

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

Auteur : Hospitalier, E.

Titre du volume : L'Électricité à l'Exposition de 1900. 4. Transformation de l'énergie électrique

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

Description : 1 vol. (93 p.) ; 32 cm

Adresse : Paris : Vve Ch. Dunod, 1901

Cote de l'exemplaire : 4 XAE 68.4

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

L'Électricité à l'Exposition de 1900

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

E. HOSPITALIER

Rédacteur en chef de *l'Industrie électrique*

J.-A. MONTPELLIER

Rédacteur en chef de *l'Électricien*

AVEC LA COLLABORATION

D'INGÉNIEURS ET D'INDUSTRIELS ÉLECTRICIENS

4^e FASCICULE

TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

I. — TRANSFORMATEURS INSTANTANÉS OU IMMÉDIATS, PAR E. HOSPITALIER

II. — TRANSFORMATEURS DIFFÉRÉS OU ACCUMULATEURS, PAR A. BAINVILLE

PARIS

V^{re} CH. DUNOD, ÉDITEUR

49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 49

TÉLÉPHONE 147-92

—
1901

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'ÉLECTRICITÉ

A

L'EXPOSITION DE 1900

QUATRIÈME PARTIE

TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Les appareils servant à transformer l'énergie électrique forment deux groupes distincts, suivant que l'utilisation de l'énergie électrique transformée est *immédiate* ou *différée*.

Le premier groupe comprend donc les TRANSFORMATEURS INSTANTANÉS OU IMMÉDIATS, auxquels on donne, plus spécialement, le nom général de transformateurs.

Le second groupe comprend les TRANSFORMATEURS DIFFÉRÉS OU ACCUMULATEURS.

C'est aussi parmi les transformateurs différés que devraient figurer les CONDENSATEURS ÉLECTROSTATIQUES, car ils emmagasinent l'énergie électrique et permettent de l'utiliser ultérieurement, mais ils n'ont pas encore reçu d'applications industrielles comme accumulateurs d'énergie, à cause de leur faible capacité, de leur prix élevé, et de la forme très variable sous laquelle se font l'emmagasinement et la restitution de l'énergie. Nous ne les mentionnons ici que pour mémoire.

I

TRANSFORMATEURS INSTANTANÉS OU IMMÉDIATS

La puissance électrique fournie par un générateur à un appareil d'utilisation est caractérisée par la *forme* du courant et les *facteurs* qui constituent cette puissance : force électromotrice et intensité.

Lorsque l'appareil de transformation ne modifie que les facteurs de la circulation électrique sans en changer sensiblement la forme, le transformateur est dit *homomorphique*.

Lorsque la transformation porte à la fois sur les facteurs de la puissance et sur la forme du courant, le transformateur est dit *hétéromorphique*.

Certains dispositifs, dont le développement industriel est encore insuffisant pour exiger une classification spéciale, seront examinés sous le titre de *transformateurs divers*.

Pour faciliter l'étude de ces nombreux appareils, nous les classerons dans l'ordre suivant :

TRANSFORMATEURS HOMOMORPHIQUES

Courant continu en courant continu :

Transformateurs indirects : Moteurs-générateurs ; — Survolteurs ; — Dévolteurs ;
— Régulatrices ; — Compensatrices.
Transformateurs directs.

Courants alternatifs simples en courants alternatifs simples ;

Courants alternatifs polyphasés en courants alternatifs polyphasés.

TRANSFORMATEURS HÉTÉROMORPHIQUES

Courant continu en courants alternatifs dissymétriques :

Bobines d'induction.

Courants alternatifs en courant continu :

Indirects : Moteurs-générateurs ;

Directs : Redresseurs ;

Permutatrices ;

Commutatrices ou convertisseurs.

TRANSFORMATEURS DIVERS

Déphaseurs ;

Polyphaseurs ;

Transformateurs de fréquence ;

Transformateurs de haute fréquence.

TRANSFORMATEURS HOMOMORPHIQUES

COURANT CONTINU EN COURANT CONTINU

Les transformateurs de courant continu recevant de la puissance électrique à haute tension et faible intensité et la restituant — au rendement près — à basse tension et grande intensité, ont reçu un certain nombre d'applications de 1886 à 1891. L'invention de courants alternatifs polyphasés qui permettent d'effectuer la transformation d'une façon plus simple, plus économique et plus sûre, ont arrêté le développement de ces appareils dont aucun type ne figurait à l'Exposition de 1900.

