construction du relais que M. Claude attribue le succès de la méthode ; les relais exposés fournissaient 55 contacts à la seconde, la durée de chacun des contacts étant suffisante pour actionner un appareil local capable de ce nombre d'oscillations, avec une intensité de 4 milliampères.

Un autre procédé (système Marchand, exposé par la Compagnie P.-L.-M.) consiste à munir le poste appelé de parleurs ; les postes extrêmes seuls ont une pile de ligne ces deux piles sont opposées : le poste appelant, en manipulant, met la ligne à la terre, et les parleurs de chaque poste sont actionnés ; le circuit de la pile locale est fermé par le parleur. L'appel d'une gare se fait par le numéro indicatif de son nom. La gare appelée met un récepteur en communication avec la ligne et peut recevoir. Le système n'est pas automatique comme le précédent ; de plus, il y a un réglage assez délicat à faire pour compenser les pertes et les variations d'intensité des piles.

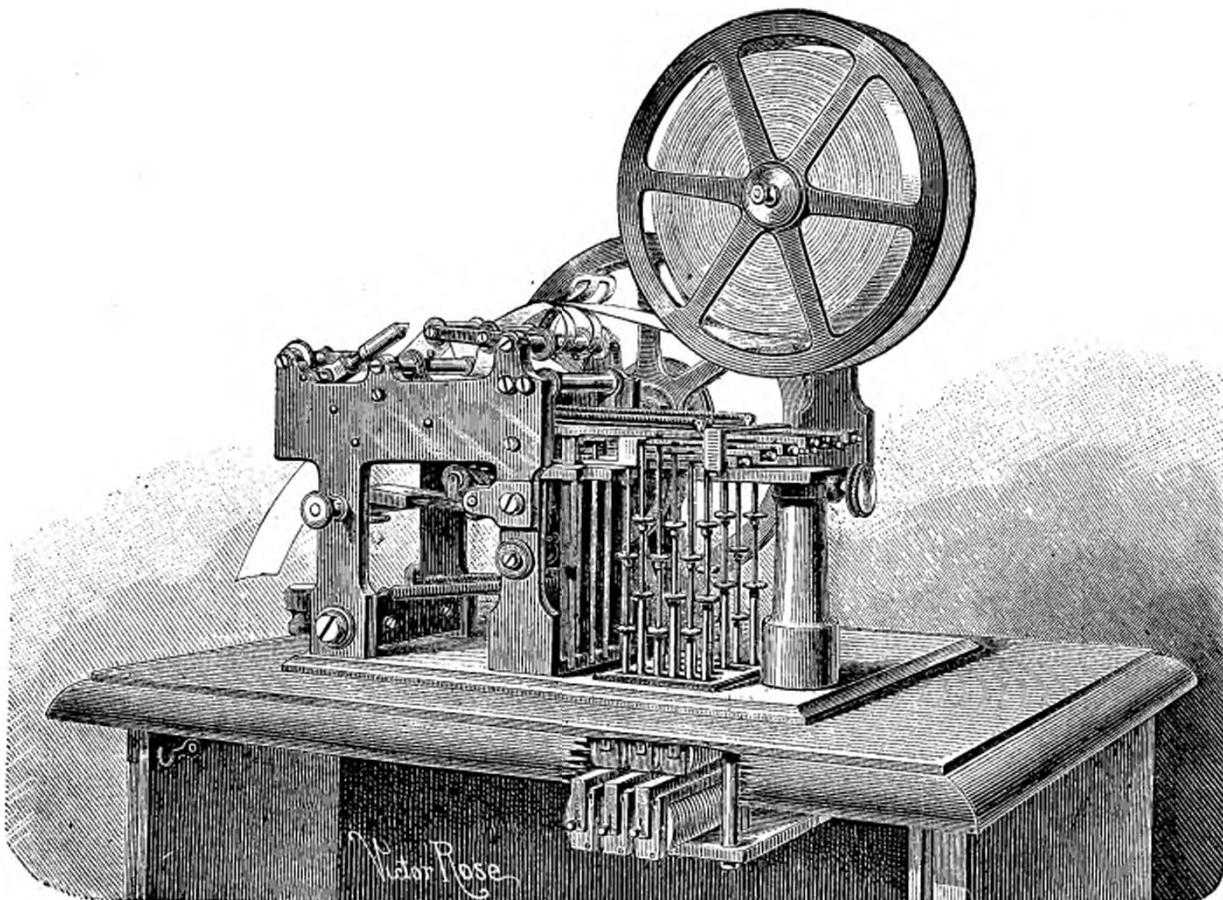
Dans les postes qui peuvent être attaqués par deux autres, correspondant par courant soit positif, soit négatif, il est nécessaire de reconnaître le sens du courant qui actionne la sonnerie ou le parleur. MM. Sambourg et Willot exposaient deux appareils pouvant fonctionner avec le parleur ordinaire. Celui de M. Sambourg est installé sur une des parois de la boîte qui renforce les sons du parleur ; c'est un petit aimant pivotant autour d'un axe horizontal ; quand il ne passe pas de courant dans l'électro-aimant, il est vertical, le pôle Nord en bas ou en haut, suivant le sens du courant qui passe dans la bobine. L'extrémité supérieure de l'indicateur porté par l'aimant est visible, et l'on voit apparaître un signe + ou un signe —.

Une petite tige verticale faisant saillie au dehors permet de ramener l'aimant à sa position initiale. L'indicateur de M. Willot est un aimant disposé en face d'une bobine spéciale, qui l'oriente à gauche ou à droite de sa position d'équilibre, suivant le sens du courant.

STÉNO-TÉLÉGRAPHIE

La sténo-télégraphie de M. Cassagnes est un système à grand délai qui fonctionne dans des conditions différentes, suivant qu'il s'agit d'une transmission à petite distance, dans une ville par exemple, ou à grande distance. L'appareil d'émission est dans les deux cas un clavier de 20 touches, formant quatre groupes de cinq, affectés chacun à une lettre, de sorte que quatre lettres peuvent être frappées simultanément.

Chaque touche est munie d'un contact ; quand elle est abaissée, un courant est envoyé dans un fil aboutissant à un électro-aimant à la station réceptrice qui est reliée par un câble de 20 fils à la station de départ. L'appareil imprimeur ou



Sténotélégraphe Cassagne.

récepteur porte quatre roues de types, chacune correspondant à un groupe de cinq électro-aimants. Ces roues sont montées à frottement sur un arbre commun ; chacune porte une spirale dentée dont le nombre des dents est celui des types de la rone ; dans le plan de cette spirale est une glissière manœuvrée par les électro-aimants ; suivant la distance de l'extrémité de la glissière au centre de la roue, celle-ci s'arrête dans son mouvement de rotation, au moment où une certaine lettre se trouve dans la verticale de l'axe et sous le tampon d'impression. Lorsqu'un groupe de quatre lettres aura été frappé sur le clavier, les quatre roues présenteront sur la même ligne les lettres correspondant à l'avancement de leurs glissières respectives ; avant la fin de la révolution, le tampon d'impression manœuvré par les cames d'un arbre spécial est appliqué sur les roues, d'autres cames refoulent les glissières ; les spirales deviennent libres, et les roues achevant le tour commencé reviennent à leur position initiale et sont arrêtées au blanc par un taquet ; si une roue ne doit imprimer aucune lettre, elle a le temps de faire son tour complet et d'être arrêtée par le taquet et maintenue au blanc, avant que le coup d'impression ne soit donné ; un instant après que toutes les roues sont remises au blanc le taquet est déclenché, et elles repartent simultanément.

La relation entre l'avancement de la glissière et la lettre à transmettre est obtenue comme suit : cinq électro-aimants concourent à la formation d'une lettre ; l'armature de chacun d'eux supporte une tige verticale, engagée par l'action du ressort antagoniste, dans une encoche pratiquée dans une tige ou glissière horizontale ; si on suppose une seule armature abaissée, la glissière, sollicitée par un ressort, sera entraînée vers la roue des types, si son déplacement dans ce sens est limité par une butée ; elle s'arrêtera à une distance fixe de l'axe des types chaque fois que le courant passera ; en réalité, plusieurs armatures sont abaissées, et les déplacements de glissières correspondantes totalisés par l'une d'elles, et les amplitudes des déplacements individuels calculées de manière à produire un total différent pour chacun des types de la roue.

Pour une transmission à grande distance, la manœuvre du clavier sert à la perforation d'une bande analogue à celle de Wheatstone, mais comportant vingt rangées sur lesquelles les perforations peuvent être faites, plus deux rangées latérales utilisées pour l'enchaînement de la bande perforée. Cette perforation peut être produite par l'action de vingt poinçons actionnés par autant d'électro-aimants correspondant aux touches. La bande perforée passe dans un transmetteur contenant vingt petits leviers appuyant par des ressorts sur le papier ; chaque fois qu'un trou passe devant un de ces ressorts, le pôle d'une pile se trouve, par le cylindre sur lequel sont enroulés le papier et le ressort, en rapport avec une touche d'un distributeur. Le moteur de ce distributeur est la roue phonique de M. Paul Lacour, dont le mouvement est régularisé par un diapason ; à la station réceptrice, un distributeur synchronique du premier envoie le

courant dans vingt relais qui ferment les circuits locaux des électro-aimants de l'imprimeur, semblable à celui qui a été décrit ci-dessus.

Les roues des types portent vingt-six types pour la première, onze pour la deuxième et la troisième, vingt-six pour la quatrième ; ces nombres résultent du système sténographique de M. Michela, qu'emploie M. Cassagnes, et qui contribue à la rapidité des transmissions ; les vingt touches du clavier sont réparties en quatre groupes, deux pour chaque main ; le troisième groupe seul est employé pour les voyelles, et il n'y a jamais que deux touches de ce groupe en jeu, de même pour le deuxième groupe qui n'a à fournir que onze voyelles, et les vingt-six consonnes du premier et quatrième groupe peuvent être obtenues par l'abaissement simultané de trois touches au plus ; le principe sténographique est celui-ci : une syllabe, où le produit d'une émission de voix peut toujours être représentée par deux consonnes suivies d'une voyelle et d'une nouvelle consonne ; quelques-unes des consonnes pouvant manquer, l'abaissement de cinq touches sur chaque clavier permet donc de frapper une syllabe, et on peut arriver à frapper ces syllabes à peu près avec la rapidité de la parole.

La transmission par le câble à vingt fils permettra donc de reproduire immédiatement dans un rayon de 2 ou 3 kilomètres, et la transmission par le fil simple aura la rapidité de transmission des dépêches perforées à l'avance ; de plus, les distributeurs peuvent être montés en multiple et être divisés en trois secteurs correspondants ; enfin, avec les relais convenables, on peut faire perforer aux récepteurs des bandes prêtes pour une translation, en même temps qu'ils impriment en caractères ordinaires.

D'après les expériences faites sur la ligne de Marseille, avec un appareil triple, on a obtenu 400 mots à la minute, avec 180 tours à la minute.

On doit observer cependant que la notation phonétique de M. Michela, comme toutes les notations sténographiques, exige quelque expérience pour être lue rapidement, mais il suffit de quelques rapides corrections pour qu'une semblable bande puisse être livrée à un compositeur ; la transmission est notablement ralentie quand l'orthographe est exigée.

DISPOSITIONS PARTICULIÈRES AUX GRANDS BUREAUX

M. Picard substitue aux piles d'un grand bureau une machine dynamo.

Les deux pôles de la dynamo sont reliés à la terre par des résistances sur lesquelles on prend les courants passant dans les divers manipulateurs ; on intercale d'ailleurs, pour éviter les courts circuits, des résistances de sûreté entre le manipulateur et la prise de courant, calculées de telle sorte que le courant ne dépasse pas un quart d'ampère, si la ligne est mise accidentellement à la terre près du manipulateur. Dans l'installation exposée, la machine est de 100 volts, et les résistances entre la machine et la terre de 5 ohms de chaque

côté, ce qui représente une puissance de 1000 watts pour la machine ; mais au poste central de Paris, où il y a 400 lignes à desservir, on lui demande un débit de 15 à 20 ampères ; le moteur, ayant en plus à desservir divers appareils Baudot, Hughes, etc., qui sont remontés automatiquement, a une force de 6 chevaux ; on évalue à 10 000 éléments le nombre de ceux que cette installation permettrait de supprimer. Peut-être conviendrait-il de le compléter par l'emploi d'accumulateurs.

Parmi les appareils exposés se trouvait un dispositif de MM. Berthot et Lagarde pour le remontage des appareils Hughes ; ceux-ci sont placés de part et d'autre d'un arbre de transmission, actionnant un cliquet de remontage ; celui-ci n'est en prise que lorsque le poids, en descendant, a fait basculer un levier mobile autour de l'axe du cliquet de retenue ; ce levier bande le ressort qui écarte le cliquet de remontage de la roue ; celui-ci s'engage dans les dents du rochet, le poids est relevé, et, en remontant, fait basculer le levier en sens contraire, ce qui dégage le cliquet et arrête le remontage.

TÉLÉPHONES

Le téléphone Graham Bell est encore fréquemment employé sous sa forme primitive : aimant droit portant une seule bobine, enveloppé dans un étui en bois. M. Phelps a recourbé l'aimant en forme de cercle pour servir de poignée ou a associé dans le poneycrown six aimants recourbés en couronne dont les six pôles de même nom réunis forment le noyau de la bobine. M. Mildé, dans son poste dit *porte-montre*, recourbe l'aimant en escargot et M. Maiche règle l'aimant en l'assujettissant sur la cuvette par une partie filetée.

Une modification plus importante est réalisée dans le téléphone Siemens usité en France pour la téléphonie militaire ; l'aimant, en forme de fer à cheval ou de diapason, porte deux bobines, une à chaque pôle, placées en regard et très près du centre d'une plaque en fer blanc d'assez grandes

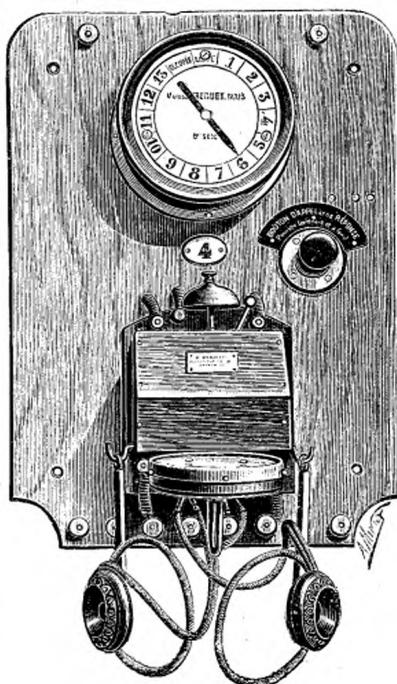


Fig. 35.— Téléphone, modèle Breguet.

dimensions. M. Ader a augmenté très notablement la sensibilité du téléphone au moyen du surexcitateur; c'est un anneau de fer doux placé au-dessus de la plaque vibrante; l'aimant placé en dessous, de forme circulaire, a ses deux bobines placées comme dans le Siemens. Le capitaine Zygang a cherché à rendre l'instrument très léger; la plaque-armature, en paillon d'argent, porte en son milieu un petit rectangle de 0^m,015 d'épaisseur en tôle. Dans le téléphone Ochorowicz construit par M. Chateau, l'aimant a la forme d'un cylindre fendu suivant une génératrice, les bobines sont fixées sur les pièces polaires et enfermées dans une boîte plate formée de deux plaques de fer mince: l'une placée à la partie supérieure en regard des noyaux, l'autre en-dessous, vissée sur l'aimant et percée de trous qui laissent passer les noyaux; ces deux plaques reliées par une couronne métallique forment une caisse de résonance. M. Hutinet emploie une disposition analogue avec deux membranes vibrant dans le champ de deux bobines à pôles opposés montées sur un aimant dont le développement extérieur forme poignée. M. Aubry dispose au milieu d'une caisse dont le fond est formé d'un disque de mallechort, et la paroi antérieure d'une membrane de fer blanc, un aimant plat de forme annulaire, avec deux retours polaires radiaux portant les bobines, fixe sur le disque de mallechort par deux petits boulons de fer doux servant de noyaux aux bobines; l'ensemble en forme de montre est très ramassé et d'une grande sensibilité.

M. d'Arsonval emploie des aimants à pôles concentriques dont l'un porte la bobine; dans un modèle, un des pôles est terminé par un noyau cylindrique et est entouré par le second formant une cuvette; dans un autre, l'aimant a la forme d'un S à pôles conséquents, le noyau est implanté au centre, et les deux extrémités sont réunies par un pont muni d'un anneau en fer doux constituant l'autre pôle.

Dans le téléphone Sieur cet anneau n'est pas complet et le pôle présente deux épanouissements.

M. Pollard emploie neuf aimants groupés en trois séries superposées; les pôles intérieurs, tous de même nom, sont en contact avec un bloc central de fer doux traversé par le noyau de la bobine, et les pôles extérieurs sont reliés à un cylindre de fer doux sur lequel la plaque repose par sa périphérie; une manette permet de régler l'écart entre la plaque et le noyau central; l'appareil est destiné à la transmission particulièrement.

Dans le téléphone Colson, la plaque est placée entre les pôles, l'un porte le noyau, l'autre, épanoui en forme d'anneau, est au-dessus de la plaque.

Les types d'Arsonval, Aubry, Pollard, Colson et Sieur sont construits par M. de Branville.

MM. Hutinet et Lagache exposent également des modèles avec un pôle *porte-bobine*, et l'autre influençant la plaque. Ces types constituent une classe de téléphones où le circuit magnétique est fermé par la membrane presque en-

tière, au lieu de ne l'être que par une petite partie de celle-ci, comme dans le type Siemens.

M. Mercadier, sous le nom de *monotéléphone*, construit des récepteurs qui ne fonctionnent que pour un son d'une hauteur déterminée ; les bords de la membrane sont libres, elle repose sur trois points de la circonference nodale du son fondamental, ou du premier harmonique de la plaque vibrant sous l'influence d'une percussion centrale ; elle est enfermée dans une caisse de résonance, portant deux tubes acoustiques au moyen desquels on écoute les vibrations en s'isolant des bruits extérieurs. On peut régler le son de la membrane en déplaçant un petit cylindre en cuivre le long d'un rayon.

MICKOPHONES

Les microphones exposés sont des microphones à contacts imparfaits, dérivés du type de M. Hughes ; ces contacts sont multiples : cette combinaison paraît favorable à la netteté et permet d'employer des piles plus fortes.

La Société des téléphones emploie le transmetteur Ader avec des crayons de charbons formant une double grille entre trois baguettes de charbon fixées sur la planchette de sapin devant laquelle on parle, ce qui donne cinq circuits en quantité renfermant chacun quatre contacts ; les crayons de forme cylindrique portent à leurs extrémités de petits tourillons passant librement dans des trous percés dans les traverses.

Transmetteur Maiche. — Deux séries de chacune cinq crayons cylindriques, en charbon à lumière, portées chacune par deux traverses en charbon fixées à la plaque vibrante ; des plaquettes en ébonite, taillées en crêmaillère, maintiennent l'écartement des crayons, et des réglettes en bois limitent leur jeu longitudinal.

Transmetteur Bréguet. — Sept blocs de charbon sont disposés au centre et aux sommets d'un hexagone régulier, et fixés par des boulons à la place vibrante ; ils sont percés de trous dans lesquels s'engagent librement les extrémités de cylindres de charbons mobiles formant les rayons et les côtés de l'hexagone ; le courant arrive par le centre et sort par un des sommets.

Le transmetteur Van Risselberghe a tous ses contacts, au nombre de huit, en quantité.