Le seul exemple de ce genre de transformation que l'on puisse signaler est le *Système de distribution en série* de M. Thury, exposé par la Compagnie *l'Industrie électrique*, de Genève, dans lequel un courant continu à intensité constante et de haute tension est transformé, par des moteurs-générateurs, en courant continu à basse tension et à potentiel constant. Nous en parlerons en détail dans le fascicule consacré à la distribution de l'énergie électrique.

Mais, si l'emploi des transformateurs de ce groupe est limité lorsqu'il s'agit de transformer toute la puissance produite dans une installation, il est, au contraire, assez répandu, lorsqu'il s'agit de n'effectuer que la transformation d'une partie de cette puissance. Suivant les applications, les appareils sont des *survolteurs*, des *dévolteurs*, des *régulatrices* ou des *compensatrices*.

Survolteurs à courant continu. — Un survolteur est, en principe, une dynamo auxiliaire, destinée à augmenter ou à diminuer la tension d'un réseau électrique.

L'appareil exposé par la *Société alsacienne de Constructions mécaniques* a pour but de mettre automatiquement en charge ou en décharge la batterie d'accumulateurs d'un réseau de tramways. Lorsqu'une batterie d'accumulateurs est installée en quantité avec les génératrices d'un réseau de tramways, elle ne se charge que lorsque la tension des génératrices augmente considérablement, et ne se décharge sur le réseau, pour venir en aide aux génératrices, que lorsque la tension de ces dernières s'abaisse d'une façon très sensible. Il en résulte des écarts de tension considérables à chaque variation de débit sur la ligne. Le survolteur automatique est destiné à éviter cet inconvénient en réglant la charge et la décharge de la batterie suivant l'intensité du courant de la ligne.

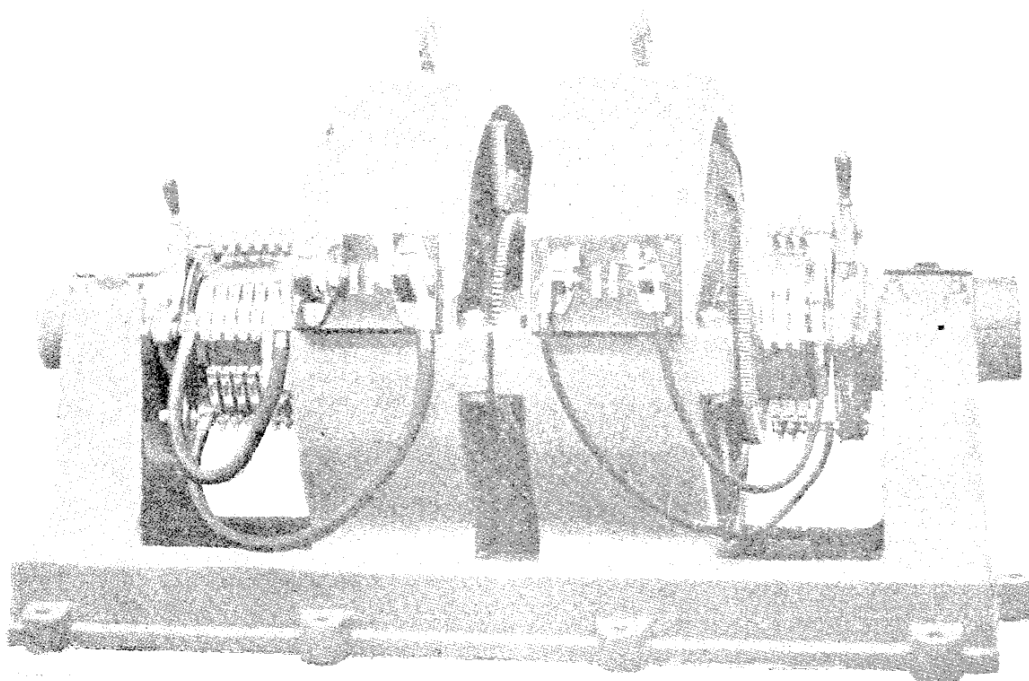


FIG. 1. — Survolteur-devolteur de la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

Il se compose (fig. 1) d'un moteur à 550 volts, alimenté par le réseau, et d'un générateur capable de survolter de 150 volts un courant de 150 à 200 ampères. La génératrice est munie de deux enroulements inducteurs : l'enroulement en dérivation est branché aux bornes de la batterie ; l'enroulement en série, enroulé en sens inverse du premier, est parcouru par le courant de la ligne.

Lorsque le débit de la ligne est nul, la génératrice, sous l'influence de l'excitation en dérivation, produit la tension nécessaire à la charge de la batterie, qui se trouve ainsi sous une tension de $550 + 150 = 700$ volts.

Lorsque, au contraire, il y a appel de courant sur la ligne, ce courant, en traversant l'enroulement en série, produit un champ démagnétisant qui diminue la tension E fournie par la génératrice. Pour une certaine valeur du courant de la ligne, la tension E s'annule, et la batterie se trouve ainsi mise en parallèle avec les génératrices de la station, à la tension normale de 550 volts, prête à se décharger sur la ligne, si le débit vient encore à augmenter.

Comme, d'une part, la charge de la batterie se fait d'elle-même lorsque le débit sur le réseau est nul, et que, d'autre part, cette batterie ne vient en aide aux génératrices de la station que lorsque l'appel de courant dépasse une certaine limite, les variations brusques du courant

sont évitées aux génératrices, et ces machines peuvent fonctionner d'une façon continue à une charge voisine de la pleine charge.

Le survolteur ainsi combiné permet donc d'améliorer les conditions de fonctionnement des génératrices de la station au point de vue de la consommation de combustible.

Survolteurs et dévolteurs. — Dans certaines installations, on n'a quelquefois à modifier que la tension du courant primaire. S'il s'agit de courants triphasés, cette opération s'effectue simplement à l'aide de transformateurs triphasés décrits plus loin.

S'il s'agit de courant continu, on se sert de dynamos accouplées directement ou par courroie, et fonctionnant l'une comme moteur, l'autre comme génératrice. Le moteur reçoit le courant primaire qu'il s'agit de transformer, et actionne la génératrice qui débite le courant secondaire.

On donne à ces appareils le nom de survolteurs ou de dévolteurs, suivant que la tension du courant à obtenir est supérieure ou inférieure à celle du courant qu'il s'agit de transformer.

Le plus souvent, les deux machines, réceptrice et génératrice, ont leurs induits calés sur le même arbre, et leurs socles fixés sur un bâti commun. Ce dispositif (*fig. 4*) a l'avantage de réduire au minimum les dimensions d'encombrement de l'appareil, grâce à la suppression des paliers intermédiaires.

Ces appareils sont employés principalement dans les grandes installations d'éclairage comportant des batteries d'accumulateurs et un système de distribution à trois ou à cinq fils; les survolteurs peuvent être branchés tantôt sur la batterie, pour en faciliter la charge, tantôt sur un pont du réseau de distribution pour élever la tension du courant, qui tenait à s'abaisser par suite d'une surcharge momentanée de ce pont.

Régulatrices ou compensatrices. — Dans les distributions par courant continu et à potentiel constant, à trois fils (deux fois 110 volts), ou à cinq fils (quatre fois 110 volts), les dynamos produisent *directement* la tension totale de 220 ou de 440 volts (plus les pertes en ligne), et il faut disposer d'un moyen permettant de fractionner cette différence de potentiel totale en parties égales, de la répartir sur plusieurs *ponts* sur lesquels se brancheront les appareils d'utilisation à 110 volts. Il faut que la mise en service à volonté de tous ces appareils, en nombre et en puissance variable à chaque instant sur chaque pont, ne modifie pas sensiblement la différence de potentiel fournie.

Pour obtenir ce résultat, on emploie le dispositif indiqué, dès 1888, par M. le professeur *Elihu Thomson*. Ce dispositif, que nous allons supposer appliqué à une distribution à trois fils (deux ponts de 110 volts), est constitué par deux dynamos shunt, dont les induits sont montés en tension entre eux, en dérivation sur les 220 volts et reliés mécaniquement. Les deux ponts sont constitués par les fils extrêmes et un troisième fil branché sur la connexion des deux balais. Les induits tournent à une certaine vitesse angulaire fonction de l'excitation, et, par raison de symétrie, le potentiel du fil intermédiaire est tel qu'il divise exactement en deux parties égales la tension entre les fils extrêmes. Il ne passe dans les induits que le faible courant nécessité par la marche à vide des deux dynamos. Il en est de même tant que les appareils d'utilisation sur les deux ponts absorbent des puissances égales. Mais l'un des ponts vient à être plus chargé que l'autre, la différence de potentiel sur l'un des ponts diminue légèrement, tandis qu'elle augmente d'autant sur l'autre pont. A ce moment, la dynamo du pont le moins chargé *reçoit* du courant et fonctionne en moteur, puisque sa force électromotrice est plus petite que la différence de potentiel qui lui est appliquée. La dynamo du pont le plus chargé *fournit* du courant et fonctionne en génératrice, puisque sa force électromotrice est plus grande que la différence de potentiel entre ses bornes. Cette action réciproque *compense* l'action perturbatrice et la réduit à une valeur pratiquement négligeable, surtout si les induits ont une très faible résistance intérieure. En dernière analyse, le compensateur rétablit l'égalité de