Le transmetteur Mandroux et Pecquet est double, quatre supports en charbon sont fixés à la planchette ; un cylindre de charbon, mobile, repose par chaque bout sur deux de ces supports, les deux contacts sont traversés par le courant d'une pile ; une seconde pile fournit le courant passant dans un second cylindre reposant sur les deux autres supports ; ces deux courants se réunissent dans le primaire de la bobine.

Lagache. — Des petits barreaux de charbon légèrement inclinés sur la verticale sont enfilés à un bout dans une baguette de charbon, et reposent par l'autre extrémité striée sur une petite traverse en charbon ; les baguettes sont séparées par des lames d'ébonite.

De Jongh. — Derrière la planchette verticale sont placées quatre rangées de quatre pastilles, et des petits cylindres de charbon horizontaux appuient chacun sur une paire de pastilles ; ces cylindres sont supportés par des goupilles fixées sur un massif en bois derrière la planchette, massif qu'elles traversent obliquement.

Sieur. — La planchette verticale porte deux traverses à gorge, des cylindres de charbon suspendus par des agrafes en fil de fer disposés de manière à donner aux cylindres la pression convenable.

Ardank. — La planchette porte une plaquette de charbon, appuyant sur quatre pastilles sur deux plans inclinés en charbon.

D'Argenson et Paul Bert. — Microphone réglable, quatre charbons parallèles portant sur trois barrettes fixes ; chaque crayon est entouré en son milieu par une petite feuille de fer blanc ; en regard un aimant, réglable avec une vis, agit sur cette enveloppe, pour diminuer ou augmenter la pression des charbons sur leurs supports ; construit par M. de Branville.

MICROPHONES A POUDRES

La Compagnie qui exploite les brevets Rell aux États-Unis se sert de microphones à poudre de charbon entre deux lames minces de platine ; le microphone porte une embouchure montée sur un col de cygne ; on secoue l'appareil quand le tassemement en a affaibli la sensibilité.

Microphone Mildé. — Une petite boîte de cuivre mince ondulé renferme des granules de coke, charbon de pile ou charbon à lumière ; elle est percée sur ses faces de deux trous où pénètrent les charbons isolés d'elle par une feuille de papier, et en connexion avec les deux fils de pile ; l'un d'eux est fixé à la plaque vibrante par une rondelle de liège. Dans un modèle militaire, la plaque vibrante est métallique.

Le microphone Hipp est en usage dans l'armée suisse, et fonctionne sur le réseau de Brescia : avec les conducteurs ordinaires, et sans bobine, on peut l'entendre à 40 kilomètres ; c'est une boîte isolante, remplie de poudre de charbon ; sur les deux parois opposées sont placées deux lames de platine, où aboutit le courant ; la boîte n'est pas complètement pleine.

Cet organe transmetteur est placé à l'intérieur d'un tuyau en bois portant une embouchure au fond de laquelle est une membrané de parchemin placée en

avant du microphone ; l'axe de l'embouchure est perpendiculaire à celui de la membrane.

M. *Hutinet* emploie simplement deux plaques de charbon séparées par une rondelle annulaire en feutre ; les grains de charbon sont placés à l'intérieur de la rondelle.

M. *Berthon*, directeur de la Société générale des téléphones. — Une coupelle en ébonite est placée entre deux plaques de charbon, séparées par une bague en caoutchouc ; elle est remplie de grenailles de charbon de cornue ; en inclinant l'appareil, la grenaille presse contre la plaque supérieure et établit les contacts microphoniques ; associé à un récepteur Ader, au moyen d'une peignée métallique, il constitue l'appareil usité dans les bureaux centraux de la Société des téléphones.

MICROPHONE A CONTACT MÉTALLIQUE

M. Ader a proposé un nouveau type, destiné aux transmissions à grande distance par l'intermédiaire de bobines.

Un bloc de charbon est fixé à la planchette vibrante, un autre lui est relié par un cerceau non conducteur, mais les deux sont joints au pôle positif de la même pile ; un bloc de cuivre, lié au pôle négatif, repose sur ces deux blocs de charbon et forme ainsi deux contacts microphoniques en dérivation. La bobine a un circuit secondaire contenant la ligne, et deux circuits primaires, formés par les fils de jonction du pôle positif aux deux charbons, qui sont enroulés en sens inverse de son noyau.

APPELS

Les postes microtéléphoniques, constitués par un microphone transmetteur et un ou deux téléphones récepteurs, sont pourvus d'un commutateur automatique, qui est le levier auquel est suspendu l'un des récepteurs ; quand ce levier est abaissé, une sonnerie est dans le circuit de la ligne ; quand il est relevé la sonnerie est hors circuit, et les bobines des récepteurs y sont introduites ; en même temps le circuit du microphone est fermé. Un bouton d'appel sert à envoyer sur la ligne le courant de la pile de sonnerie, distincte ordinairement de la pile du microphone.

A la sonnerie trembleuse ordinaire le capitaine Zygang substitue une trompette électrique ; c'est un trembleur dont l'armature est une plaque mince reposant par ses extrémités dans l'évidement d'un tube en laiton formant résonateur.

Pour les longues lignes, dites *interurbaines*, MM. Van Rysselbergue et Sieur laissent les bobines du téléphone constamment en circuit ; sur le dia-

phragme de l'instrument appuie légèrement une pointe fixée à l'extrémité d'un pendule et dont le contact avec la membrane est très imprévu quand le diaphragme est très agité. Ce contact est placé en dérivation sur le circuit d'une pile locale, la seconde branche de la dérivation passant dans une sonnerie, ou un parleur, ou un annonceur; cette seconde branche reçoit presque tout le courant quand le diaphragme est en mouvement. L'appel se produit en fermant, au poste appelant, le circuit d'une pile contenant un vibrateur.

Lorsqu'on se sert de récepteurs et de transmetteurs téléphoniques, il y a souvent intérêt à supprimer complètement les piles et à produire mécaniquement les courants d'appel. L'appel Abdank Abakanowicz est formé d'une bobine à noyau en fer doux, fixée à l'extrémité d'un ressort, assujetti par l'autre bout à un support fixe; cette bobine à l'état d'équilibre se trouve entre les deux pôles d'un fort aimant en fer à cheval; en l'écartant de cette position, où elle tend à revenir sous l'action du ressort, on lui fait décrire une série d'oscillations, déterminant dans la bobine autant de courants alternatifs; ceux-ci sont assez puissants pour actionner des sonneries, relais annonceurs, à travers plusieurs centaines de kilomètres de fils télégraphiques.

M. Sieur emploie une petite machine magnéto-électrique Siemens dans le circuit de laquelle se trouve une roue interruptrice ou bien un disque de bronze portant des goujons de fer à sa périphérie, et tournant entre les pôles d'un aimant muni de bobines; ce dernier appareil produit dans un téléphone récepteur un son intense qu'on perçoit à plusieurs mètres.

ANNONCIATEURS

L'annonceur est un signal optique persistant, indiquant qu'un appel a eu lieu, et qui doit être effacé quand on répond à l'appel; c'est un élément indispensable des bureaux centraux. Il consiste essentiellement en un disque mobile ou voyant, qui apparaît dans un guichet quand l'appel a lieu, ou démasque un numéro; ce disque est maintenu par un crochet solidaire de l'armature d'un électro-aimant, déclenché quand un courant est envoyé.

L'annonceur de la Western Electric C° (U. S.) a deux électro-aimants horizontaux; la palette commune, mobile autour d'un axe horizontal, est articulée à la tige horizontale du crochet, dont le poids la maintient écartée du noyau à l'état de repos et qui se relève quand la palette est attirée, en laissant échapper le disque mobile autour d'un axe horizontal; celui-ci démasque un numéro correspondant à celui de l'abonné qui a appelé. La Société des Téléphones emploie deux électro-aimants verticaux, un ressort pour maintenir le crochet abaissé quand la palette qui est dans son prolongement n'est pas attirée.

La chute du disque est utilisée pour fermer le circuit local d'une pile sur

une sonnerie, lorsque le bout du disque tombant ne suffit pas à attirer l'attention.

L'annonciateur Sieur a un électro-aimant unique horizontal dont le noyau est muni de deux retours polaires verticaux, agissant sur la palette dont l'extrémité est bifurquée.

BUREAUX CENTRAUX

Le bureau central où aboutissent toutes les lignes des correspondants doit être pourvu d'appareils permettant de mettre ceux-ci rapidement en relation, c'est-à-dire d'établir une connexion directe entre leurs lignes, ou d'indiquer à l'appelant si le fil de la personne appelée est libre. La Western Electric C° exposait un panneau du meuble renfermant ces appareils et des photographies du commutateur multiple destiné à desservir 6 000 abonnés à Chicago ; et la Société des Téléphones, à côté des appareils déjà en usage, une portion du commutateur pour 3 000 abonnés, qui a fait le service de l'Exposition, dont les diverses parties étaient mises par ce bureau central en rapport avec le réseau de Paris.

Ces appareils sont, en principe, d'importation américaine, mais ont dû être modifiés pour être appropriés aux circuits à double fil, en usage actuellement à Paris et qui le seront probablement dans peu de temps partout où les progrès de l'emploi de l'électricité sous toutes ses formes amènent, dans le service téléphonique, des perturbations auxquelles l'usage d'un circuit complet, fermé métalliquement, et non par la terre, peut seul remédier d'une manière radicale.

L'organe essentiel est le *spring-jack* ou commutateur à ressort ; il est formé de deux blocs de cuivre séparés par une lame isolante ; l'un est l'extrémité de la ligne d'un poste correspondant, l'autre communique avec l'annonciateur, monté en dérivation, soit sur la terre, soit sur le fil de retour ; à l'état normal deux ressorts, portés chacun par un de ces blocs, portent sur un contact commun. Ces blocs sont percés de deux trous où l'on introduit les fiches de communication (dans celui de gauche) ou les fiches d'appel (celui de droite) ; une petite cheville d'ivoire appuyée sur le ressort fait saillie à l'intérieur de ces trous ; en introduisant une fiche, cette cheville écarte le ressort et isole l'annonciateur.

Un tableau, desservi par une téléphoniste, comprend les annonciateurs et au-dessous d'eux les jacks d'un nombre déterminé d'abonnés ; ce nombre a été porté successivement, à Paris, de 25 à 49, puis à 80.

Après l'appel, accompagné de la chute de l'annonciateur, l'employé introduit une fiche d'appel, portée par un cordon souple aboutissant à l'appareil combiné, microphone et téléphone du bureau ; il est alors en relation avec le poste appelant ; après s'être enquis du numéro du correspondant demandé, il retire la

fiche d'appel et place dans les trous de gauche des jacks des deux correspondants les extrémités d'un cordon souple conducteur portant une fiche à chaque bout, introduit la fiche d'appel dans le trou de droite du jack de l'appelé, et, pressant sur un bouton d'appel, avertit ce second correspondant. Si les deux correspondants n'appartiennent pas au même groupe, la mise en communication est un peu plus compliquée; il faut faire usage de commutateur reliant les différents tableaux, ce qui retarde la communication. L'employé peut assurer en introduisant la fiche d'appel dans le jack d'un des correspondants, et en dérivant ainsi une partie des courants dans son téléphone, que la conversation est terminée, alors même que l'on aurait oublié de faire jouer la sonnerie qui doit l'indiquer.

La division d'une ville en régions desservies chacune par un bureau central, relié par une ou plusieurs lignes auxiliaires aux autres bureaux centraux a l'inconvénient d'augmenter beaucoup le temps nécessaire pour établir la communication entre deux abonnés; aussi y a-t-il intérêt, dès que le service est chargé, à réduire le nombre de ces bureaux et même à n'avoir qu'un bureau central, dans lequel chaque employé, étant chargé d'un groupe d'abonnés, peut néanmoins donner à chacun la communication avec tous les abonnés du réseau; il faut qu'il ait, par conséquent, sous la main autant de jacks qu'il y a d'abonnés; le fil de chaque abonné doit être desservi par autant de jacks qu'il y a de groupes; il est très intéressant de réduire autant que possible la dimension de chaque jack pour pouvoir en loger le plus grand nombre possible dans l'espace que peut atteindre facilement le bras d'un ou de deux employés associés; ce problème est encore plus difficile à résoudre quand le réseau est à double fil comme celui de Paris; les fiches sont plus compliquées de construction. Sous la direction de M. Berthon, la Société des téléphones a construit le commutateur multiple dont il a été parlé ci-dessus, et qui n'exige pas un espace plus grand que les commutateurs à fil simple; sa disposition permet à l'employé (une femme, pour le service de jour au moins) de rester assis.

Les organes du commutateur de M. Sieur ont une forme différente. Son commutateur à crochet se compose d'un crochet à ressort et d'un clef métallique qu'on introduit entre le crochet et une semelle métallique sur laquelle le ressort est fixé; pour les circuits à double fil, le commutateur a deux crochets, et la clef divisée en deux parties séparées par une lamelle isolante; avec un cordon souple réunissant deux clefs, on peut faire les mêmes opérations qu'avec le cordon souple réunissant deux fiches de l'appareil de la Société des téléphones.

Pour conserver en dérivation ou pour couper à volonté les relais des annonceurs, on se sert d'un commutateur à deux crochets, montés sur la même semelle; celui de gauche, au repos, ferme un contact sur le circuit dérivé de l'annonceur; l'interposition de la clef sur le crochet de droite laisse l'annonceur en dérivation; sur le crochet de gauche elle rompt ce circuit dérivé: on

atteint le même but sur les circuits à double fil avec un commutateur formé de trois crochets à ressort, et une clef double. Enfin un commutateur, formé de quatre crochets et actionné par un groupe de deux clefs doubles, sert à mettre en ligne l'appareil microphonique portatif dont se servent les opérateurs d'un bureau central; deux crochets et la clef correspondante établissent le courant de pile dans le microphone, les deux autres mettent le récepteur du téléphone sur la ligne double.

L'Administration des postes et télégraphes a établi quelques bureaux centraux munis de ces appareils.

Un commutateur automatique est exposé par M. Bartelous (Belgique); il est destiné à transmettre à un bureau central les appels des postes, à fournir à ce bureau les moyens d'appeler les postes et de les mettre en communication entre eux; il constitue donc un bureau secondaire automatique. Un disque métallique percé d'une ouverture en son centre porte des ressorts radiaux en communication avec les postes desservis; à leur extrémité périphérique ces ressorts sont isolés du disque; à l'état de repos ils appuient sur une saillie circulaire que porte le disque vers le milieu de son rayon; les extrémités libres ou internes portent une petite fourchette, le disque est relié au bureau central, avec lequel tous les postes se trouvent ainsi en rapport tant que la fourchette n'a pas été relevée; deux axes situés dans le prolongement l'un de l'autre, et perpendiculaires au disque, portent chacun une aiguille qui, en tournant, vient soulever l'une ou l'autre des dents de la fourchette, suivant qu'elle appartient à l'un ou l'autre des axes; ceux-ci sont reliés au bureau central chacun par un fil, de sorte que la communication avec ce bureau a lieu à volonté par l'une des trois lignes: celle du disque commune à tous les postes, et les deux lignes des axes qui ne sont occupées que par un poste. Les aiguilles sont manœuvrées du bureau central même par une quatrième ligne, dans le circuit de laquelle sont installés deux électro-aimants polarisés, actionnant chacun un rochet monté sur l'un des axes; à chaque émission positive ou négative, correspond une rotation d'un éran de l'un ou de l'autre rochet et de l'aiguille correspondante; le bureau central appelé par un poste peut donc se mettre en relation directe avec lui par un fil ne passant pas par le disque et, inversement l'appeler.

La marche de l'appareil peut être contrôlée du bureau central; à cet effet deux des ressorts ne sont pas isolés du disque et n'ont chacun qu'une demi-fourche, de manière à être actionnés seulement par une des aiguilles; au moment où l'aiguille soulève le ressort, un circuit est établi par la ligne du disque et celle de l'axe correspondant, entre le poste central et l'appareil; en intercalant un galvanomètre et une pile dans le circuit on peut constater la fermeture de ce circuit.

Dans cette disposition les divers postes constituent autant de dérivations de la ligne joignant le bureau central au secondaire; d'autres dispositifs sont adop-

tés pour des postes embrochés sur la même ligne ; la Société des téléphones emploie le procédé Ducoussu, par courants positifs ou négatifs lorsqu'il y a deux postes ; M. Ader appelle quatre postes embrochés sur la même ligne, avec fil de retour par le dispositif suivant : le circuit est mis à la terre entre les deux premiers et les deux derniers postes ; le bureau central dispose de quatre combinaisons ; il peut successivement mettre en relation avec le pôle positif ou négatif d'une pile (dont l'autre est à la terre) l'une ou l'autre des extrémités du circuit ; un courant envoyé dans ces conditions ne passe que dans les relais des deux postes qui sont du côté attaqué de la prise de terre et un seul de ces deux relais fonctionne suivant le sens du courant.

M. Sieur agit avec des relais de sensibilités différentes et de courants positifs ou négatifs pour actionner le même nombre de postes.

M. Van Rysselberghe embroche jusqu'à douze postes sur un même circuit avec une seule pile, divisée en deux moitiés, une à chaque extrémité de la ligne produisant un courant continu de 10 à 20 milliampères, passant à travers les clefs, les relais et les appareils téléphoniques, quand ceux-ci sont mis en circuit par la manœuvre du commutateur ordinaire, les relais agissent sur les sonneries par interruption de courant ; ils restent en circuit quand le crochet du commutateur est soulevé, de sorte que l'on peut continuer à appeler le correspondant après avoir porté le téléphone à l'oreille. Si l'une quelconque des clefs d'appel est abaissée, toutes les sonneries marchent et un poste quelconque peut entendre ce qui se dit sur la ligne.

Des condensateurs d'un demi-microfarad sont placés en dérivation sur tous les relais, formant ce que M. Rysselberghe a appelé *un système auto-conducteur* grâce auquel, pendant que deux postes parlent, les autres peuvent s'appeler et correspondre par signaux Morse, sans gêner les premiers, pourvu que ceux-ci arrêtent leur sonnerie locale.

Dans le même ordre d'idées, on doit signaler encore l'appel directe de M. Berthon, qui permet à deux abonnés d'un réseau ayant des communications fréquentes de ne pas demander la communication du bureau central ; les deux abonnés sont reliés par un double fil sur les deux branches duquel est mis en dérivation le relais de l'annonciateur au bureau central ; l'abonné à deux boutons d'appel : l'un met un des pôles de sa pile d'appel sur l'un des fils, et l'autre pôle à la terre, il sert à l'appel du correspondant, dont la sonnerie a une borne à la terre ; l'autre bouton met un pôle sur chaque fil et agit sur l'annonciateur du bureau central.

Dans des installations domestiques, M. Mildé dispose le commutateur de manière que tous les postes soient en tension sur le circuit au repos, et que, pendant la conversation, les postes correspondants soient en dérivation ; l'appareillage est alors d'une grande simplicité.

Le système Van Rysselberghe, exploité par la Compagnie de téléphone et de

télégraphie internationales, a pour but la transmission par les mêmes fils des courants téléphoniques et télégraphiques. Il est appliqué sur un grand nombre de lignes interurbaines, en Suisse, en Autriche, en Allemagne, en Espagne et en Amérique ; en France, on l'a appliqué aux lignes Paris-Rouen, Paris-Le-Havre, Paris-Lille, Paris-Reims, Rouen-Le-Havre et Rouen à Louviers et Elbeuf.

Le principe consiste à augmenter assez la durée d'établissement du régime du courant télégraphique, pour que des variations n'agissent plus sur un récepteur téléphonique ; un condensateur en dérivation et des bobines à noyau de fer embrochées sur la ligne avant l'appareil télégraphique ajoutant leurs effets à cet égard ; ces bobines sont les *graduateurs*.