puissance dépensée sur les deux ponts à chaque instant, en *puisant* cette puissance sur le pont le moins chargé et en le *versant* sur le pont le plus chargé.

C'est, à la fois, un répartiteur de puissance, et — qu'on nous permette cette expression — un *coupeur de volts* en parties égales. Ce que nous avons dit pour les trois fils s'applique également aux cinq fils, et l'Exposition en offrait un exemple. La classe 25 avait besoin de courant à 110 volts obtenu en coupant en quatre, à l'aide d'une régulatrice constituée par quatre dynamos Gramme de 100 volts chacune, les 440 volts fournis par la distribution à courant continu des services électriques généraux.

Transformateurs de MM. Legros et Meynier. — Pour pouvoir recharger économiquement les accumulateurs d'allumage des moteurs d'automobile sur les vitesses à 110 volts, MM. Legros et Meynier ont combiné un petit moteur-générateur (*fig. 2*), qui a pour particularité de donner du courant redressé à basse tension sur le secondaire.

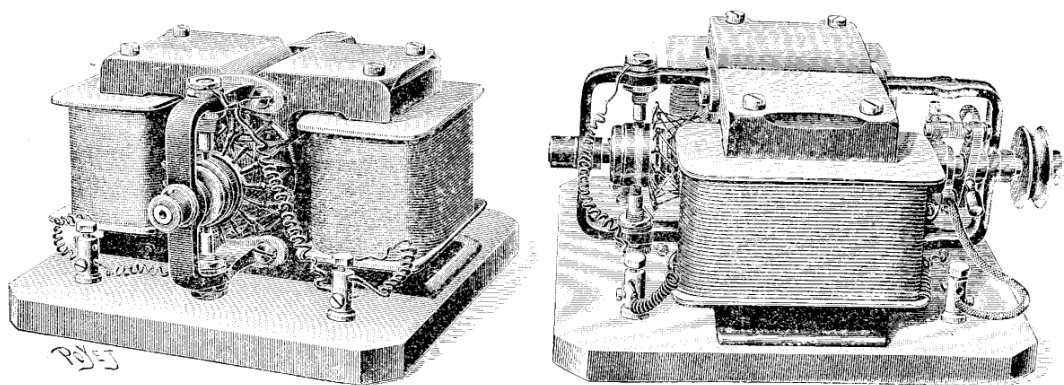


FIG. 2. — Transformateur Legros et Meynier pour la charge des accumulateurs de voitures à allumage électrique.

Il est constitué par un moteur à deux enroulements, l'un recevant le courant à 110 volts (enroulement moteur), l'autre fournissant le courant à basse tension, nécessaire à la recharge d'une batterie de 3, 4, 5 éléments. L'enroulement primaire à 110 volts est un tambour ordinaire, mais le secondaire ne comporte qu'une bobine et en fait, de ce côté, une génératrice à courant redressé semblable à l'induit Siemens, car elle possède un commutateur à deux coquilles sur lequel frottent deux balais.

Il paraît illusoire *a priori* d'essayer de charger des accumulateurs avec un courant aussi variable qu'un courant redressé; mais la pratique montre qu'on y arrive parfaitement et ce dans de très bonnes conditions de rendement.

Le transformateur, tel qu'il se construit couramment pour les batteries de 3, 4, 5 éléments, est extrêmement réduit comme poids et comme dimensions: il ne pèse tout monté que 9.62 kg; ses inducteurs sont en acier doux coulé: ils sont excités en shunt. Relié à une canalisation à 110 volts, l'appareil absorbe 0.64 ampère au total, dont 0.31 ampère dans l'excitation: il tourne à une vitesse angulaire de 2 200 tours par minute.

L'enroulement secondaire, constitué par une bobine à gros fil logée dans deux encoches de l'induit diamétralement opposées, est reliée aux deux coquilles d'un commutateur-redresseur.

Le rendement atteint 50 pour 100 en chargeant des accumulateurs au nombre de 4 ou 5 en tension, pour une puissance de 80 à 100 watts.

COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES EN COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES

TRANSFORMATEURS (PROPREMENT DITS)

Les appareils appartenant à cette classe constituent les *transformateurs* proprement dits, et sont de beaucoup les plus nombreux. Leur puissance varie entre quelques watts et 1 800 kw, et, pour ces derniers, le rendement atteint 98 pour 100 à pleine charge non inductive, ce qui fait du transformateur le meilleur appareil industriel actuellement connu.

Après avoir reçu bien des formes et bien des dispositions plus ou moins compliquées, le transformateur est devenu aujourd'hui un appareil très simple constitué, en principe, par un circuit magnétique entouré de deux circuits électriques, le circuit inducteur et le circuit induit. Le circuit magnétique est généralement constitué par deux noyaux en feuilles de tôle douce mince et isolées, réunis par des traverses constituées de la même façon. Le métal doit avoir un faible coefficient de Steinmetz. Ce circuit doit être le moins réductant possible et offrir les plus grandes facilités de refroidissement.

Les circuits électriques, toujours en cuivre pour la haute tension, quelquefois en aluminium pour la basse tension, doivent s'imbriquer le mieux possible, afin de réduire la dispersion magnétique. Ils sont disposés concentriquement ou alternés, *sandwichés*. Le circuit à une tension est souvent en barres nues, séparées par du papier isolant ou de l'amiante, roulées directement sur le noyau, afin de réduire la longueur de l'enroulement.

Les transformateurs de petite puissance ont toujours une surface suffisante pour le refroidissement. Les transformateurs puissants, au contraire, malgré leur rendement plus élevé, s'échauffent davantage. On empêche un échauffement exagéré en prévoyant, dans la construction, une circulation d'air autour des noyaux et des bobines, en faisant de la ventilation artificielle, ou en plongeant le transformateur dans de l'huile de pétrole dense renfermée dans une cuve métallique ronde ou prismatique à ailettes, en vue de faciliter le rayonnement et la convection. L'huile sert à conduire la chaleur dégagée dans le transformateur sur les parois de la cuve qui la refroidit.

Proportions des transformateurs. — Un transformateur alimentant un réseau de lumière doit encore fournir une tension aussi constante que possible sous différentes charges; car les transformateurs sont des appareils qui ne doivent nécessiter aucun service. La constance de la tension sous charge variable est nécessaire par le fait qu'il n'arrive jamais que tous les transformateurs d'une installation soient également chargés, tandis que la tension primaire est tenue régulièrement constante à la station génératrice.

L'abaissement de tension des transformateurs d'éclairage n'est, suivant la puissance, que de 1,5 à 3 pour 100 entre marche à vide et pleine charge, la tension primaire supposée constante. Le rendement industriel est de 93 à 98 pour 100, la perte dans le fer variant entre 1 et 4 pour 100 suivant la grandeur. Le rendement journalier d'un transformateur constamment branché sur le réseau est donc très élevé comme force, ce qui est très important pour les installations utilisant la vapeur motrice.

Les transformateurs pour distribution d'énergie sont proportionnés autrement que les transformateurs d'éclairage. En effet, une mise en marche facile des moteurs exige que l'abaissement de tension produit par leur mise en circuit soit aussi faible que possible, même sous charge variable des moteurs. Or, ceci est d'autant plus difficile à obtenir que la chute de tension produite par le décalage de phase du courant est bien supérieure à celle causée par la résistance ohmique des bobines. Il est donc nécessaire de dimensionner largement les transformateurs et de les construire de façon que, même en cas de surcharge momentanée, la perte de tension soit aussi petite que possible; on amoindrit ainsi le rendement du transformateur à faible charge; ceci n'a toutefois qu'une importance secondaire, car, dans le transport et la distribution de l'énergie, c'est le rendement en charge normale qui entre surtout en ligne de compte, ainsi que dans

toutes les applications pour lesquelles le transformateur fonctionne longtemps à pleine charge et peu de temps à vide.

Ne pouvant décrire ici tous les transformateurs exposés, nous insisterons plus particulièrement sur les types pour lesquels nous avons pu obtenir des détails de construction ou de fonctionnement.