De plus, un condensateur dit *séparateur* isole le récepteur téléphonique du circuit télégraphique ; il est unique si le circuit est fermé par la terre ou double s'il est à deux fils. Le téléphone récepteur n'est jamais parcouru par le courant de ligne ; l'appel est fait au moyen de l'appareil Sienr. Ces appareils retardateurs sont sans influence sur le trafic télégraphique, au moins quand on ne se sert pas d'appareils très rapides.

M. Maiche a proposé d'employer comme bobine d'induction une bobine à deux fils induits, l'inducteur appartenant au circuit microphonique ; le circuit télégraphique se bifurque dans ces deux fils, prolongement des deux fils de ligne ; ceux-ci propagent deux fils servant de fil d'aller et de fil de retour pour les courants téléphoniques qui se font en sens inverse dans chacun d'eux. Ce système a été essayé en France, sur des lignes souterraines et sur des lignes aériennes, en 1885, dans des conditions qui n'ont pas été portées à la connaissance du jury (voir les transmissions duplex Edison en télégraphie).

M. Mercadier expose divers systèmes de transmission multiple fondés sur l'emploi du récepteur qu'il a nommé *monotéléphone* (voir plus haut).

Dans l'un le transmetteur est un radiophone au sélénium, sur lequel tombe un faisceau lumineux intermittent. Les intermittences sont réglées par un disque en tôle mince, présentant quatre séries d'ouvertures réparties suivant autant de circonférences concentriques ; ces ouvertures sont respectivement au nombre de 36, 45, 54, 64, et la vitesse du disque, environ 11 tours par seconde. Les variations de résistance du sélénium sous l'action de la lumière déterminent dans un circuit des variations d'intensité de même période ; si l'on embroche sur ce circuit quatre monotéléphones accordés pour les périodes correspondantes aux quatre séries d'ouverture, chacun d'eux entrera en vibration. Au-devant du radiophone sont disposés quatre écrans mobiles : chacun d'eux en s'abaissant interrompt le faisceau lumineux correspondant ; si le mouvement de l'écran est fait suivant le rythme de l'alphabet Morse, le récepteur passera par des alternatives de silence et de bruit, répétant la cadence des signaux ; les quatre récepteurs étant indépendants, puisqu'ils n'obéissent qu'à des impulsions de périodicités différentes,

les signaux envoyés simultanément par les quatre écrans seront perçus séparément.

Le transmetteur peut être remplacé par un radiophone thermique, composé d'un microphone ordinaire dont la plaque vibrante noircie est placée sous une lame de verre, de manière à former une chambre à air close, sur laquelle agit un faisceau calorifique intermittent.

Enfin, en se rapprochant encore plus des expériences d'Elisha Gray, M. Mercadier emploie quatre transmetteurs formés chacun d'un électro-diapason associé à un microphone ; les circuits secondaires des bobines de ces microphones sont embrochés sur la ligne ; les manipulateurs sont des clefs de Morse qui ouvrent et ferment les circuits primaires des microphones.

Le phonoplex d'Edison est aussi une association sur la même ligne de récepteurs télégraphiques et téléphoniques.

Chaque poste comprend, pour le télégraphe, une clef, un relais ordinaire et un condensateur placé en dérivation sur le relais et la clef ; les appareils phoniques sont plus nombreux ; un manipulateur agit sur un parleur dont la palette oscille entre deux butoirs, reliés par une résistance ; la palette ferme pas son contact avec l'un ou l'autre butoir le circuit d'une bobine contenant un noyau de fer, et sur lequel un condensateur est placé en dérivation.

Le fil de la ligne part de la clef, passe dans la bobine et ensuite dans les bobines d'un téléphone, avant de sortir du poste ; la pile de la bobine forme avec l'armature une partie d'un circuit en dérivation sur la ligne aux extrémités de la bobine. En abaissant la clef du manipulateur qui ferme le courant du parleur, l'armature est arrachée d'un des butoirs, le courant de la bobine est interrompu ; l'extra-courant, renforcé par le condensateur, est lancé sur la ligne et pourra faire parler par les divers téléphones embrochés et transmettre des signaux phonétiques.

PHONOSIGNAL

M. Ader a proposé d'employer le téléphone comme instrument récepteur pour les longs câbles. A l'arrivée, l'extrémité du câble est mise en communication avec un trembleur dont le mouvement est entretenu par une pile locale ; chacun des deux butoirs entre lesquels oscille l'armature est relié à un téléphone dans le circuit duquel est une pile ; la pile correspondante au butoir de gauche a son pôle positif à la terre, l'autre son pôle négatif ; le courant du câble, s'il est positif, renforce le courant dans le téléphone de gauche, l'affaiblit dans celui de droite ; on cherche à régler les piles de manière à rendre à peu près nul le courant dans le téléphone où il est affaibli, de sorte que les émissions positives renforcent le son de téléphone de gauche, produisent le silence dans le téléphone de droite, et inversement.

Pour permettre d'apprécier plus facilement le côté où le son est renforcé, M. Ader divise le courant du câble entre deux trembleurs de sons différents.

On peut encore monter ces deux téléphones et les armatures des trembleurs sur un pont Wheatstone dont ils forment deux branches ; les deux autres branches sont formées de résistances de réglage ; l'une des diagonales contient une pile et une résistance, et enfin, la seconde diagonale va à la terre et une pile peut y être intercalée pour contrebalancer les effets des courants telluriques et amener au silence l'un des deux téléphones.

Cette disposition a été essayée sur la ligne de Paris à Marseille, en ayant soin de décharger la ligne après chaque émission par un courant plus faible de sens contraire ; les signaux étaient suffisamment nets avec des courants de 1/7 de milliampère dans les téléphones.

GRAPHOPHONE

Le graphophone de M. Charles Sumner Tainter ne diffère pas essentiellement du phonographe primitif d'Edison comme disposition générale ; on y retrouve un diaphragme ou membrane vibrant sous l'influence de la parole, portant un outil laissant une inscription sur un cylindre qui se meut devant le porte-membrane d'un mouvement hélicoïdal ; mais ici le cylindre, au lieu d'être recouvert d'une feuille d'étain où le style inscripteur ne produit que des gauffrages, est recouvert d'ozokérite dans laquelle l'outil creuse un sillon, en enlevant de véritables copeaux ; de plus, le parleur est distinct du récepteur ; il est composé comme lui, d'une membrane et d'un style qui, parcourant le sillon creusé par l'outil du récepteur et dont la profondeur varie d'un point à l'autre, fait reproduire à la membrane à laquelle il est fixé, le son émis dans le récepteur.

Le cylindre est formé d'une feuille de papier très léger, ou plutôt formé par l'enroulement sur un mandrin et à joints recouverts d'une série de bandes ; la cire fossile ou ozokérite est étendue à chaud sur ce papier et privée de bulles d'air par passages répétés dans un moule chauffé au bain-marie, qui lui donne une forme parfaitement régulière ; le cylindre est ensuite enfilé à frottement dur sur deux manchons dont l'un, mobile par une vis, permet de le retirer facilement. L'arbre de l'autre manchon reçoit, au moyen d'une poulie folle et d'un rochet, son mouvement d'une pédale par l'intermédiaire d'un régulateur à force centrifuge ; l'axe de ce régulateur porte deux poulies, l'une folle, commandée par la pédale, l'autre calée, qui mène le cylindre par une courroie ; deux disques garnis de cuir, l'un solidaire de la poulie folle, l'autre calé à rainure et à languette sur l'arbre, sont pressés l'un contre l'autre par un ressort à boudin entourant cet arbre, ce qui assure l'entrainement ; ce dernier disque porte le manchon d'un régulateur à force centrifuge qui écarte les disques et fait cesser l'entrainement dès que la vitesse dépasse la vitesse normale ; une vitesse de 160 tours pour le cylindre de papier peut être ainsi maintenue à 2 % près.

Le récepteur est un large diaphragme de mica serré par sa garniture devant

une plaque sur laquelle arrive l'onde sonore ; cette plaque est percée de trous disposés circulairement autour d'un cône central sur lequel l'onde sonore émise se brise et est renvoyée à travers les trous sur la feuille de mica ; le style fixé à cette feuille est très aigu et creuse un sillon dont la profondeur atteint un quart de dixième de millimètre. La plaque qui porte le diaphragme porte aussi un bruissoir qui passe sur le cylindre avant la pointe du style. Tout le bâti de la membrane est porté sur une vis commandée par une rone engrenant avec une autre placée sur l'axe du manchon ; la membrane peut être enlevée après l'inscription, et le parleur lui être substitué. Ce parleur est une membrane de mica, au centre de laquelle est relié, par un fil de soie, un style très fin ; le style et le fil sont protégés par un tube fixé à l'enveloppe de la membrane, qui porte aussi un tube acoustique bifurqué qu'on applique sur les deux oreilles.

Tous les détails sont étudiés pour substituer facilement le récepteur au parleur et *vice versa* ; une fois le parleur fixé sur la vis, il suffit de faire mouvoir la pédale pour obtenir une reproduction parfaitement nette de la parole ou du chant ; l'intensité est seulement un peu faible, si on n'a pas soin d'appliquer les extrémités du tube acoustique dans les oreilles.

PHONOGRAPHHE

Le phonographe Edison a été considérablement perfectionné par l'emploi du même principe. Le cylindre creux, sur lequel se fait l'inscription, est en cire, d'une longueur de 0^m,115 et de 0^m,05 de diamètre ; de 0^m,003 à 0^m,004 d'épaisseur ; il tourne à 60 tours par minute pour la parole, et à 100 tours pour la musique. Ce cylindre, dit *phonogramme*, est emmanché à frottement doux sur un manchon recevant son mouvement d'un axe fileté placé dans son prolongement, lequel tourne sur lui-même sans avancer comme dans le phonographe primitif ; un chariot, mobile le long d'une tige parallèle à l'axe, porte un bras terminé par quelques filets de vis, qui forme écrou sur l'axe fileté, et avance d'un quart de millimètre par tour de l'arbre ; sur ce chariot sont placés le parleur, le récepteur, un outil pour tourner le cylindre de cire et une plaque portant une embouchure sous laquelle on introduit les membranes de l'un ou l'autre instrument.

La membrane réceptrice, en verre dans le dernier modèle, porte en son centre un petit couteau en acier ; ce couteau est assujetti par une vis au levier diamétrial, dont un bout appuie sur un bloc de caoutchouc qui, par son élasticité, sollicite le couteau à s'éloigner du cylindre. La membrane est légèrement bombée au repos ; sa sensibilité est réglée par un ressort appuyant sur l'autre bout du levier près de l'outil et par l'intermédiaire d'une pastille de caoutchouc ; cette tension de la membrane a pour effet d'appuyer l'outil sur le cylindre de cire qu'il ne doit jamais quitter.

Le parleur a une membrane en baudruche ou en soie serrée sur ses bords, comme tous les diaphragmes, entre un anneau et un fond fileté; un caoutchouc central la relie au fil parleur; celui-ci est un ressort fixé à l'anneau et portant à son extrémité une pointe mousse moins large que les sillons tracés par le couteau du récepteur, sillons dans lesquels elle doit pénétrer jusqu'au fond.

La qualité du son paraît dépendre de la dureté de la cire ou plutôt du mélange de cire et de résine; le son est plus fort, mais la parole moins nette avec un mélange un peu mou; quant à la musique, elle est reproduite avec une intensité surprenante.

Le moteur employé est électro-magnétique: un régulateur à force centrifuge, qui rompt le courant dès que la vitesse est trop grande, et que deux ou trois éléments de pile suffisent à actionner.

M. Hammer a fait, entre New-York et Philadelphie, une expérience remarquable avec cet appareil: la parole émise dans l'instrument, répétée par lui devant un transmetteur téléphonique, fut transmise à travers 180 kilomètres de fil télégraphique, dont 10 sous-fluviaux, à un monographe ou relais d'Edison, faisant mouvoir une tige implantée sur un diaphragme, reçue par un second phonographe, répétée par lui, et retransmise de nouveau par le même procédé dans une salle de conférence, où elle arriva sans altération sensible, malgré ces nombreuses transformations.

MANŒUVRES DES SIGNAUX-CLOCHES

Sur le réseau du Nord, on emploie exclusivement la cloche Siemens; celle-ci est actionnée par un treuil portant à une extrémité une roue pleine en fonte garnie de dents, destinées à faire osciller un marteau unique, qui frappe intérieurement contre un timbre, et donne une série de six coups simples à chaque déclenchement; un électro-aimant, dont l'armature porte un doigt, déclenche le mécanisme à chaque émission du courant: le même électro-aimant déclenche en même temps un signal optique; c'est un bras semblable à celui des sémaphores, qu'un fort ressort tend à maintenir horizontal, et qui doit être réenclenché à la main dans la position verticale; le signal optique se fait même quand le poids moteur du treuil est à bout de course. Le courant est produit par un inducteur, composé d'une grosse bobine qu'on peut faire tourner entre les branches de douze aimants; un demi-tour de manivelle suffit pour déclencher toutes les cloches d'un groupe.

Le répétiteur de cloche indique au personnel des cabines d'enclenchement la provenance des trains annoncés par les cloches; c'est un relais polarisé qui actionne une sonnerie et fait apparaître un voyant ou un autre dans un guichet suivant le sens du courant.

Sur le P.-L.-M., le système Léopolder est appliqué à la voie unique; les cloches,

forme Leopolder ou Siemens, sont actionnées par des piles, produisant un courant permanent dans la ligne, et les signaux sont faits généralement au moyen d'un commutateur à poussoir, et quelquefois au moyen d'un annonciateur automatique, qui les produit en observant rigoureusement, tant entre les coups de cloche qu'entre les séries de coups, l'intervalle réglementaire ; c'est une boîte à musique dont le cylindre tournant porte des goupilles interrompant le courant chaque fois qu'elles rencontrent un petit levier placé sur un chariot curseur. Pour envoyer un signal, on amène le curseur en regard d'un chiffre correspondant au signal, et, avec une manivelle, on remonte le cylindre de l'appareil, qui se met à tourner en sens inverse sous l'influence d'un ressort de barillet, en produisant le nombre voulu d'interruptions du courant.

DISQUES

Le moteur électro-mécanique de MM. G. Dumont et Postel-Vinay est destiné à la manœuvre électrique des signaux et des disques en particulier. La voie est libre tant que le courant passe dans les bobines du moteur ; dès que le courant est interrompu, l'armature d'un électro-aimant, en se déplaçant, déclenche le mécanisme qui fait faire un quart de tour à l'arbre du disque, et ferme la voie ; une nouvelle fermeture du circuit ouvre la voie. L'appareil peut fonctionner avec des appareils Leclanché.

L'arbre du moteur, qui commande par une poulie et une chaîne celui du disque, porte deux cames actionnées par les dents d'une roue, à axe horizontal, qui porte cinq dents ; la distance des deux cames est le diamètre de la roue, les deux cames ne sont jamais en prise en même temps, les profils des dents et des cames sont tels que la came supérieure étant prise par exemple, un mouvement d'un dixième de tour de l'arbre horizontal produit un mouvement d'un quart de tour du disque ; la came supérieure échappe à la dent qui la conduit, la came inférieure se trouve en prise ; un nouveau mouvement dans le même sens de l'arbre horizontal produira un mouvement d'un quart de tour du disque en sens contraire. Il faut donc que la fermeture et la rupture du circuit déterminent un mouvement toujours du même sens et d'un dixième de tour de l'arbre horizontal.

A cet effet celui-ci porte un treuil à encliquetage sur lequel s'enroule une corde au bout de laquelle est attaché un poids moteur, et une roue à dix dents trapézoïdales qui servent à relever un contrepoids, dégagé à chaque déclenchement et permettant à l'arbre de faire un dixième de tour ; le contrepoids cale tout le système. L'échappement de ce contrepoids est déterminé par des leviers actionnés par l'électro-aimant.

L'armature de l'électro-aimant porte deux crochets pouvant être mis en prise avec deux leviers légers ; l'un est en prise quand l'armature est attirée, l'autre

quand elle est écartée ; ils tendent tous deux à s'écartez de la position d'enclenchement, et sont réenclenchés par des goupilles placées alternativement sur les deux faces de la roue à dix dents. L'arbre sur lequel pivotent ces leviers est entaillé ; quand le levier se relève, l'entaille se présente devant un bec solidaire du contrepoids et le laisse passer ; quand le levier est enclenché ; le bec repose sur la partie ronde de l'arbre, et se trouve ainsi retenu. D'un autre côté la roue à cinq dents porte sur une de ses faces dix becs en bronze qui viennent s'appuyer tour à tour sur la partie ronde de l'arbre du contrepoids calant, entaillé comme l'arbre des leviers ; quand le contrepoids s'abaisse, l'entaille se déplace et laisse passer le bec de la roue.

Si donc on suppose le disque à l'arrêt, l'électro-aimant inactif, un des leviers est relevé, l'autre est retenu par le crochet correspondant de l'armature : pour ouvrir le disque, on ferme le circuit, le levier est dégagé, se relève, le bec du contrepoids est dégagé, celui-ci tombe et son arbre laisse passer un des becs de la roue à cinq dents ; l'arbre horizontal entraîné par le moteur fait un dixième de tour et le disque est ouvert ; la roue à dix dents tourne de la même quantité et l'une de ses dents relève le contrepoids, dont l'arbre vient présenter sa partie non entaillée au bec suivant de la roue à cinq dents et l'arrête ; l'une des goupilles de la roue à dix dents abaisse le deuxième levier, le met en prise dans le crochet correspondant de l'électro-aimant, et l'arbre de ce levier cale à son tour le contrepoids relevé, le disque est ouvert, tout le système immobilisé jusqu'à la rupture de courant qui, faisant tourner encore d'un dixième de tour l'arbre horizontal, fera mouvoir le disque en sens inverse et le mettre à l'arrêt.

Dans l'appareil construit sur ce principe, chaque manœuvre entraîne une chute de 0^m,03 environ du poids moteur ; si celui-ci est mouflé, la chute n'est que moitié et une hauteur de chute de 3 mètres correspond à deux cents manœuvres environ ; lorsque le poids est à fin de course, le circuit est automatiquement rompu. La sonnerie du contrôle, qui tinte tant que le disque est à l'arrêt, avertit le personnel.

M. Aubine (P.-L.-M.) a étudié un appareil analogue, dont le modèle était exposé par la Compagnie P.-L.-M., et destiné à être annexé à un appareil automatique provoquant la mise à l'arrêt du disque après le passage d'un train, par des moyens purement mécaniques.

Dans cet appareil, comme dans les précédents, l'arbre d'un treuil est rendu solidaire, par un cliquet, d'une roue montée sur le même axe, et munie de deux plateaux portant chacun cinq doigts de butée et autant de cames. Les doigts de butée reposent sur des axes à encoches qui arrêtent le mécanisme dans une position et le laissent défiler dans une autre. Les cames agissent par des galets sur des leviers reliés au disque par des câbles. Les déclenchements de l'appareil sont produits par une fourche montée sur un arbre, qui oscille sous l'action d'un

électro-aimant ; les becs de cette fourche maintiennent au repos des leviers armés de contrepoids fixés sur les arbres à encoche.

Un organe spécial, appelé *distributeur interrupteur*, est destiné à empêcher un courant accidentel de passer dans les bobines, quand le disque est à l'arrêt, et lui donne une stabilité parfaite.

L'exposition de M. Mors renfermait un appareil du même genre construit sur les indications de M. Rodary, avec dispositions accessoires, tendant également à remettre le signal à l'arrêt en cas d'ébranlement fortuit, ou de la rupture du câble du poids moteur, ou dans le cas où celui-ci n'aurait pas été remonté.