Transformateurs Schneider et C^{ie}. — Ces transformateurs (*fig. 3, 4, 5 et 6*) sont du type cuirassé à circuit magnétique fermé. La partie fer de ces appareils est constituée par deux

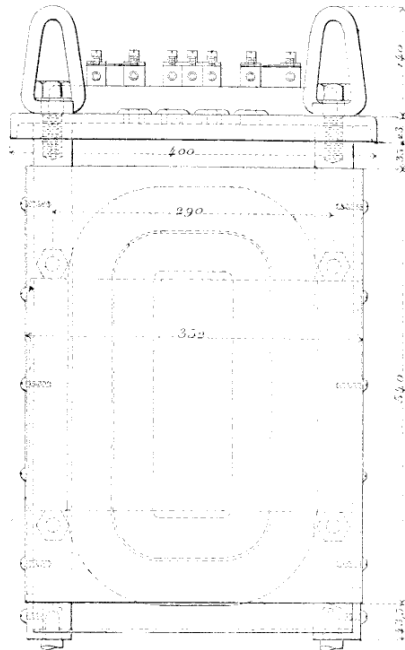


FIG. 3. — Elevation.

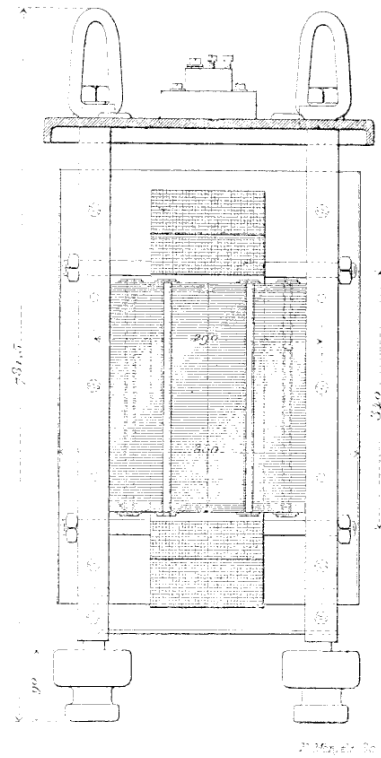


FIG. 4. — Coupe transversale.

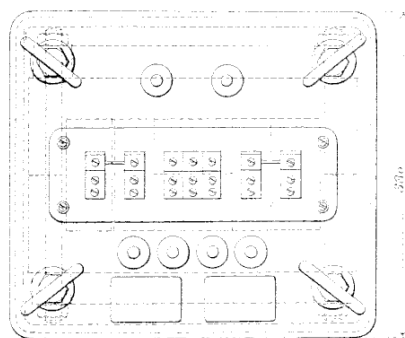
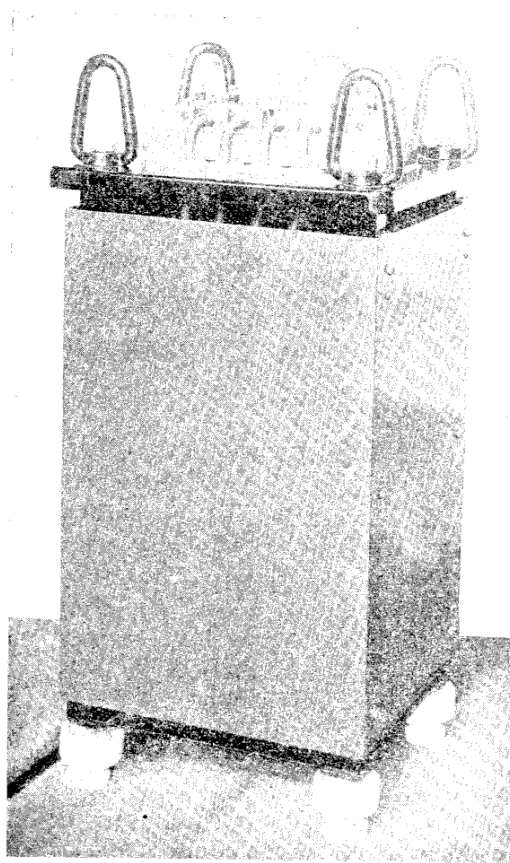


FIG. 5. — Vue en plan.