APPAREILS DE CONTROLE

Contrôleur électrique d'aiguille Chaperon (État et P.-L.-M.). — Un axe porte d'un côté un contrepoids, de l'autre une chape portant une tige, qui passe librement dans un trou percé dans l'âme du rail, à 0^m,04 de la pointe de l'aiguille ; quand celle-ci s'applique sur le rail, le contrepoids s'élève en imprimant à l'arbre un mouvement de rotation ; cet arbre porte à l'une de ses extrémités une plaque d'ébonite sur laquelle est fixée une lame d'argent formant un circuit entre deux ressorts isolés, dès que l'aiguille quitte le rail. La sonnerie actionnée par le courant tinte pendant la manœuvre et continue à tinter tant que l'aiguille n'est pas revenue à sa position normale.

L'appareil est légèrement modifié s'il s'agit d'une aiguille livrant passage indifféremment dans les deux sens, de manière que la sonnerie se fasse entendre pendant le passage d'une position à l'autre. Le répétiteur d'aiguille indique au poste de manœuvre quelle direction a été donnée ; à cet effet, chaque lame actionne un contrôleur et, suivant la direction, ferme un courant positif ou négatif, quand l'aiguille est appliquée sur le rail ; ces courants actionnent un appareil récepteur et font incliner, suivant leur sens, une aiguille indicatrice. L'absence de courant causée par une manœuvre en cours d'exécution, ou incomplète, laisse formé le circuit d'une sonnerie locale, circuit qui est au contraire ouvert par un relais dès que le courant passe.

Les positions des disques sont contrôlées par un appareil fermant le circuit d'une sonnerie quand le disque est à l'arrêt ; ou bien par le jeu d'un répétiteur ou signal miniature ; le disque miniature est fixé à la partie inférieure d'une tige équilibrée par un contrepoids, solidaire de l'armature d'un électro-aimant, armature mobile autour d'un axe horizontal passant par son centre.

Pour les signaux de nuit, il est utile, en outre, de savoir si les lanternes sont allumées ; la Compagnie P.-L.-M., emploie dans ce but un photoscope dû à M. Jousselin ; c'est un thermomètre bimétallique, qui se coarbe quand il est échauffé par la lampe et vient établir alors un contact, fermant le circuit de la

sonnerie ou de l'appareil répétiteur. Un disjoncteur robuste, porté par la lanterne elle-même, coupe le circuit de jour et y introduit la lame bimétallique, quand la lanterne est remontée.

PÉDALES. — CONTROLE DES TRAINS EN MARCHE

Les pédales sont destinées à fermer un circuit lors du passage des trains ; le courant peut actionner ou un avertisseur placé près d'un passage à niveau, ou un appareil enregistreur.

La pédale Aubine est placée parallèlement au rail, et montée sur un axe perpendiculaire à celui-ci et portant un levier coudé ; l'un des bras agit sur un verrou qui immobilise la pédale pendant le passage du train ; la pédale est ensuite remise en place par un basculeur à mercure. Un réservoir, divisé en deux compartiments communiquant par un robinet, est porté à l'extrémité d'un arbre, dont l'autre porte une came qui pousse le verrou et en dégage le levier au moment convenable. L'armature du robinet est réglée de manière que le train ait le temps de passer avant que le poids du mercure écoulé produise le mouvement de bascule qui doit remettre la pédale dans sa position première.

La pédale Chaperon est une trembleuse ; une masse métallique portée par un ressort est normalement en contact avec les parois d'une boîte métallique fixée sur une plaque en tôle assujettie au rail par les boulons d'éclisse ; un courant continu traverse l'appareil ; il est interrompu par les trépidations lors du passage d'un train et fait tinter une sonnerie au passage à niveau ; la première interruption fait tomber le volet d'un annonciateur et ferme le circuit d'une pile locale voisine de la maison du garde, jusqu'à ce que celui-ci ait relevé le volet.

La pédale de MM. Couard et Paget est conçue dans le même ordre d'idées ; une boîte en cuivre contenant un ressort appuyé sur un contact métallique est placée sous le patin du rail. Ces trois pédales sont employées sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée.

Sur les chemins de fer de l'État, la pédale est constituée par un levier dont les bras sont dans le rapport de 1 à 10. L'extrémité du petit bras porte sous le rail et est maintenue par le grand bras qui fait contrepoids ; le passage d'un train fait fléchir le rail et relever le grand bras ; ce mouvement ferme un contact.

Ces appareils peuvent servir à contrôler la vitesse d'un train ; on en établit deux ou un plus grand nombre, chacun envoyant un signal.

Dans le système du chemin de fer de l'État, les deux pédales, placées à 200 mètres l'une de l'autre agissent sur un récepteur Morse dont le mouvement d'horlogerie a une vitesse uniforme et connue. Le premier signal débraye le

mouvement, le second l'embraye; de plus, le premier ferme le circuit d'une pile locale qui détermine l'impression; on obtient ainsi des traits dont la longueur est proportionnelle au temps mis par le train à parcourir les 200 mètres.

Sur le P.-L.-M., chaque émission de courant fait mouvoir un marteau dont la tête métallique vient frapper sur un papier préparé chimiquement, enroulé sur un cylindre d'appareil enregistreur à mouvement hélicoïdal, on bien comme dans les enregistreurs Richard, fait mouvoir une plume qui marque à l'encre un trait continu sur une bande de papier se déroulant d'une manière uniforme.

Ces pédales sont remplacées sur le réseau du Nord par des crocodiles imaginés par MM. Lartigue et Forest; ce sont des contacts fixes placés dans l'axe de la voie et mis à la terre par des brosses fixées à la machine dès qu'un train passe au-dessus d'eux. On les utilise pour déclencher automatiquement le frein à vide lorsque la machine atteint un disque à l'arrêt. En les dédoublant ou en les fendant transversalement, on sert en même temps pour avertir une gare du passage d'un train devant ce disque. Le courant établi par le contact passe dans un électro-aimant qui ferme le circuit local d'une sonnerie à voyant. A cet effet, le commutateur, mis en action par le disque, réunit, quand le disque est ouvert, le pôle positif de la pile de sonnerie du disque à l'avertisseur de la gare, et, à la terre, le pôle négatif au contact fixe. Lorsque la machine passe sur le crocodile, la brossse complète le circuit, mais son frein, traversé par un courant négatif, n'est pas déclenché, tandis que l'avertisseur de gare fonctionne. Quand le disque est à l'arrêt, le commutateur réunit :

1° Le pôle positif d'une seconde pile au fil de la sonnerie de la gare et à la terre;

2° Met à la terre le pôle négatif de cette même pile;

3° Le pôle positif de la pile de sonnerie du disque en relation avec le fil de l'avertisseur et la terre;

4° Le pôle négatif de la même pile avec contact fixe.

La machine passant sur le crocodile, les deux circuits sont successivement fermés, le frein fonctionne ainsi que la sonnerie du disque qui tinte comme d'ordinaire.

Le déclenchement automatique du frein à vide est obtenu au moyen d'un appareil étudié depuis par MM. Delebecque, Lartigue et Banderali. Il se compose d'un électro-aimant Hughes dont l'armature commande par un levier une tige, dont le mouvement, sous l'influence du courant de désaimantation, a une amplitude de 1 centimètre sous l'action d'une force de 4 kilogrammes. La partie mécanique est une fourchette portant un plan incliné qui soutient le levier de la valve d'entrée de la vapeur dans l'éjecteur du frein à vide. La fourchette est maintenue par une tige horizontale, appuyée à l'autre extrémité contre un butoir. Le mouvement vertical de la tige de déclenchement lié à l'armature

entraîne la tige horizontale au delà de son butoir et permet à la fourchette de déclencher le levier de la valve à vapeur, qui s'ouvre et serre le frein.

Le même appareil met le frein sous la main du conducteur du train, lorsque celui-ci est muni du système d'intercommunication des trains en usage sur le réseau du Nord et qu'il suffit de prolonger jusqu'à la machine.

Système Metzger, *Chemins de fer de l'État*. — La distance entre deux gares est partagée en cinq sections, aux extrémités desquelles sont placées des pédales munies d'un interrupteur ; celles-ci envoient des courants dans des appareils enregistreurs placés aux gares extrêmes, quand elles sont actionnées par le passage d'un train. La première et la dernière pédale n'envoient qu'un courant ; les pédales intermédiaires envoient deux courants. L'enregistreur comporte trois voyants, qui sont blancs normalement, bleus pour les trains montants et jaunes pour les trains descendants. La sonnerie jointe à l'enregistreur fait entendre un roulement quand un train circule sans être attendu ou marche à contre-voie, ou quand deux trains sont engagés dans la même section, ou enfin s'il y a quelque irrégularité dans le fonctionnement de l'appareil.

APPAREILS DE CORRESPONDANCE

Pour la correspondance entre deux postes ayant à échanger entre eux un nombre déterminé de signaux toujours les mêmes, on peut utiliser les dispositions des tableaux annonciateurs d'hôtel, chaque signal correspondant à un numéro déterminé. Le nombre des voyants ou annonciateurs est égal au nombre des signaux à transmettre et au nombre des fils de communication. Pour diminuer le nombre de ces fils, la Compagnie de l'Est emploie l'artifice suivant : soit à transmettre 36 signaux, à chacun d'eux est affecté au poste appelant un bouton, qu'on peut supposer répartis en 6 groupes de 6 chacun, ainsi que les annonciateurs correspondants ; 12 fils sont affectés à l'intercommunication et forment catégories : ceux de la première relient tous les boutons du même groupe ; ceux de la seconde, les boutons de même rang dans chaque groupe. Chaque bouton est à double contact : en poussant, par exemple, le troisième bouton du deuxième groupe, on ferme le circuit à la fois dans le deuxième fil de la première catégorie et dans le troisième de la seconde. Au poste récepteur, les fils de la première catégorie aboutissent à autant d'électro-aimants commutateurs. Quand l'un de ces électro-aimants est excité, il établit autant de contacts sur les fils de la seconde catégorie. Ainsi le deuxième électro-aimant, entrant en jeu, fermera à la station réceptrice les circuits de tous les récepteurs du deuxième groupe ; mais, comme il ne passe pas de courant que dans le troisième fil, le troisième récepteur de ce deuxième groupe sera seul actionné (système G. Dumont).

Il convient d'ajouter sur l'électro-aimant commutateur un contact de plus sur un circuit local pour actionner la sonnerie.

De plus, le nombre des boutons est doublé. A chaque bouton du tableau ci-dessus en correspond un autre sur un tableau voisin, et en rapport avec le même fil. On se sert de ce second groupe pour envoyer des courants négatifs destinés, après manœuvre, à faire disparaître au poste appelé les signaux envoyés par les boutons à courant positif.

Une disposition mécanique fait apparaître à une fenêtre correspondant à chaque bouton positif un signal qui rappelle le commandement envoyé, et qui est effacé quand le bouton négatif a été pressé.

Le principe peut être généralisé et permet d'envoyer avec $a + b + c + \dots$ fils un nombre de signaux égal au produit $abc\dots$

Dans le même but et pour un nombre de signaux variant de 12 à 20, la Compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée emploie la sonnerie à cadran Jousselin. Le mécanisme se compose d'une roue dentée, d'un pignon et d'un électro-aimant dont l'armature commande le déclenchement. A chaque passage du courant, une came lève le marteau, qui retombe sur un timbre, et en même temps la roue, sur l'axe de laquelle est montée l'aiguille, avance d'une division.

Deux appareils semblables, l'un appelant, l'autre appelé, munis d'un bouton de pression réunis par un seul fil, suffisent à la correspondance. Les connexions sont faites de manière à provoquer l'apparition des mêmes signaux aux deux postes. Le remontage du ressort qui actionne le rouage s'effectue en ramenant au zéro l'aiguille indicatrice.

La Compagnie du Nord emploie, pour les distances supérieures à 500 mètres, un appareil à cadran de M. Guggenos. Le cadran est divisé en 13 secteurs, auxquels correspondent des boutons et des cases circulaires formant deux couronnes concentriques. Au centre se trouve une aiguille mobile. Les indications écrites dans les secteurs sont celles que l'on transmet; celles qui sont écrites dans les cases sont celles que l'on reçoit. Les aiguilles reçoivent leur mouvement d'un échappement mené par une horloge. En pressant sur un des boutons, on établit un contact qui permet au courant d'une pile d'actionner l'électro-aimant du poste appelant et celui du poste appelé; les armatures de ces électro-aimants débrayent les rouages, et les aiguilles des deux postes se déplacent synchroniquement. En cessant de presser le bouton appelant dès que l'aiguille est en face de lui, l'aiguille s'arrête dans la même position au poste appelé.

Pour les distances inférieures à 500 mètres, la Compagnie du Nord emploie des appareils à guichets, avec autant de fils qu'il y a de signaux à transmettre, plus un pour la sonnerie. La pression d'un bouton ferme le circuit de la pile et fait apparaître sur les deux tableaux en correspondance le même guichet. L'agent appelé accuse réception en appuyant sur le bouton du guichet qui a parlé, et efface ainsi les deux signaux.

Le nombre des signaux est souvent réduit à deux.

Sur le réseau de l'État, la correspondance des gares avec les passages à niveau se borne aux quatre phrases suivantes : « Puis-je ouvrir », « Fermez », « Ouvrez » « Je ferme ». On obtient l'échange de ces phrases par une méthode galvanométrique. L'aiguille aimantée, verticale au repos, est sollicitée à droite ou à gauche suivant le sens du courant qui parcourt le cadre galvanométrique. L'appareil complet comprend le galvanomètre, un inverseur de courants, la sonnerie d'appel un commutateur récepteur d'avertissement, un commutateur d'attente, sonnerie et réception, et le paratonnerre.

De même, entre deux postes limitant une section de cantonnement, l'échange des signaux se réduit à ceux de « voie libre » et « voie occupée ».

BLOCK-SYSTEM

La Compagnie P.-L.-M. emploie l'appareil Tyer, combiné avec la sonnerie Jousselin.

Les deux stations en correspondance sont munies chacune d'un appareil formé de deux aiguilles, l'une supérieure, répétitrice, l'autre inférieure ou indicatrice ; chacune de ces aiguilles, montée sur l'axe de la palette d'un électro-aimant, peut affecter deux positions, suivant le sens du dernier courant envoyé dans les bobines. Deux boutons ou pousoirs à ressort établissent les contacts et envoient dans la ligne qui rejoint les stations un courant positif ou négatif : l'aiguille indicatrice d'un des postes et l'aiguille répétitrice de l'autre ont toujours la même position.

A l'état normal, toutes les aiguilles doivent être sur « voie libre ». Si la station A reçoit un train se dirigeant vers B, elle envoie un courant positif qui met en action la sonnerie de B, sans altérer la position des aiguilles. B répond en envoyant un courant de sens contraire, qui fait passer à « voie occupée » son aiguille répétitrice et l'aiguille indicatrice de A. Quand le train a atteint B, cette station envoie un courant inverse au dernier en appuyant sur le bouton « voie libre », qui efface les signaux faits antérieurement. Il suffit donc d'appuyer sur le bouton « voie libre » quand le train dépasse la station et sur le bouton « voie occupée » pour répondre au signal reçu de la station précédente.

Comme on ne modifie pas la position des aiguilles en agissant sur le dernier bouton poussé, bouton dont la position est marquée par celle des aiguilles, M. Jousselin a annexé sa sonnerie à l'appareil Tyer ; ainsi complété, il indique par un signal optique l'état, libre ou occupé, de la voie entre A et B, et permet l'échange de signaux, échange dont l'utilité a été démontrée par la pratique.

L'appareil Regnault, de la Compagnie de l'Ouest, a le même but que le Tyer, mais il n'exige pas la présence permanente de l'employé au poste appelé pour répéter le signal envoyé. Deux fils réunissent les postes en correspondance ; chacun d'eux sert aux signaux d'une des deux voies.

Une pression sur le bouton *départ* du poste appelant envoie un courant positif qui fait incliner l'aiguille indicatrice de l'autre poste, en actionnant une sonnerie ; et le déplacement de l'aiguille ferme automatiquement le circuit d'une pile, envoyant un courant positif dans le fil de ligne ; dès que la pression du bouton cesse, ce courant agit sur l'électro-aimant de l'aiguille répétitrice du poste appelant ; lorsque le train signalé est arrivé au poste d'aval, celui-ci appuie sur le bouton *arrivée* et envoie un courant négatif, qui efface le signal de la répétitrice du premier poste, une dérivation de ce courant passe dans l'électro-aimant de l'indicatrice du poste d'aval et la ramène à sa position primitive. La seconde ligne sert de même au bouton *arrivée* du premier poste, et *départ* du second, et actionne l'aiguille indicatrice du premier et la répétitrice du second ; il y a donc pour cet échange entre les postes deux appareils distincts, desservis chacun par une ligne et n'ayant que la sonnerie de commun.

Comme dans le Tyer, l'organe essentiel est un aimant permanent portant à l'un de ses pôles les noyaux de deux bobines, et à l'autre l'axe de la palette qui oscille entre les deux noyaux ou leurs prolongements. (Voir plus bas le système de la Compagnie du Nord).

ENCLENCHEMENTS ÉLECTRIQUES

Ces appareils sont insuffisants par eux-mêmes pour assurer la sécurité de la partie de la voie comprise entre les deux postes ; des disques et autres signaux destinés aux mécaniciens chargés de la conduite des trains, doivent être manœuvrés d'après les indications transmises de poste à poste. Il y a actuellement une tendance marquée à lier les manœuvres de ces appareils et les signaux transmis électriquement, de telle manière que des manœuvres incorrectes ou dangereuses pour la sécurité ne puissent être faites. Ces liaisons peuvent être électriques ou mécaniques ; on ne mentionnera ici que les premières.

La Compagnie de l'Ouest associe dans ce but aux appareils Regnault ci-dessus décrits :

1° un enclenchement empêchant qu'un poste puisse annoncer au suivant l'envoi d'un train avant d'avoir couvert celui-ci ;

2° une serrure électrique, empêchant d'effacer les signaux tant que le train n'est pas sorti du canton à protéger, et que l'indication de ce passage n'a pas été transmise ;

3° un relais empêchant le poste d'aval de transmettre cette indication avant d'avoir protégé le train.

La protection se fait par deux signaux ; l'un dit *signal avancé*, commandant un ralentissement ; l'autre, *signal de cantonnement*, commandant l'arrêt absolu.

Les leviers de manœuvre de ces signaux sont enclenchés, de telle sorte que le second signal ne puisse être fermé tant que le premier ne l'est pas ; inversement

le signal avancé ne peut ouvrir la voie qu'après que le signal de cantonnement a été ouvert. Un système de leviers et de tringles commande une main qui enveloppe la tige du bouton *départ* et ne permet de le manœuvrer qu'après la fermeture du signal de cantonnement.

La serrure électrique est manœuvrée par une pile locale qui, au moment opportun, actionne un électro-aimant qui dégage son pêne ; le circuit de cette pile est fermé en même temps que l'aiguille répétitrice du poste est mise sur voie libre et à condition que le signal soit à l'arrêt. Si cette pile cessait de fonctionner, la marche des trains serait complètement arrêtée ; pour éviter cet inconvénient, une clef spéciale permet d'ouvrir la serrure ; mais la manœuvre de cette clef fait en même temps avancer un verrou, qui ne permet pas d'ouvrir complètement le disque de cantonnement, et fait apparaître au lieu du signal de voie libre le mot *attention*.

Le relais électrique est un interrupteur, qui introduit une solution de continuité dans le circuit de la pile correspondante au bouton *départ* tant que le signal avancé n'est pas fermé ; c'est un électro-aimant, dans lequel circule le courant d'une pile locale, fermé par un commutateur monté sur l'axe du disque ; tant que ce courant passe, l'électro-aimant ferme et le circuit de la pile de sonnerie du disque et celui de la pile du bouton de départ.

La correspondance ainsi complétée entre deux postes nécessite cinq piles pour chacun d'eux : les éléments sont des Leclanché, sauf pour la pile fournissant le courant qui maintient l'aiguille répétitrice en place et est fermé par le déplacement de l'indicatrice de l'autre poste.

La Compagnie P.-L.-M. a fait étudier par MM. Jousselin, Chaperon et Rodary, et construire par M. Postel-Vinay, un nouveau poste block-system. Tout signal est normalement à l'arrêt ; il ne peut donner la voie libre qu'à la condition de recevoir du poste suivant un courant négatif ; quand celui-ci est envoyé dans les bobines d'un électro-aimant contenu dans l'appareil, ces bobines repoussent l'extrémité d'un levier de fer articulé sur le pôle d'un fort aimant ; celui-ci, dans son mouvement, relève un verrou qui s'opposait à la manœuvre du signal ; il peut donc être mis à voie libre ; en effectuant la manœuvre, en sens inverse, de mise à l'arrêt, on presse nécessairement le bouton poussoir à ressort d'un Tyer, et un courant positif est envoyé au poste suivant, lui signalant l'arrivée d'un train.

Pour annoncer l'arrivée d'un train au poste précédent, et lui permettre de débloquer la voie, il faut presser un second bouton, envoyant à celui-ci un courant négatif, mouvement qui est rendu, tant que le signal n'est pas à l'arrêt ; dans cette position seulement, le courant de la sonnerie du disque ou du répétiteur passe en dérivation dans un électro-aimant qui abaisse ce verrou. Ce bouton ne peut être poussé deux fois de suite ; il porte, en effet, deux encoches ; l'une correspond au verrou dont il vient d'être parlé ; l'autre à un second verrou

qui s'engage dans l'encoche correspondante lorsque le bouton revient à sa position primitive et y reste tant que la sonnerie fonctionne ; ce verrou se dégage, au contraire, quand celle-ci s'arrête et que la palette de l'électro en dérivation se relève en engageant le premier ; le bouton ne pourra être poussé de nouveau que si le disque a été ouvert puis fermé.

Par contre, le bouton qui émet les courants positifs, et qui annonce automatiquement la mise à l'arrêt, reste toujours libre et sert à l'échange de dépêches par les sonneries Jousselin.

En cas de dérangement on peut agir à la main sur la palette de l'électro-aimant en dérivation qui éclanche le poussoir de remise à voie libre envoyant les courants négatifs ; il faut alors ouvrir une plaque à charnière mise sous scellés.

(On notera que sur le réseau de P.-L.-M., comme sur celui de l'Ouest, on emploie beaucoup de disques automoteurs Aubine, mis à l'arrêt par le passage même du train, mais dont la sonnerie ne fonctionne que par la manœuvre ordinaire du levier de commande).

Sur le réseau du Nord les appareils de block sont les électro-sémaphores de MM. Tesse, Lartigue et Prudhomme ; la mise à l'arrêt du signal couvrant un train et le calage de ce signal dans cette position sont obtenus mécaniquement ; la manœuvre de la manivelle fait apparaître électriquement un signal prévenant l'agent du poste suivant de l'arrivée du train ; le signal d'arrêt ne peut être effacé que par ce dernier poste. Ces appareils sont trop anciennement connus pour être décrits de nouveau, mais dans l'origine ils étaient établis de manière à réaliser l'indépendance absolue des diverses sections de cantonnement ; ce système a été modifié et on a cherché à empêcher qu'on pût débloquer une section sans bloquer la suivante ; mais il est inutile, pour les stations où un train doit être garé pour se laisser dépasser, de pouvoir à un moment donné rompre la dépendance.

Cette dépendance est obtenue par l'addition d'un enclenchement électrique solidarisant les axes des deux manivelles de la grande aile et du petit bras du sémaphore ; en même temps on a solidarisé la grande aile et le disque qui le couvre à distance.

En temps normal un train étant annoncé par la chute du petit bras, il est impossible de le faire disparaître, et de donner la voie libre à ce train, si on n'a pas pu préalablement bloquer la section suivante en élevant la grande aile à la position horizontale, et par conséquent mis à l'arrêt le disque avancé.

La mise à l'arrêt du disque par le levier de manœuvre fait passer un courant dans l'appareil d'enclenchement de la grande aile ; celle-ci peut être mise à l'arrêt ; tant qu'elle reste dans cette position, le disque ne peut être remis à voie libre ; on doit attendre que la grande aile, déclenchée par le poste suivant, soit retombée.

Pour rompre cette dépendance, et permettre à un train de se garer sans blo-

quer la station suivante, ou plutôt de débloquer cette section après le garage un commutateur est mis à la disposition d'un agent, et il envoie directement au sémaphore le courant qui permet de débloquer la section d'amont sans bloquer celle d'aval.

Enfin le système est complété par des répétiteurs des indications du petit bras du sémaphore ; c'est une boîte renfermant deux électro-aimants Hughes, un pour chaque direction, dont les palettes se détachent lorsque le courant a suffisamment affaibli l'aimant ; des voyants maintenus par ces palettes apparaissent en dehors de l'appareil ; dès que ces voyants tombent, ils font tinter une sonnerie ; le voyant ne doit être relevé qu'après passage du train devant le poste où est installé le répétiteur.

Ces dispositions ont été étudiées par M. E. Sartiaux.

Sur le réseau du Nord, on n'a encore établi que 36 de ces postes à enclenchements, tandis que le nombre des postes sémaphoriques s'élève à 515, installés sur 975 kilomètres de réseau à double voie. Le réseau du P.-L.-M., n'a qu'une seule section fonctionnant avec l'appareil décrit ci-dessus, tandis que l'ancien block-system Tyer-Jousselin continue à fonctionner sur une grande partie du réseau (2 500 kilomètres) et enfin l'Ouest possède 705 postes enclenchés par le système Regnault ; on doit ajouter que, sur ce dernier réseau, dans la section où la circulation est la plus active, et où les appareils sont très rapprochés, on a appliqué des enclenchements purement mécaniques (24 postes sur 20 kilomètres) dont le jury de la classe 62 n'a pas eu à s'occuper.

Sur le réseau de l'État, la disposition suivante sert à l'enclenchement électrique du levier de manœuvre d'un appareil : ces leviers sont construits sur le modèle des leviers à coulisse des appareils Saxby, avec verrou à ressort dont la tige glisse le long du levier. Sur la coulisse, est fixée une tige portant deux marteaux et, plus près du centre de rotation, deux doigts de contact qui viennent, au moment où la coulisse a tourné d'un tiers de sa course, frotter sur deux plaques de cuivre dont l'une est à la terre, et l'autre avec un pôle de pile ; le circuit de la pile ainsi complété, un électro-aimant ordinaire placé dans le circuit attire son armature ; cette armature attirée laisse passer le marteau supérieur, et le levier peut terminer sa course. Une interruption sur le circuit de la pile enclenche donc le levier et ne permet pas la manœuvre. Le marteau inférieur présente une saillie à son extrémité antérieure, il peut passer sous la palette quand celle-ci est relevée, ou que le courant ne passe pas ; le levier peut donc faire le premier tiers de sa course, la saillie dépasse le plan de l'armature, et le mouvement peut continuer, si la palette s'abaisse ; mais le levier ne peut plus revenir à la position primitive ; si une cause accidentelle a maintenu l'armature abaissée dès le début, en l'absence de courant, le mouvement est impossible encore.

Enfin le marteau supérieur porte une encoche au milieu de sa longueur ; si le

circuit est interrompu, l'armature en se relevant vient s'y loger et enclenche le levier au milieu de sa course.

Le même principe est appliqué à l'enclenchement des leviers faisant partie d'un appareil Saxby.

HORLOGES ÉLECTRIQUES

L'entretien électrique du mouvement d'une pendule peut se faire par plusieurs procédés.

M. Borrel et MM. Château père et fils (système Collin) donnent à chaque oscillation une petite impulsion au pendule, semblable à celle qu'il reçoit du poids moteur ou du ressort dans les horloges ordinaires ; cette impulsion est produite par la chute de l'armature d'un électro-aimant (ou son mouvement sous l'action du ressort antagoniste), au moment où le courant cesse de passer ; le passage du courant et sa cessation sont provoqués par un contact établi pendant un temps très court à chaque oscillation du pendule.

M. Hennequin exposait de petites pendules de cheminées, dans lesquelles c'est l'attraction de l'armature qui imprime cette impulsion, et pour économiser le courant, celui-ci, lancé dans l'électro-aimant à chaque oscillation, est interrompu par le mouvement même de l'armature dès qu'elle est à fond de course ; les organes sont très simples, faciles à démonter et à remonter.

On peut aussi utiliser l'action du courant pour remonter le poids ou le ressort moteur. M. Wehrlé, de Bruxelles, fait actionner par un élément Leclanché, toutes les demi-heures, le moteur électrique remontant de la quantité nécessaire le poids ; ce moteur remplace le volant de la sonnerie. Si la pile est usée ou le circuit interrompu, la pendule continue à marcher comme d'habitude, mais la sonnerie cesse de fonctionner.

Dans l'horloge électrique de M. Chambaud, le remontage par la pile a lieu toutes les cinq minutes. Le courant actionne un trembleur qui remonte un poids agissant sur l'échappement ; dès que le poids a atteint une hauteur déterminée une fois pour toutes, le courant est interrompu.

Dans la petite pendule papillonne, construite par M. Rever, d'après les indications de M. Personne, un électro-aimant agit sur le pendule pour augmenter l'amplitude, dès que celle-ci s'est abaissée au-dessous d'une certaine limite ; à cet effet une tige solidaire du pendule porte, articulée à son extrémité inférieure, une seconde tige sur laquelle est placé un papillon en mica ; quand la vitesse maximum du pendule passant par la verticale tombe au-dessous de sa valeur normale, la résistance de l'air au mouvement du papillon n'incline plus que légèrement la tige secondaire, et elle vient frotter sur un petit contact, émettant ainsi le courant dans l'électro-aimant.

Le système bien connu de M. Hipp agit de même, mais dans les pendules de

ce constructeur, instruments de haute précision destinés aux observatoires, toutes les précautions sont prises pour assurer une marche d'une parfaite régularité.

Une palette est dressée verticalement sur un demi-cylindre en pierre dure, dont l'axe repose sur un couteau en platine iridié qui permet à cette palette d'osciller autour de la verticale de 40 degrés environ, sous l'action d'une contre-palette fixée sur une traverse du pendule ; cette contre-palette est un rubis dont la face inférieure présente une légère encoche. Tant que l'oscillation du pendule a une amplitude assez grande pour que l'entaille de la contre-palette, qui mène la palette à gauche et à droite, puisse la dépasser, l'électricité n'entre pas en jeu ; si l'amplitude diminue au delà d'un minimum fixé, la pointe de la palette s'arc-bouté dans l'entaille ; la palette et le couteau sont pressés vers le bas ; le couteau est porté par un levier monté sur un couteau, dont l'extrémité soulevée vient établir un contact ; un courant est alors lancé dans un électro-aimant qui donne une impulsion au pendule en attirant une pièce de fer doux placée sur une traverse du balancier.

L'écart entre l'amplitude maximum du pendule et l'amplitude minimum à partir de laquelle l'électro-aimant entre en jeu, est une minute d'arc. L'impulsion communiquée au pendule est donc variable avec l'intensité du courant et se répète à des intervalles d'autant plus éloignés que la pile est plus forte ; on peut donc craindre que la valeur de l'oscillation ne soit légèrement affectée ; M. Hirsch directeur de l'observatoire de Neufchâtel, qui a étudié spécialement ces pendules, annonce qu'un changement de 25 pour cent de l'intensité est sans effet appréciable.

L'étincelle d'extra-courant est pratiquement annulée par une dérivation offerte au courant, un instant avant sa rupture, par le jeu du levier qui détermine le contact ; le même artifice est employé pour les contacts qu'établit le pendule à chaque oscillation pour envoyer un courant dans le compteur de secondes ; d'après M. Hirsch, ces contacts en platine iridié, après avoir fonctionné plus de quatre ans, ou environ 70 millions de fois, ne s'oxyderaient pas d'une manière appréciable.

La pile entretenant le mouvement du pendule, et qui ne fonctionne que toutes les deux minutes environ, est formée de trois éléments Leclanché ; celle qui actionne le compteur de secondes comprend quatre éléments Meidinger de grande surface ; tandis que la première peut fonctionner six mois, la seconde doit être visitée tous les mois ; à ces deux piles sont adjointes des piles semblables de réserve qu'on leur substitue par la manœuvre rapide d'un commutateur, de sorte que cette opération ne fasse pas perdre de secondes à l'horloge.

M. Hirsch insiste sur les avantages que présente cette pendule ; tous les mouvements se font sur couteaux, le graissage est supprimé ; elle peut être en-

fermée sous une cloche et fonctionner sous pression constante ; à Neufchâtel, la pendule marche sous une pression moyenne de 77 millimètres, avec une variation totale de 2 mil., 4. La variation de la marche serait de 0 s. 012 (douze millièmes de seconde) par millimètre de pression ; M. Hirsch estime qu'après réglage définitif de la compensation de température, la variation diurne ne dépassera pas trois ou quatre centièmes de seconde.

SONNERIE A DISTANCE

M. Renouf expose un système de sonnerie à distance qui permet d'actionner avec un régulateur des cloches ou timbres d'un poids quelconque. Un rouage ordinaire, sollicité par un poids, est déclenché à chaque émission de courant ; le poids fait frapper un coup et le mécanisme réenclenche de lui-même, le courant étant interrompu avant que la chute du marteau soit complétée. Si l'on envoie un courant continu, le réenclenchement ne se fait pas et la sonnerie se fait entendre indéfiniment. On peut donc, au moyen d'un simple commutateur, faire passer directement sur la ligne le courant de la pile qui, en temps normal, passe dans le régulateur, convertir une simple sonnerie d'heures en signal d'alarme.

Un appareil analogue est exposé par M. Salvaing.

REMISE A L'HEURE

Les chemins de fer de l'État font connaître aux gares l'heure de midi donnée par une horloge type en utilisant le fil télégraphique, dit *omnibus*, de ces gares. L'appareil se compose d'une boule métallique pouvant glisser librement sur une tige verticale, et armée à sa partie inférieure d'un ressort qui établit en tombant le courant dans un relais ; on la remonte au point d'arrêt au moyen d'un cordon de tirage ; d'un électro-aimant dont l'armature retient la boule au haut de la tige ; d'un contact placé sous le cadran d'une horloge régulatrice, s'établissant tous les jours à la même heure, et enfin d'un commutateur pris sur le fil de ligne. Lorsque l'horloge régulatrice établit le contact, le courant passe directement dans l'électro-aimant de la première horloge à régler, la boule tombe le relais fonctionne et envoie dans la ligne un courant qui passe dans l'horloge de la gare suivante, et l'heure est ainsi annoncée de gare en gare. Un agent a mission de mettre à l'heure l'horloge et de relever les boules ; c'est plutôt une indication télégraphique de l'heure qu'une remise à l'heure proprement dite.

Le système d'unification de l'heure Collin, exposé par MM. Château, suppose que les horloges à régler ont une légère avance ; toutes les horloges sont montées en dérivation sur un circuit commun. Au moment où l'aiguille d'une horloge arrive sur midi juste, elle ferme son circuit local ; les rouages sont arrêtés, mais le pendule continue à battre ; au moment où l'horloge type arrive à midi,

la pile est mise hors circuit et toutes les horloges repartent. La pile n'est mise en circuit que quelques minutes avant midi par l'horloge type elle-même. L'arrêt électrique sur l'axe de l'échappement est direct; un long levier pendant, armature de l'électro-aimant, engrène dans les dents d'un rochet calé sur cet axe une goupille dont son extrémité est armée; l'armature ne cède à l'attraction que lorsqu'elle est déclenchée; à cet effet un levier, dont l'extrémité glisse sur un limaçon calé sur un axe faisant un tour en une heure, tombe à l'heure du réglage dans une encoche pratiquée dans ce limaçon, et un ergot placé à l'extrémité opposée libère l'armature.

La Compagnie des chemins de fer de l'Est emploie le système Redier et Tresca, fondé également sur le principe de l'avance des horloges à régler, non seulement pour remise à l'heure des horloges d'une gare, mais pour remettre à l'heure de Paris les horloges de Troyes et de Vesoul. L'horloge régulatrice se met en communication avec la ligne télégraphique pendant cinq minutes et, dans cet intervalle, envoie un courant continu pendant 60 secondes, de 11 h. 59 à 12 heures. Ce courant, passant dans l'électro-aimant de l'horloge réceptrice, tend à arrêter le rouage, mais cet arrêt n'est réalisé, et l'armature libre d'obéir à l'attraction, que quand la réceptrice marque 12 heures, au moment où la distributrice marque 12 heures, le courant cesse, et le rouge repart. On peut corriger ainsi une minute toutes les douze heures. Le mode d'arrêt employé est la fourchette dite *de côté*.

M. Borrel abaisse, dès l'émission du courant, un levier contre lequel vient buter une goupille portée par la roue d'échappement.

SYNCHRONISATION OU DISTRIBUTION DE L'HEURE

Cette distribution se réalise par l'emploi d'une horloge type déterminant des émissions de courant qui sont comptées et enregistrées par des horloges, dites *réceptrices*.

MM. Chateau père et fils, Borrel, la Compagnie des Chemins de fer du Nord exposent divers types de ces compteurs. Le renversement du courant à chaque émission, combiné avec l'emploi d'un récepteur polarisé conduisant les cliquets d'impulsion et d'arrêt qui déterminent le mouvement de l'axe des rochets, sous-trait l'appareil à l'influence des courants atmosphériques et supprime les inconvénients résultant de doubles contacts. Toutes ces dispositions sont déjà anciennes. Il n'en est pas de même du système proposé par M. Cornu, et dont M. Borrel exposait les éléments principaux. M. Cornu s'est proposé de synchroniser, c'est-à-dire d'obliger les balanciers de plusieurs pendules à battre la même seconde. Le balancier à synchroniser porte, à sa partie inférieure, un aimant légèrement courbé suivant une circonférence dont l'axe coïncide avec celui du balancier; un des pôles de cet aimant s'engage dans un solénoïde, l'autre pôle

dans un second solénoïde fermé sur une résistance variable qui constitue l'amortisseur; le premier solénoïde est parcouru par un courant dont la période est celle de l'horloge type; l'amortissement, réglable à volonté, peut être d'autant plus faible que l'écart des périodes du balancier à régler et de l'horloge type est plus faible aussi. Le balancier à régler, soumis à l'influence d'une cause périodique d'une part, à celle de l'amortisseur de l'autre, prend un mouvement de même période dont l'amplitude et la phase, par rapport au mouvement du balancier type, varient avec la grandeur de l'amortissement, avec la différence des périodes, suivant des lois exposées en détail dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (1887 et janvier 1888); ce système a été également l'objet de discussions approfondies au Congrès de chronométrie qui s'est réuni à l'occasion de l'Exposition.

L'horloge réceptrice de M. Blondeau a une armature particulière. C'est une roue dentée en fer doux dont les dents sont rabattues perpendiculairement au plan de la roue et dont l'axe actionne la minuterie. Lorsque le courant ne passe pas, deux des dents se trouvent tout près des pôles prolongés de l'électro, dans une position telle que l'attraction de l'électro entraînerait la roue dans le sens convenable; la roue est maintenue dans cette position par un ressort muni d'un doigt qui s'engage dans la denture d'un rochet porté par l'axe ayant autant de dents que la roue. Lorsque le courant passe, son premier effet est de soulever le ressort; la roue est déclenchée, obéit à l'attraction, et les dents viennent se placer en face des pôles: le courant cessant, le ressort retombe et son doigt, agissant sur le rochet, fait tourner la roue dans le même sens, de sorte qu'une nouvelle paire de dents est substituée à la première.

Le contact est pris au régulateur par un bras taillé légèrement en biseau et qui vient frotter contre l'extrémité d'une vis de manière à décaper constamment le contact.

AVERTISSEURS D'INCENDIE, TRANSMETTEURS D'ORDRE

Les avertisseurs Petit sont renfermés dans des boîtes en fonte placées sur des colonnes également en fonte; ces boîtes sont fermées par une porte qu'on ouvre en faisant tourner de 180 degrés une poignée. Cette manœuvre tend le ressort d'un bâillet qui, en se détendant, fait marcher une sonnerie. La porte ouverte, on appuie sur le bouton d'appel, ce qui déclenche un mouvement d'horlogerie mis par un poids; le mouvement du rouage ferme un circuit sur la sonnerie de l'avertisseur et sur un électro qui actionne un levier d'arrêt; en même temps le courant est envoyé au poste récepteur, agit sur sa sonnerie et sur un électro-aimant qui fait avancer l'aiguille du récepteur jusqu'au numéro correspondant à celui de l'avertisseur actionné; il suffit pour cela que la roue de l'avertisseur porte un nombre de saillies égal à son numéro d'ordre.

Le mouvement de la roue est ensuite suspendu par l'action du levier d'arrêt, tandis que la sonnerie continue à fonctionner jusqu'à ce que le courant soit interrompu par le poste récepteur. A ce moment, le levier d'arrêt dégage la roue; celle-ci déplace dans son mouvement un second levier qui rompt le circuit définitivement et empêche tout appel nouveau avant que le poids ait été remonté.

Un interrupteur spécial permet la vérification des lignes sans l'envoi du signal d'alarme.

Cet appareil est adopté par le service des pompiers de la ville de Paris.

M. Digeon exposait une disposition différente. Les postes d'appel sont munis d'un commutateur et d'un téléphone; le poste de secours d'un téléphone, d'une sonnerie, d'un commutateur automatique et d'un appareil avertisseur proprement dit. Les appareils sont tous embrochés sur le même circuit, fermé à l'état normal et dont le courant maintient les armatures des électro-aimants au contact; l'interruption du circuit en un point quelconque fait lâcher ces armatures aux postes de secours et fermer un courant local de sonnerie; les postes de secours prévenus tournent la manette d'un commutateur et décrochent leur téléphone, ce qui isole les sonneries.

Les transmetteurs d'ordre en usage dans la marine sont des appareils basés sur le principe d'un double système de compteurs à mouvements synchroniques, l'un pour l'envoi des ordres, l'autre pour signaler leur exécution; le transmetteur comporte, comme le récepteur, deux aiguilles mobiles sur une rose des vents; mais c'est la manœuvre même du gouvernail qui actionne l'aiguille de réponse et l'amène à donner une indication identique à celle de l'aiguille de commande quand l'ordre a été exécuté. Une sonnerie doit de plus fonctionner tant que les indications ne sont pas concordantes. L'Engine Room Telegraph de Wallis, construit par la maison Elliott, est un exemple de cette application. La classe 62 renfermait aussi un transmetteur d'ordres pour le mécanicien, construit par MM. Martel et fils, et d'une exécution soignée, dans lequel l'air comprimé était l'agent de transmission. Les mêmes constructeurs exposaient du reste tout un ensemble d'avertisseurs, sonneries, etc., du même aspect que les appareils électriques, mais fonctionnant par l'air comprimé.

M. Mildé construit également des transmetteurs d'ordres pour l'usage domestique. Le cadran transmetteur a une manette montée sur l'axe d'un bâillet; en se détendant, le ressort du bâillet donne, par l'intermédiaire de roues et de pignons, autant de contacts qu'il est nécessaire; ceux-ci sont transmis par l'intermédiaire de la ligne à un récepteur d'horlogerie dont l'aiguille sert d'index; les contacts sont obtenus par frottement d'une lame sur une tige fixée à la dernière roue du mouvement, et la longueur du contact prolongée par les roues et le volant que le bâillet actionne.

AVERTISSEURS DE TEMPÉRATURE

L'avertisseur de température Hutinet est un cordon renfermant deux fils de cuivre recouverts d'un étamage fusible et isolés l'un de l'autre par de la gutta-percha et du coton ; le diamètre extérieur est de 0^m,002 à 0^m,003 ; la chaleur fait fondre l'étamage, qui établit un contact entre les deux fils et ferme le circuit d'une pile sur une sonnerie.

Les autres systèmes sont fondés sur l'inégalité de dilatation des pièces métalliques sous l'influence de la chaleur ; généralement on voit employer un espèce de thermomètre bimétallique qui ferme un circuit dès que sa température est suffisamment élevée. MM. Dalloz, Gillet et Guyot-Sionnest utilisent la différence des dilatations d'un fil fin et d'une barre de même métal, sous l'influence d'une élévation brusque de température. A cet effet, dans l'électro-aviso qu'ils exposent, un fil fin de cuivre passant sur deux colonnes à gorge portées aux extrémités d'un tube de cuivre est tendu en son milieu par un ressort terminé par une plaque ; un pont relié au tube porte, en face de cette plaque, une vis de réglage contre laquelle la plaque s'appuie quand la dilatation du fil dépasse celle du tube d'une longueur fixée à l'avance, et ferme le circuit d'une sonnerie.

Cette disposition, qui semble préférable lorsqu'on se propose de constater un commencement d'incendie et non une simple augmentation de température, avait déjà été employée en principe par M. Mildé. Le thermomètre métallique avertisseur de MM. de Gaulne et Mildé est trimétallique (zinc, cuivre et acier). M. Mildé conjugue deux lames thermométriques, dont les métaux sont disposés dans le même ordre, qui, par conséquent, se courbent dans le même sens et restent parallèles sous l'influence des variations lentes de température, mais dont l'une, de plus fortes dimensions, est en retard sur l'autre quand l'élévation est brusque.

Cet avertisseur est disposé dans les habitations sur le même circuit que les sonneries et en joue le rôle ; il suffit de remplacer le bouton transmetteur ordinaire par un tirage à ressort qui fait glisser un conjoncteur métallique entre les contacts assurant leur décapage et fournissant un contrôle continu du bon état du circuit.

AVERTISSEURS POUR COFFRE-FORT

MM. Bablon et Gallet disposent sur un circuit un relais qui fait parler une sonnerie dès que le courant s'écarte dans un sens ou dans l'autre de sa valeur normale. Le courant passe dans l'électro-aimant de ce relais, suit le fil de ligne jusqu'au coffre, y pénètre, traverse un commutateur interrupteur et une bobine de résistance enfermés dans ce coffre et revient à la pile. La sonnerie ne pour-

rait rester silencieuse que si l'on introduisait dans le circuit une résistance égale à celle qui est enfermée dans le coffre-fort après l'avoir rompu. Le commutateur est formé par deux lames de ressort habituellement en contact et reliées à la serrure de telle sorte que quand la combinaison est brouillée, l'introduction d'une clef écarte les ressorts et rompt le circuit.

La Compagnie des chemins de fer de l'Est emploie cette disposition ; le relais est un cylindre creux et fendu de fer doux servant d'armature et équilibré par un contrepoids ; il porte une fourchette, dont l'une ou l'autre branche vient fermer le circuit local sur une petite lame d'argent.

MM. Thomson et Rew, de Londres, placent un relais de sonnerie sur la diagonale d'un pont de Wheatstone, équilibré dans l'état normal, et dont une branche pénètre dans le coffre-fort à protéger ; on obtient le même résultat que par la disposition précédente. Une des branches du pont contient un galvanomètre destiné à vérifier la pile à courant constant. Le relais de sonnerie est un autre galvanomètre dont l'aiguille, quand elle est déviée à gauche ou à droite, ferme le circuit de deux ou trois éléments Leclanché ; ce circuit contient un électro-aimant dont l'armature attirée met en court circuit ce second galvanomètre et fait marcher la sonnerie. Cet appareil est exposé par MM. Chubb et fils, de Londres.

APPAREILS ENREGISTREURS A DISTANCE

Les instruments enregistreurs de M. Parenthou sont appliqués depuis plusieurs années à Paris pour transmettre à distance l'indication du niveau de l'eau dans des réservoirs ; plusieurs de ces appareils fonctionnaient à l'Exposition, où l'on voyait en outre d'autres instruments pour l'indication à distance des pressions et des températures.

Dans ce dernier cas, l'appareil dont on veut enregistrer les indications à distance fait, par un mécanisme qui dépend de sa nature, tourner une roue dentée dont le mouvement est communiqué par un pignon à un arbre portant un disque plongeant dans une petite cuve à mercure et, sur son prolongement, trois pointes ou goupilles en platine, calées à 60 degrés l'une de l'autre, et dont les deux extrémités viennent successivement plonger dans trois cuves distinctes ; chaque goupille plongeant deux fois par tour, il y a six immersions par tour du pignon ; si on numérote ces goupilles, les immersions ont lieu dans l'ordre 1, 2, 3, 1, 2, 3 quand la rotation a lieu dans le sens direct, et dans l'autre 1, 3, 2, 1, 3, 2, si elle a lieu en sens inverse. Le pôle d'une pile est en rapport avec le mercure de la cuve où plonge le disque, et l'autre pôle à la terre. Chacune des cuves à mercure est en rapport avec des bornes 1, 2, 3, qui sont les extrémités d'autant de lignes se rendant au récepteur.

Celui-ci se compose de deux tambours, l'un de baisse, l'autre de hausse, isolés et montés sur le même axe qu'une roue à chevilles ; cette roue est actionnée par deux leviers recevant leur mouvement des armatures de deux électro-aimants et qui, chaque fois que ces armatures sont attirées, font tourner la roue à chevilles et l'axe d'une division, l'un dans un sens, l'autre dans l'autre. Pour établir la correspondance entre les deux appareils, il faut donc que le courant envoyé par l'immersion de la goupille 3 par exemple actionne l'un ou l'autre des électro-aimants suivant que la goupille 3 succède à la goupille 1 ou à la goupille 2.

A cet effet, les tambours sont munis de chevilles métalliques disposées en hélice ; en face de chaque tambour se trouvent trois lames de ressort, qui sont soulevées et mises ainsi en communication avec le tambour, l'électro-aimant correspondant et la terre ; ces lames appartenant aux deux tambours sont reliées entre elles, 1 avec 1, 2 avec 2 et 3 avec 3, et avec les bornes d'entrée des trois lignes ; les chevilles sont placées de sorte que deux lames de même numéro ne portent pas en même temps sur ces chevilles ; celles-ci sont disposées de manière que les deux lames 1 étaient hors contact (ce qui signifie que la goupille 1 du transmetteur vient d'envoyer un courant), la lame 2 du tambour de hausse et la lame 3 du tambour de baisse reposent sur les chevilles correspondantes ; tandis que les lames 2 du tambour de baisse et 3 du tambour de hausse sont hors contact. Dans ces conditions, si la goupille 2 du transmetteur vient à plonger, le courant suit la ligne 2 et peut passer par la lame 2 sur le tambour et dans l'électro de hausse ; si c'est la goupille 3, le courant passera dans l'électro de baisse, et si c'est la goupille 1 qui, à la suite d'une oscillation, vient plonger de nouveau après une émission, aucun courant ne passera ; dès qu'un courant a passé, la roue à chevilles tourne d'une division, entraîne les tambours et leurs chevilles, met hors contact la lame par laquelle le courant vient de passer ; le courant est immédiatement rompu, les armatures reviennent à leur position et l'appareil est prêt à recevoir un nouveau signal.

L'enregistreur à distance de niveau d'eau est construit sur un principe un peu différent, une des conditions imposées au constructeur étant de ne se servir que d'un seul fil pouvant transmettre en même temps des dépêches. Les deux électros de hausse et de baisse sont alors commandés par une pile locale ; celle-ci actionne l'un ou l'autre suivant le sens du courant envoyé dans la ligne qui traverse un relais très sensible dont l'armature, oscillant entre les deux pôles d'un aimant fixe, vient buter contre des contacts situés de part et d'autre. Le transmetteur doit donc être construit de manière à envoyer des courants positifs ou négatifs chaque fois que le niveau de l'eau s'est élevé ou abaissé d'une quantité déterminée ; dans ce but, un commutateur à double levier, dont les pointes en platine viennent plonger dans quatre bains de mercure, est incliné dans un sens ou dans l'autre.

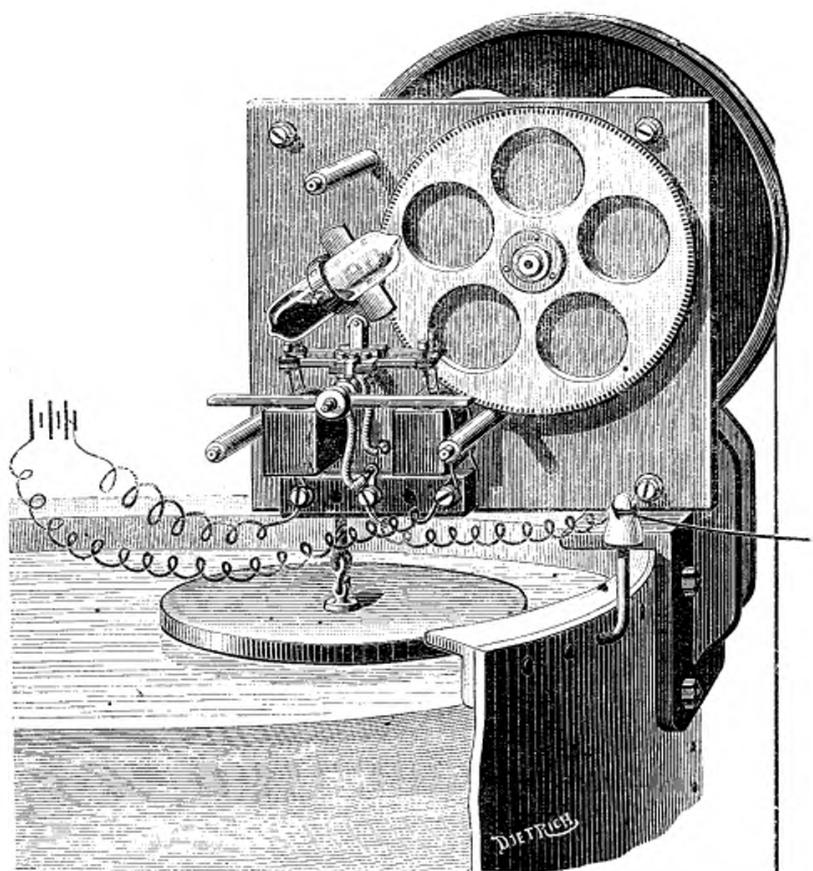


Fig. 35. — Enregistreur à distance de niveau, système Parenthou.

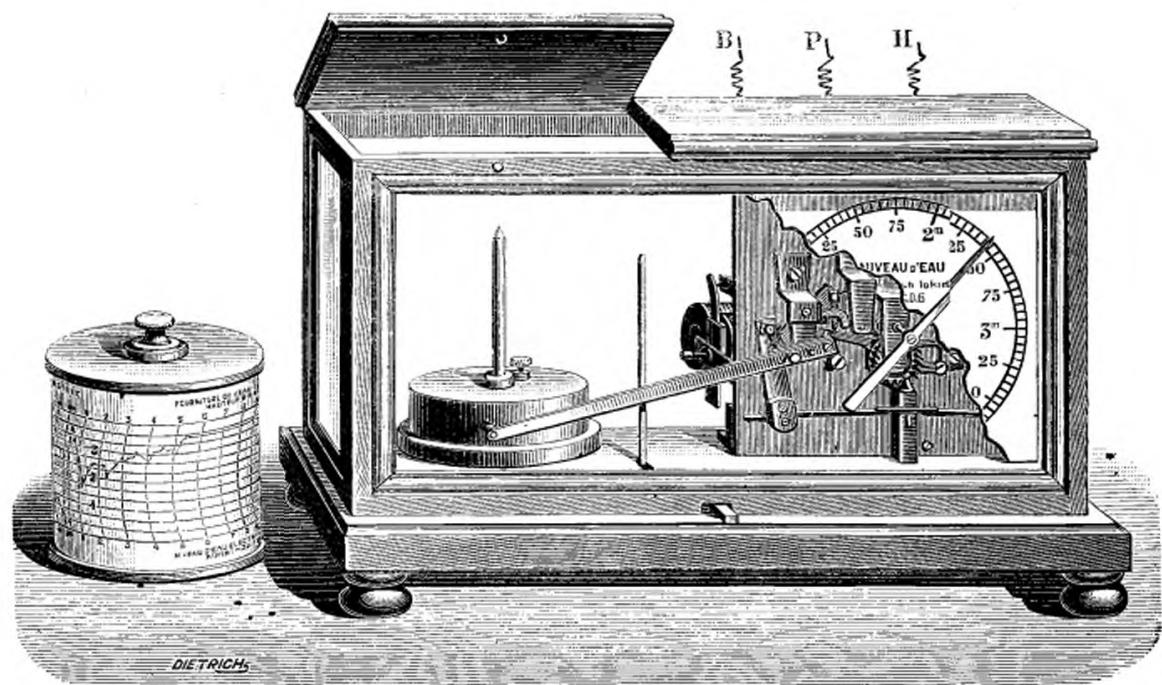


Fig. 37. — Enregistreur à distance, système Parenthou. Récepteur-Enregistreur.

Un petit plateau, percé de deux fenêtres, est monté sur un arbre ; deux goupilles portées par un pignon fou sur le même arbre, et qui reçoit son mouvement du flotteur, produisent l'entraînement de l'arbre, quand elles viennent frapper les bords de la fenêtre ; sur le même arbre est montée une bague qui reçoit un tube de verre contenant du mercure ; quand le plateau a été entraîné par le pignon pendant un quart de tour, le tube devient horizontal, le mercure se déplace, le fait basculer, entraînant le plateau jusqu'à ce que les chevilles butent contre le bord opposé, en décrivant rapidement un quart de tour ; le mouvement du plateau est transmis par un galet à l'axe du commutateur, qui revient à sa position d'équilibre dès que le plateau n'agit plus sous l'influence de contre-poids.

Chaque émission de courant est ainsi de très courte durée. Un second relais est embroché sur la ligne, mais le mouvement de son armature est ralenti par un rouage de telle sorte qu'elle n'ait pas le temps d'établir le contact pendant le passage du courant de l'indicateur ; ce relais, destiné à faire marcher une sonnerie, n'entre en jeu que lorsqu'on envoie sur la ligne un courant prolongé, mais plus faible et insuffisant pour faire marcher le relais du récepteur de l'indicateur ; ce courant est produit par une pile spéciale ayant trois fois moins d'éléments que la pile du transmetteur. La sonnerie sert à indiquer si on veut se servir de la ligne pour envoyer des dépêches télégraphiques ou téléphoniques ; et les connexions de cette ligne avec le commutateur sont telles que ce circuit n'est ouvert que pendant le temps où le courant du transmetteur passe, et est fermé dès que le commutateur revient à sa position d'équilibre.

La Société des Téléphones de Zurich exposait un autre système ; le flotteur fait tourner sur son axe un tambour portant à ses extrémités deux roues à rochet agissant chacune sur un levier ; l'un de ces leviers obéit quand le flotteur monte, l'autre quand il descend. Ces leviers portent à l'autre extrémité un poids ; après un parcours déterminé, le levier est soulagé et revient à sa position initiale ; le poids en tombant détermine le mouvement d'une petite machine magnéto, envoyant à distance un courant qui fait mouvoir d'un degré l'indicateur de niveau.

M. Grivolas a combiné un récepteur à cadran qui fonctionne au moyen d'une palette aimantée à trois positions actionnant une ancre d'échappement, avec un enregistreur à cylindre vertical mû par une horloge supérieure et dont le style traceur est commandé par l'indicateur à cadran lui-même, au moyen d'un renvoi de mouvement. La force nécessaire étant assez considérable, c'est le courant d'une pile locale qui est envoyé dans l'un ou l'autre des deux électro-aimants moteurs au moyen d'un relais à palette aimantée à trois positions, actionnée par les courants de ligne.

Le transmetteur fournit une émission de courant à chaque variation de

niveau de 0^m,01, à l'aide d'un inverseur à disque et d'un contact assuré par la disposition suivante : une étoile à trois branches maintenue par un sautoir dont une branche échappe sur les dents d'une roue à chevilles mue par le flotteur, met en action un petit rouage avec volant modérateur, assure le contact entre la branche du sautoir et un ressort spécial, puis rompt le contact, en écartant le ressort par l'action d'une cheville fixée sur l'un des mobiles du rouage.

MACHINE À VOTER

Dans la machine Debayeux, les signaux envoyés par chaque votant sont recueillis sur des frotteurs par la rotation d'un cylindre, et vont actionner électriquement un mécanisme compositeur chargé de faire saillir les noms tout composés dans l'une des trois colonnes préparées pour recueillir séparément les *oui*, les *non* et les bulletins blancs, et de placer en regard les nombre de votes déjà exprimés dans chaque colonne.

Chaque votant a à sa disposition un transmetteur à manette et à trois contacts comportant deux électro-aimants ayant pour fonctions : le premier, d'actionner un verrou d'enclenchement rendant impossible le changement de vote, lorsque le scrutin est clos ; le second, de permettre à un ressort antagoniste de ramener la manette à son zéro, une fois le dépouillement terminé. (Voir plus loin la machine Edison).

ALLUMEURS

L'allumeur de M. Née est d'un fonctionnement simple, mais il suppose un robinet spécial dont le boisseau est relié par la canalisation du gaz au pôle négatif d'une pile ; ce robinet, quand on le tourne, doit d'abord ouvrir à moitié le bec à allumer, puis un petit brûleur latéral, ensuite une tige fixée sur le robinet vient rencontrer un petit ressort relié au pôle positif de la pile ; en continuant à ouvrir, cette tige lâche le ressort, et l'étincelle de rupture détermine l'inflammation du petit brûleur qui allume le bec ; enfin, en continuant d'ouvrir le robinet, le brûleur est fermé et éteint, quand le bec principal est ouvert aux trois quarts.

Un grand nombre d'autres allumeurs, les uns dans lesquels le courant fait rougir un fil de platine, les autres dans lesquels une rupture de courant fait naître une étincelle allumant une lampe à essence, étaient exposés par la plupart des fabricants de sonneries et autres appareils domestiques. On en voit encore combinés avec un réveil ; en même temps que la sonnerie est actionnée, le courant passe dans une lampé de faible voltage.

INVENTIONS DIVERSES DE L'EXPOSITION ÉDISON

La plume électrique est un tube creux traversé par une tige d'acier pointue qui reçoit un mouvement très rapide de va-et-vient d'un petit moteur électrique fixé à la partie supérieure du tube. Le papier sur lequel on écrit, à la manière ordinaire, est alors perforé et l'écriture peut être reportée sur une autre feuille en passant dessus un rouleau encré. Le miméographe donne également des traits constitués par une série de points rapprochés ; c'est une planche d'acier dont la surface a été taillée comme celle d'une lime très fine ; le papier, très fin, destiné à la reproduction, est placé dessus, et on écrit avec une pointe mousse.

Dans la machine à voter, chaque votant a sous la main un commutateur à deux directions, aux touches duquel correspondent deux plaques métalliques portant le nom du votant en saillie ; l'ensemble de ces plaques forme deux colonnes, celle de gauche, par exemple, correspondent aux touches de gauche et au vote *oui*. Une feuille de papier préparé chimiquement est tendue sur ces plaques, et on fait passer dessus un rouleau de fer relié au pôle positif de la pile ; les noms des votants sont alors imprimés sur la feuille de papier et distribués dans les colonnes des *oui* et des *non*.

Le galvanomètre apériodique est fondé sur la dilatation d'un fil traversé par un courant ; l'appareil est renfermé dans un tube de verre purgé d'air ; l'une des extrémités du fil est scellée dans le verre, l'autre est enroulée autour d'un petit arbre vertical en aluminium portant un miroir et pivotant dans deux pièces de platine, dont l'une est prolongée par un fil traversant le verre et qui amène le courant.

Le phonomoteur : une tige de cuivre, fixée normalement sur le diaphragme d'une embouchure ordinaire de téléphone, porte à son extrémité libre un doigt agissant sur une roue à rochet ; la roue tourne rapidement quand un son est émis dans l'embouchure ; son mouvement était transmis à un disque divisé en secteurs colorés.

La variation de résistance du charbon, sous l'influence de la pression, a été utilisée par M. Edison pour la construction de rhéostats, qu'il emploie en télégraphie dans son système quadruplex, et pour la construction d'un relais dans lequel l'armature d'un électro-aimant, qui reçoit le courant de la ligne, comprime plus ou moins un rhéostat à charbon placé sur le circuit local. Le même principe entre en jeu dans le tasimètre ; une dilatation, insignifiante, peut être mise en évidence par le changement de résistance d'une pastille de charbon comprise entre les deux plaques de platine dont l'une est fixe, tandis que l'autre reçoit la pression du corps qui s'échauffe ; il est inutile de rappeler ici l'usage qu'il en fait dans ses transmetteurs téléphoniques.

XII. — Conducteurs.

Les conducteurs en fer ne sont usités que pour la télégraphie ; les distributions d'électricités emploient seulement du cuivre de haute conductibilité pour les lignes téléphoniques aériennes et pour quelques lignes télégraphiques, on fait usage de composés connus sous le nom de *bronze phosphoreux, siliceux ou chromé*.

Fer. — La Direction des postes et télégraphes exposait dans son pavillon quelques couronnes de fil provenant des usines de la Société de Commentry-Fourchambault, des Forges de Châtillon-Commentry, des Forges de Franche-Comté et de celles d'Eurville. Ces fils de 0^m,001 à 0^m,005 de diamètre, doivent avoir une résistance inférieure à 156 ohms par kilomètre, pour 0^m,001 de diamètre ; les charges de rupture sont respectivement 30, 250, 440 et 650 kilogrammes, pour les diamètres de 0^m,001, 0^m,003, 0^m,004, 0^m,005 ; l'allongement 6 %, et les fils doivent supporter 8, 5, 4 et 3 pliages consécutifs sans rupture.

Cuivre. — MM. Mouchel, Lazare Weiller et la Société des Forges de Saint-Denis exposaient leurs produits ; l'administration française accepte des résistances de 40 à 42 kilogrammes par millimètre carré et admet une résistance de 21.4 ohms à zéro par kilomètre pour le fil de 0^m,001 de diamètre ; mais ces fabricants produisent aussi du cuivre supérieur ; tel est, par exemple, celui de M. Mouchel, dont le cuivre pur aurait une résistance de 19.43 ohms par kilomètre à zéro, une résistance à la rupture de 22.5 kilogrammes et 35 à 38 % d'allongement.

Sous le nom de *bronze siliceux*, M. Lazare Weiller produit des conducteurs dont la conductibilité et la résistance mécanique varient dans des limites très étendues ; ainsi, un fil de 11/10 de millimètre, dont la longueur était de 1 770 mètres, avait une résistance de 39.5 ohms, soit une conductibilité de 43 % de celle du cuivre et une résistance mécanique de 76 kilogrammes par millimètre carré, tandis qu'un autre échantillon de bronze siliceux a une conductibilité de 1021 % et une résistance à la rupture de 41 kilogrammes.

Les bronzes chromés de M. Mouchel peuvent avoir aussi une grande conductibilité (98.5 %) avec une charge de rupture de 45 kilogrammes, ou une conductibilité moindre (35 %) et une plus grande tenacité (75 kilogrammes).

Le même fabricant a étudié les alliages de cuivre et de magnésium et leur assigne des conductibilités de 95 à 51 %, avec des résistances mécaniques de 51 à 95 kilogrammes par mètre ; un alliage de cuivre et de tellure au millième

possède une conductibilité voisine de celle du cuivre pur et une charge de rupture de 41 kilogrammes.

L'étude des modifications que de très petites quantités de métaux étrangers alliés au cuivre produisent dans ses propriétés électriques et mécaniques remonte déjà assez loin. M. Montefiore Lévi en a été l'initiateur, et le bronze phosphoreux qu'il fabrique dans ses usines de Belgique est employé concurremment aux bronzes dont il vient d'être parlé pour les lignes aériennes, où la résistance à la rupture doit être prise en considération autant que la conductibilité.

Pour obtenir ces qualités, on avait déjà employé des fils où le cuivre et l'acier étaient associés, mais sans réussir à produire entre les deux métaux une adhérence suffisante.

Les fils Martin, en cuivre rouge à âme d'acier, sont très supérieurs aux fils bimétalliques obtenus jusqu'ici.

Voici les résultats d'expériences faites sur deux types.

M. Mouchel fabrique également des alliages de très grande résistance électrique, tels que le cuivre arsénier; un échantillon de fil d'un demi-millimètre de diamètre possède une résistance de 2,235 ohms par kilomètre, avec un coefficient de température de 0,0258 par 100°: ce métal peut se travailler en fil très fin; son exposition renfermait des fils de 17 millièmes de millimètre.

Les câbles souterrains employés par l'Administration française des postes et télégraphes sont fabriqués par la Société Générale des téléphones, M. Menier, et l'India Rubber gutta percha and telegraph works C°, dans ses usines de Persan-Beaumont. Les câbles télégraphiques sont formés de 3, 5, 7 ou 14 conducteurs câblés ensemble, recouverts d'un guipage de coton tanné, puis d'un guipage de jute tanné, d'un ruban de coton goudronné et d'un ruban de coton tanné. Ces câbles sont posés dans des tuyaux de fonte en tranchée, ou exceptionnellement posés sur le sol de la tranchée; on les recouvre alors d'une armature en fil de fer. Les câbles posés en égout sont recouverts de plomb, au lieu du coton ou du jute tannés. Les conducteurs sont formés de 7 fils de cuivre de 0^m,0005 à 0^m,0007 de diamètre, câblés et recouverts de deux couches de gutta alternant avec deux couches de composition Chatterton, ce qui donne à chaque conducteur un diamètre de 0^m,0035 à 0^m,005. L'isolation est de 600 mégohms à 24° centigrades et la capacité de un quart à un tiers de microfarad.

Les câbles téléphoniques souterrains de la Société des téléphones sont isolés à la gutta ou au caoutchouc, quand ils peuvent être en contact avec des eaux chaudes, guipés de coton de couleurs variées et, enfin, mis sous plomb de 0^m,0015 d'épaisseur; pour les paquebots, l'isolant est du caoutchouc vulcanisé, les câbles sont protégés par une armature en fils de cuivre, tandis que la téléphonie militaire emploie du caoutchouc pur, protégé par un guipage imprégné d'une composition isolante.

La même Société exposait quelques conducteurs isolés par des filins et des

rubans enduits, pour les distributions à basse tension dans les endroits humides et chauds; le câble est recouvert de caoutchouc, d'un ruban caoutchouté, d'une tresse et d'un enduit protecteur; le fil de retour du voltmètre, pour les distributions par alimentateurs, est maintenu par un guipage de filin imprégné d'asphalte; des câbles où le conducteur est protégé par une épaisseur de caoutchouc atteignant 0^m,01 (distribution Popp, par machines Thomson Houston), et enfin, un câble concentrique (section du cuivre : 50 millimètres carrés); diamètre total: 0^m,042 pour courants alternatifs à 2 000 volts.

M. Mouchel fabrique un câble aérien à deux conducteurs concentriques pour téléphone, imaginé par M. Sieur: c'est un fil métallique recouvert d'une tresse isolante, et enfermé dans un tube métallique obtenu en passant à la filière ce conducteur préalablement entouré d'un ruban de bronze.

Les câbles souterrains employés à l'éclairage sont, en Amérique, souvent enfermés dans des tuyaux de fonte, débouchant dans des trous d'homme, à fermeture hermétique, où se font les branchements.

La Compagnie américaine Edison avait exposé tous les détails de sa canalisation; les conducteurs sont des tiges cylindriques de cuivre nu, placées dans un tuyau en fer et séparées par des cordes en chanvre; quand une section est posée, on coule dans les tuyaux une composition isolante, formée de bitume et d'huiles lourdes, qui reste visqueuse à la température ordinaire.

L'Electrical Subway C° creuse des tranchées qu'on remplit de béton dans lequel on ménage pendant le remplissage de longs tubes horizontaux et où on introduit les câbles après prise du ciment.

L'Indurated fibre C° exposait des conduites en bois préparé et durci; le bois est privé de sa sève et injecté de liquide isolant. D'après les indications fournies par la Compagnie, ces conduites, parfaitement étanches, ne seraient altérées ni par l'eau, ni par les acides, ni par la chaleur et seraient très économiques; le jury n'a pu se procurer aucun renseignement sur leur durée.

Les jonctions des fils sont, pour les conducteurs de petites dimensions, faites sans soudure par torsion simple ou ligature; dans la section américaine étaient exposés deux procédés pour améliorer les contacts ainsi obtenus; procédé M'intire; les extrémités des fils à réunir sont introduites dans deux petits tubes de cuivre mince, préalablement soudés entre eux et l'ensemble est tordu; procédé C. Hering, dit *vice group coupling*; une plaque de cuivre de 0^m,001 environ d'épaisseur est repliée sur elle-même de manière à former aussi deux tubes sur chacun de ses bords; les bouts à réunir sont introduits dans ces tubes et le tout plié dans un étau à main de manière à appliquer ces tubes l'un contre l'autre; les deux fils sont alors fortement serrés contre les parois de ces tubes. (Exposé par Electrical supply C°.)

MM. Gaiffe, Houry et Aboilard fabriquent également à la filière de diamant des fils très fins en alliage de haute résistance.

Les conducteurs nus ne sont employés, en général, que pour les lignes aériennes ; cependant M. Crompton, à Londres, et quelques sociétés, à Paris, emploient des câbles en cuivre nu, placés sur isolateurs en porcelaine dans des caniveaux en ciment, pour la distribution.

En général les conducteurs recouverts sont préférés. L'importance et la nature du recouvrement varient, suivant l'usage auquel ils sont destinés, depuis un simple guipage en coton et en soie, pour la sonnerie ou les lampes à incandescence à basse tension, jusqu'aux enveloppes épaisses de gutta ou de caoutchouc renfermées dans un tube en plomb, protégé lui-même par une armature en fer contre les actions mécaniques. L'India Rubber gutta-percha and telegraph works Company (Silvertown et Persan), en Angleterre et en France ; John Fowler, de Leeds ; Henley, d'Angleterre ; les Sociétés Paterson, Okonite et Cobb, aux Etats-Unis ; MM. Menier ; la Société des téléphones (usines Rattier), sont les maisons les plus puissamment organisées pour la fabrication des gros câbles à haut isolement, dont les produits étaient exposés. MM. Grellou, Martiny et Geffroy fabriquent plus spécialement des câbles à lumières.

Le caoutchouc pur est ordinairement appliqué à froid sur le conducteur par le procédé Siemens : deux rubans de caoutchouc sont disposés longitudinalement de chaque côté du fil ; les bords coupés par des poulies à gorge, sont rapprochés en passant entre deux cylindres et se soudent ; MM. Grellou appliquent le caoutchouc ramolli à chaud (100° environ) par passage à la filière.

L'Okonite C° recouvre le fil d'une mince couche d'ébonite ; elle emploie comme isolant dans ses câbles souterrains un produit obtenu par l'action d'hydrocarbures naturels sur le caoutchouc.

Le procédé Cobb fournit des câbles sous plomb où le seul diélectrique est de l'ébonite ; ces câbles auraient jusqu'à 30 000 mégohms de résistance d'isolement par kilomètre, d'après M. Hering. Un mélange de caoutchouc et de soufre est préparé en forme de tube mou qui est recouvert ensuite de plomb à la filière ; pendant ce passage à la filière, le tube est rempli d'air comprimé à une pression suffisante pour maintenir sa forme ; la température doit être inférieure à celle où le soufre et le caoutchouc réagissent ; le tube entouré de plomb est ensuite chauffé sous pression intérieure, jusqu'à la température nécessaire pour que la réaction ait lieu ; on le laisse refroidir et le conducteur en cuivre est ensuite introduit dans le tube d'ébonite. Ces tubes ont des longueurs de 80 à 100 mètres correspondant à la distance maximum des trous d'homme dans les canalisations américaines.

Le câble Paterson est employé par la Western Union C°, aux États-Unis ; les différents conducteurs téléphoniques sont entourés de coton paraffiné et placés dans des tuyaux en plomb.

L'isolant des câbles Tatham, fabriqués par J. Fowler, de Leeds, est du coton séché traité par des hydrocarbures et mis sous plomb ; cet isolant suffirait pour

donner un isolement de 2 000 mégohms par mille ou 3 000 mégohms par kilomètre sous une épaisseur de trois quarts de millimètre; des câbles téléphoniques à 64 conducteurs ont été posés dans la baie de Delaware, en 1886, et se sont comportés depuis lors. Ces qualités se conservent avec le temps. Un câble sous plomb, simplement posé en terre en novembre 1886, aurait eu, en avril 1887 une capacité de 0,230 microfarad et une résistance de 15 000 mégohms par mille, et un an après une capacité de 0,233, une résistance de 20 000; enfin, dans des essais faits récemment avec des courants alternatifs, un câble de 0^m,006 d'isolant aurait résisté à des tensions de 10 000 volts.

Dans les câbles télégraphiques sous-marins de M. Henley, le cuivre, d'abord recouvert de caoutchouc pur, puis de compositions isolantes dites *séparateur*, est enfin recouvert d'ozokérite pure et enveloppé d'une couche de feutre imbibée de la même matière.

Les câbles Fortin-Hermann sont composés de fil de cuivre, passant dans des olives en bois paraffiné, formant un chapelet; le tout est enfermé dans un tube en plomb; l'isolement (1 500 à 10 000 mégohms par kilomètre) et surtout la très faible capacité de ces câbles (0,04) microfarad par kilomètre) les rendent éminemment propres aux transmissions téléphoniques.

Les grandes maisons anglaises qui ont eu jusqu'ici le monopole de la construction des câbles sous-marins n'avaient pas exposé leurs produits. Les échantillons de M. Henley, un échantillon d'un câble de M. Menier, posé en 1877 entre le Havre et Honfleur; un autre du câble des Antilles, de la Société des Téléphones, auraient seuls représenté cette importante industrie, si l'Administration française n'avait exposé un modèle des machines employées dans ses ateliers de la Seyne pour le recouvrement des âmes de câble par deux couches de jute, l'armature de fer et trois couches alternées de toile goudronnée et de composition bitumineuse.

La même Administration exposait une photographie d'un navire employé par elle à la réparation des câbles et à la pose des câbles côtiers.

La Commercial cable C° exposait aussi le modèle du *Mackay-Bennett*, navire qu'elle emploie à la réparation de ses câbles sous-marins.

Les supports des lignes aériennes se font en bois ou en fer pour les réseaux téléphoniques aériens dans les villes. M. Berthot emploie des herses posées sur les toits comme des selles, sans attache avec la charpente des édifices, et maintenues par des haubans et les fils téléphoniques eux-mêmes.

M. Lazare Weiller et la Société de Fives-Lille ont proposé des poteaux en fer; M. Bourtard exposait un potelet en fer cornière; un des côtés est percé de trous pour recevoir les tiges de scellement, l'autre a des trous destinés à recevoir les consoles des isolateurs.

M. André emploie pour les fils téléphoniques des herses composées d'une hampe formée de deux fers en U entre lesquels on place les traverses horizontales et des tourelles de concentration de même système.

M. Beau a exposé une sourdine dont l'action est très efficace. Le fil de ligne est recouvert de chanvre et placé dans un tube en caoutchouc; le tout est placé dans un tube en plomb et réuni à l'isolateur par un collier de caoutchouc également recouvert de plomb.

POTIER

Nous donnons dans l'Atlas les planches représentant les diverses stations centrales d'électricité installées à l'Exposition.

Des légendes explicatives indiquent suffisamment les dispositions de ces stations centrales.

Les appareils employés sont ceux qui viennent d'être décrits dans l'article précédent.

TABLE DES MATIÈRES

8^{me} partie.

ÉLECTRICITÉ & APPLICATIONS

Les piles électriques à l'Exposition Universelle de 1889.

par A. WITZ.

	Pages
Préliminaires.	3
Piles hydro-électriques.	5
Piles types.	5
Couples et procédés divers.	5
Piles à circulation.	5
Piles thermo-électriques.	5
<i>Piles types.</i>	6
Pile Radiguet.	6
Pile Tommasi et Radiguet.	7
Pile Buzin.	8
Pile Crosse.	8
Pile Renard.	8
Pile Aron.	9
Pile Pillet.	9
Pile Leclanché.	10
Pile Warnon.	11
Pile Maiche.	11
Pile de Lalande et Chaperon.	12
Pile Perreux-Lloyd et fils.	14
Pile Bablon.	15
Pile Serrin.	15
Couples et procédés divers.	15
<i>Piles à circulation.</i>	16
Pile O'Keenann.	16
Voltagène Paillard.	17
Pile Gendron.	18
Pile Lagarde.	18
Pile Arnould.	19
Pile de Marc et de Besnier.	19
Pile Sappey.	20
Pile Kornfeld.	21

	Pages
<i>Piles thermo-électriques.</i>	21
Pile Clamond-Carpentier.	21
Pile Chaudron.	22

Les accumulateurs électriques à l'Exposition de 1889,
par A. WITZ.

Théorie des accumulateurs	24
<i>Accumulateurs du genre Planté.</i>	26
Accumulateur Planté.	26
Accumulateur Reynier.	27
Accumulateur Simmen.	27
Accumulateur Dujardin.	28
Accumulateur Lejeune.	28
Accumulateur de la Société du travail électrique des métaux.	28
Accumulateur Garassino.	29
<i>Accumulateurs du genre Faure.</i>	29
Accumulateur Philippart.	29
Accumulateur Gadot.	31
Accumulateur de la Société anonyme l'Électrique (brevet Julien).	31
Accumulateur des ateliers d'Oerlikon (brevet Schoop).	32
Accumulateur de Khotinski,	32
Interrupteur automatique des chantiers de la Buire (brevet Sobenrieth).	33
Conclusion.	34

La traction électrique et la traction animale des tramways,
par PAUL GADOT.

Avant propos.	37
Préliminaires.	38
CHAPITRE I ^{er}	
Voiture automobile électrique.	41
Traction d'une voiture automobile avec un seul groupe d'accumulateur par jour.	42
Traction d'une voiture automobile avec deux groupes par jour, faisant chacun 50 kilomètres.	43
Traction d'une voiture automobile avec trois groupes par jour, faisant chacun environ 33.333 kilomètres.	43
Avec quatre groupes d'accumulateurs par jour, faisant chacun 25 kilomètres.	43
Avec cinq groupes d'accumulateurs par jour, faisant chacun 20 kilomètres.	43
Avec sept groupes faisant chacun 14.286 kilomètres.	44
Avec 10 groupes faisant chacun 10 kilomètres.	44
Traction avec un groupe.	45

	Pages
<i>Avec deux groupes d'accumulateurs, faisant faire chacun 50 kilomètres à la voiture automobile.</i>	45
Nombre de voitures.	45
Poids d'accumulateurs.	45
Charge électrique des accumulateurs.	46
Dépenses diverses.	47
Récapitulation des dépenses annuelles,	49
<i>Avec trois groupes d'accumulateurs, faisant faire chacun 33.333 kilomètres à la voiture automobile.</i>	49
Nombre de voitures.	50
Poids d'accumulateurs.	50
Charge électrique des accumulateurs.	50
Prix de revient.	51
Récapitulation des dépenses annuelles.	52
<i>Traction avec quatre groupes par voiture et par jour</i>	52
Nombre de voitures	52
Poids d'accumulateurs.	53
Charge électrique des accumulateurs.	53
Frais de traction.	54
Récapitulation des dépenses annuelles.	55
<i>Traction avec cinq groupes par voiture et par jour.</i>	56
Nombre de voitures.	56
Poids d'accumulateurs.	56
Charge électrique des accumulateurs.	57
Frais de traction.	57
Récapitulation des dépenses relatives à la traction pure.	59
Observation sur le débit des plaques.	60
Conclusions sur la voiture automobile.	62
CHAPITRE II.	
<i>Locomotive électrique.</i>	63
Considérations générales.	63
Locomotive faisant 100 kilomètres quotidiens avec le même groupe d'accumulateurs.	66
Avec deux groupes d'accumulateurs, faisant chacun 50 kilomètres.	67
Avec trois groupes d'accumulateurs par voiture.	67
Avec quatre groupes.	68
Poids d'accumulateurs de chaque groupe.	69
Prix de revient de la traction d'une voiture par kilomètre.	69
Avec un seul groupe.	69
Avec deux groupes d'accumulateurs, faisant chacun 50 kilomètres.	69
Nombre de voitures.	69
Nombre de locomotives.	69
Poids d'accumulateurs.	69
Charge électrique des accumulateurs.	69
Prix de revient de la voiture-kilomètre.	70
Récapitulation des dépenses annuelles.	73

	Pages
Pour les autres cas, avec plus de deux groupes par voiture et par jour.	74
Prix de revient.	74
Conclusions sur la locomotive électrique.	75
CHAPITRE III.	
<i>Disposition électrique à chariot séparé, système Paul Gadot.</i>	75
Conditions générales.	76
Travail des accumulateurs.	76
Avec un seul groupe d'accumulateurs, servant à faire les 100 kilomètres de la journée.	76
Avec deux groupes, faisant chacun 50 kilomètres.	76
Avec trois groupes, faisant chacun 33.333 kilomètres.	77
Tableau du chariot et des accumulateurs.	79
Prix de revient de la traction d'une voiture par kilomètre.	80
Avec un seul groupe, faisant les 100 kilomètres quotidiens.	80
Avec deux groupes, faisant chacun 50 kilomètres.	80
Nombre de voitures.	80
Poids d'accumulateurs.	80
Charge électrique des accumulateurs.	80
Prix de revient de la traction pure.	81
Récapitulation des dépenses annuelles relatives à la traction pure des cars.	84
Avec trois groupes par voiture et par jour, faisant chacun 33.333 kilomètres	85
Nombre de voitures.	85
Nombre de chariots ou de groupes.	85
Poids d'accumulateurs.	85
Charge électrique des accumulateurs.	86
Prix de revient des frais de traction pure.	86
Récapitulation des dépenses annuelles, etc.	87
Traction avec quatre groupes, par voiture et par jour.	88
Nombre de voitures.	88
Nombre de chariots et de groupes.	89
Poids d'accumulateurs.	89
Correspondant à un poids de plaques de.	89
Charge électrique des accumulateurs.	89
Prix de revient des frais de traction pure.	89
Récapitulation des dépenses annuelles.	91
Observations sur le débit des plaques.	92
Conclusions sur le dispositif à chariot.	93
CHAPITRE IV.	
<i>Traction animale.</i>	95
Traction animale des tramways de Paris pendant l'année 1883.	96
Dépenses par journée de cheval.	96

	Pages	
Traction animale des tramways de Paris pendant l'année 1884.	98	
»	1885.	99
»	1886.	101
»	1887.	103
»	1888.	104
Conclusions sur la traction animale des tramways à Paris.	106	
CHAPITRE V.		
<i>Conclusions générales.</i>	108	
Appendice.	114	
L'électricité industrielle à l'Exposition universelle de 1889,		
par M. POTIER.		
Préliminaires.	117	
<i>Machines dynamos.</i>	119	
Machines à courant continu.	119	
<i>Induits.</i>	120	
Machine Jaspar.	121	
Dynamo gramme construite par la maison Bréguet.	122	
Machine Thury construite par la maison Cuénod Sautter.	123	
Machine Desroziers construite par la maison Bréguet.	126	
Machine Cuénod Sautter.	128	
<i>Inducteurs.</i>	128	
Machine Cuénod Sautter.	129	
Machine de la Compagnie Edison.	130	
» » »	131	
Machine Bréguet.	132	
» »	133	
Dynamo mulipolaire de la maison Jaspar.	134	
Machine Thomson.	135	
Machine Thurey de la maison Cuénod Sautter.	136	
<i>Poids et pertes.</i>	140	
Tableau des résultats.	142	
Ateliers d'Erlikon.	144	
Maison Bréguet.	144	
Crompton et C ^{ie} ,	144	
Société d'éclairage électrique.	144	
Cuénod Sautter et C ^{ie} .	144	
Société alsacienne de construction.	145	
Compagnie française Edison.	145	
Avec une excitation plus forte que la normale.	145	
Compagnie française Edison.	145	
Excitation plus faible	145	
» »	145	

	Pages
<i>Machines à courant redressé.</i>	147
Dynamo Thomson-Houston.	147
Transformateurs à courant continu.	149
<i>Machines à courants alternatifs.</i>	149
Transformateur de la Compagnie d'éclairage électrique.	150
Machine Gramme à courants alternatifs de la Société d'éclairage électrique.	151
Appareils du professeur Elihu Thomson.	153
Machine génératrice.	153
Expériences diverses.	153
Régulateur d'intensité.	154
Moteur.	155
<i>Description de quelques machines.</i>	156
Dynamo construite dans les ateliers d'Œrlikon.	157
" " "	158
Machine Rechniewski construite par la Société de l'éclairage électrique.	160
<i>Accessoires et Appareils de sûreté.</i>	162
Interrupteurs.	162
Plombs fusibles.	164
Interrupteurs automatiques.	165
Paratounerres.	166
Accouplements.	167
Accouplement du moteur et d'une dynamo Thury employé par la maison Cuénod Sautter.	167
Accouplement du moteur et d'une dynamo Desroziers employé par la maison Bréguet.	169
<i>Appareils de mesure.</i>	170
Boussole d'intensité Fournier.	170
Galvanomètre Thomson.	171
Voltmètre Bréguet.	172
Appareils à aimant permanent.	173
Appareils à cadre mobile.	173
Appareils sans aimant permanent.	174
Ampèremètre et voltmètre Hummel horizontal	174
Electromètre capillaire de M. Lippmann.	175
Appareils sans fer.	177
Galvanomètre à mercure de M. Lippmann.	178
Mesure des champs magnétiques.	179
<i>Réglage des Machines.</i>	180
Considérations générales.	180
Dynamo Parsons	180
Système Marcel Deprez.	181
Beau et Bertrand, Taillet.	182
Société Suisse de construction de locomotives, à Winterthur.	183
Régulateurs de M. Thury.	184
Régulateur Henrion.	184

	Pages
Régulateur Dujardin.	185
Machine Sperry.	185
Machine à courants alternatifs de M. Heisler.	186
Réglage à la main Edison.	186
<i>Éclairage.</i>	
<i>Lampes à arc et à incandescence.</i>	187
Lampes à arc.	187
Lampes électro unique.	189
Lampe Cance.	189
Lampe CErlikon.	190
Lampe A. Gérard.	191
Lampes Bardon.	191
Lampe Perrin et Masson.	191
Lampe Felter et Archat.	191
Lampe de MM. Beau et Bertrand.	191
Régulateur Mondos.	192
Lampe de M. Alioth.	192
Lampe de la Société Suisse de construction de locomotives de Winterthur.	193
Lampe différentielle Crompton-Crabb.	193
<i>Lampes avec électro d'allumage et électro de réglage distincts.</i>	194
Lampe Gramme.	194
Lampe de M. Jaspar.	195
Lampe Borssat.	195
Lampe Chauvet-Alliamet.	196
Lampe Thomson Rice.	196
Lampe Dulait.	197
Lampes à moteur et à action intermittente.	198
Lampes à moteur électrique et à action continue.	200
Lampe Bréguet.	201
Lampe Pilsen.	202
Lampe Doubrava.	202
Suspension des lampes.	203
Charbons.	204
Bougie Jablochkoff.	204
Lampes à incandescence dans l'air.	205
Lampes à incandescence dans le vide.	207
<i>Procédés de distribution.</i>	210
Distribution à courant constant.	211
» à potentiel constant.	212
» avec accumulateurs.	215
Onduleur Solignac.	219
<i>Compteurs.</i>	220
Compteur de temps.	220
» chimique.	220
» Aron.	221

	Pages
Compteur Elihu Thomson.	221
» à moteur Desroziers.	222
<i>Compteurs à totaliseur.</i>	223
Compteur Frager. — Élévation.	226
» » Plan.	227
<i>Compteur Brillé.</i>	228
<i>Application mécanique.</i>	230
Ascension Chrétien.	230
Chemin de fer du Nord.	231
Société pour la transmission de la force.	231
Marteau-pilon,	231
Cabestan.	232
Riveuse.	232
Treuil et grue.	232
Ponts roulants.	233
Haveuse.	234
Tramways.	234
Ensemble de l'installation d'un tramway électrique (système Thomson-Houston).	235
Plan du truck moteur des tramways électriques (système Thomson-Houston).	235
Truck-moteur des tramways électriques (système Thomson-Houston).	236
<i>Dépôts électrolytiques. — Soudures. — Explosieurs. — Trieuses.</i>	238
Dépôts électrolytiques.	238
Considérations générales.	238
Soudure électrique.	240
Explosieurs.	241
Trieuses magnétiques.	242
<i>Transmission des signaux et de la parole.</i>	243
Données générales.	243
<i>Télégraphie.</i>	247
Récepteur Morse construit par la maison Bréguet.	248
Parleurs.	249
Considérations générales.	249
Relais.	252
» Maudroux.	252
» Baudot.	252
» Willot.	252
» Brown-Allan.	253
Electro-motographe Edison.	253
Relais à charbon d'Edison.	254
Appareil Wheatstone.	254
» automatique universel de M. Meyer.	254
» Nault. — Perforation préalable et appareil Hughes.	255
» imprimeur automatique.	256

	Pages
Appareil Hughes, construit par la maison Bréguet.	256
» multiples.	258
Transmissions simultanées. — Appareils Edison.	261
» dans les deux sens.	262
Phonopores.	263
Première méthode.	264
Deuxième méthode.	264
Troisième méthode.	264
Appareils autographiques.	264
Transmission sur les câbles sous-marins.	265
Manipulateur de l'Eastern et Cie.	267
Rappels.	267
Sténo-télégraphie.	269
Sténotélégraphe Cassagne.	270
Dispositions particulières aux grands bureaux.	272
Téléphones, modèle Bréguet.	273
Microphones.	275
Transmetteur Maiche.	275
» Bréguet.	275
» Van Risselberghe.	275
» Maudroux et Pecquet.	275
» Lagache.	276
» de Jongh.	276
» Sieur.	276
» Ardank.	276
» d'Argenson et Paul Bert.	276
Microphones à poudres.	276
» Mildé.	276
» Hipp.	276
» M. Hutinet.	277
» M. Berthon.	277
» à contact métallique.	277
Appels.	277
Annonciateurs,	278
Bureaux centraux,	279
Données générales.	279
Phonosignal.	284
Graphophone.	285
Phonographe.	286
Manœuvres des signaux-cloches.	286
Disques.	288
Appareils de contrôle.	290
Contrôleur électrique d'aiguille Chaperon.	290
Pédales. — Contrôle des trains en marche.	291
Système Metzger, Chemins de fer de l'Etat.	293
Appareils de correspondance.	295
Block-System.	295

	Pages
Enclenchements électriques.	296
Horloges électriques.	300
Sonnerie à distance	302
Remise à l'heure.	302
Synchronisation ou distribution de l'heure.	303
Avertisseurs d'incendie, transmetteurs d'ordre	304
» de température.	306
» pour coffre-fort.	306
Appareils enregistreurs à distance.	307
Enregistreur à distance de niveau, système Parenthou.	309
" " système Parenthou, récepteur-enregistreur.	309
Machine à voter.	311
Allumeurs.	311
Inventions diverses de l'exposition Edison.	312
XII. — <i>Conducteurs.</i>	313
Fer.	313
Cuivre.	313

INDEX ALPHABÉTIQUE

A

	Pages		Pages
Alioth.	192	Argenson (d')	276
Allianet.	196	Arnould.	49
Archat.	191	Aron.	9-221
Ardouk.	276		

B

Bablon	15	Besmer.	49
Bardon.	191	Bobenrieth.	33
Baudot.	252	Borssat.	195
Bazin.	8	Bréguet.	122-127-132-144-169-172
Beau.	182-191		201-218-256-273-275
Bert (Paul).	276	Brillé.	223
Bertrand.	182-191	Brown-Allan.	253
Berthon.	227		

C

Cance.	189	Chrétien.	23
Carpentier.	21	Clamard.	21
Cassagne.	270	Crompton.	141-193
Chaperon.	12-290	Crosse.	8
Chaudron.	22	Cuénod-Sautter.	123-128-139-136-144-167
Chauvet.	196		

D

Desprez.	181	Dujardin.	28-18
Desroziers.	126-169-222	Dulait.	197
Doubrava.	202		

E

Eastern.	26 ⁷	Edison.	130-131-145-186-253-261-312
Eclairage électrique (Société).	141-150-16		

F

Faure.	29	Fournier.	170
Felter.	191	Frager.	262

G

Gadot.	31-37-75	Gérard.	191-194
Garassino.	29	Gramme.	122-151
Gendron.	18		

H

Heisler.	186	Huston.	147-235
Henrion.	184	Hughes.	255-256
Hipp.	276	Hummel.	174

J

Jablochkoff.	204	Jongh (de).	276
Jaspar.	121-134-195	Julien.	31

K

Khotinski.	32	Kornfeld.	21
------------	----	-----------	----

L

Lagache.	276	Lejeune.	28
Lalande.	42	Lippmann.	175-178
Lagarde.	18	Lloyd.	14
Leclanché.	10		

M

Maiche.	11, 275	Meyer.	254
Mandroux.	252, 275	Mildé.	276
Mare.	19	Mondos.	192
Masson.	191	Morse.	248
Metzger.	293		

N

Nault.	255	|	
--------	-----	--	--

O

Oerlikon.	32, 144, 157, 190	|	O'Keenann.	16
-----------	-------------------	--	------------	----

P

Paillard.	17	Philippart.	29
Parenthou.	309	Pillet.	9
Parsoas.	180	Pilsen.	202
Pecquet.	275	Planté.	29
Perreur.	14	Potier.	117
Perrin.	191		

R

Radiguet.	6	|	Renard.	8
Rechniewski.	10	|	Reynier.	27

S

Sappey.	20	Simmen.	27
Schoop.	32	Solignac.	219
Serrin.	15	Sperry.	185
Sieur.	276		

T

Taillet.	182	|	Thomson Rice.	196
Thomson.	135, 147, 171, 25	|	Thury.	123, 136, 167, 184
Elihu Thomson.	153, 225	|	Tommasi.	7

V

Van Resselberghe.	275	|	
-------------------	-----	--	--

W

Warnon.	11	|	Willot.	252
Wheatstone.	251	|	Witz.	3, 24