FIG. 3, 4 et 5. — Transformateur à courants alternatifs simples de 10 kilovolts-ampères Schneider et C^{ie}.

paquets de tôle en forme d'E, les bras des E étant en regard. Les bobines primaires et secondaires, très aplaties, sont disposées verticalement et embrassent le bras médian du faisceau de tôles, de manière à remplir l'espace laissé libre à l'intérieur du faisceau. Les deux paquets de tôle sont maintenus serrés l'un contre l'autre au moyen de boulons s'appuyant sur quatre montants en fer forgé appliqués deux par deux sur les grands côtés des E. Une gaine en tôle fixée contre les montants protège le transformateur et facilite la ventilation en formant cheminée d'appel.

Une plaque en fonte placée à la partie supérieure supporte les bornes par l'intermédiaire d'une plaque isolante; des manilles de levage sont fixées aux montants: lorsque le transformateur doit être isolé du sol, on scelle les pieds des montants dans des isolateurs en porcelaine.



Les bobines primaires sont ordinairement en fil, les bobines secondaires en ruban de cuivre utilisant mieux l'espace disponible. L'isolement de ces bobines, directement en

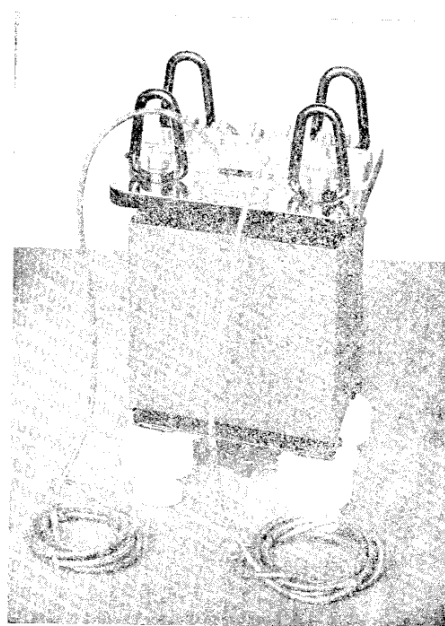


FIG. 6. — Transformateurs Schneider.

contact avec le noyau, est très soigné, et elles peuvent supporter sans inconvénient une tension double de celle normale.

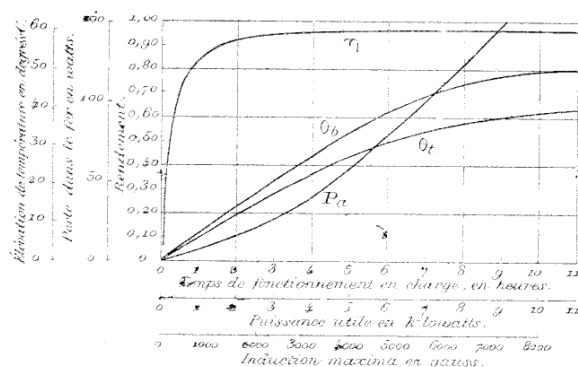


FIG. 7. — Transformateur à courants alternatifs simples de 10 kilovolt-ampères.

η , Rendement en fonction de la puissance utile. — θ_b , Élévation de température des tôles en fonction du temps. — θ_t , Élévation de température des bobines en fonction du temps. — P_0 , Puissance absorbée à vide en fonction de l'induction maxima.

une intensité de 3,4 ampères sous une différence de potentiels de 2 875 volts, le secondaire

La série courante de ces transformateurs comprend 11 types, dont les puissances varient de 0,5 à 30 kilovolt-ampères.

Le rendement à pleine charge est de 0,90 pour le plus petit modèle, de 0,98 pour le plus gros; la chute de tension totale entre la marche en charge et celle à vide ne dépasse pas 2 pour 100 pour $\cos \varphi = 1$, et 4 pour 100 pour $\cos \varphi = 0,7$.

Les figures 3, 4 et 5 se rapportent à un transformateur de ce type d'une puissance de 10 kilovolt-ampères. Le primaire prend normalement

fournissant une intensité de 86 ampères, sous une différence de potentiel de 115 volts ; la fréquence est de 42 périodes par seconde. L'induction maxima est de 7 350 gauss.

L'enroulement primaire comprend 3 bobines de chacune 283 spires d'un fil guipé de 2 mm nu. L'enroulement secondaire est constitué par 2 bobines de chacune 34 spires d'un ruban ayant 22 mm de largeur et 1,8 mm d'épaisseur.

Les courbes de la figure 21 sont relatives aux essais effectués sur cet appareil.

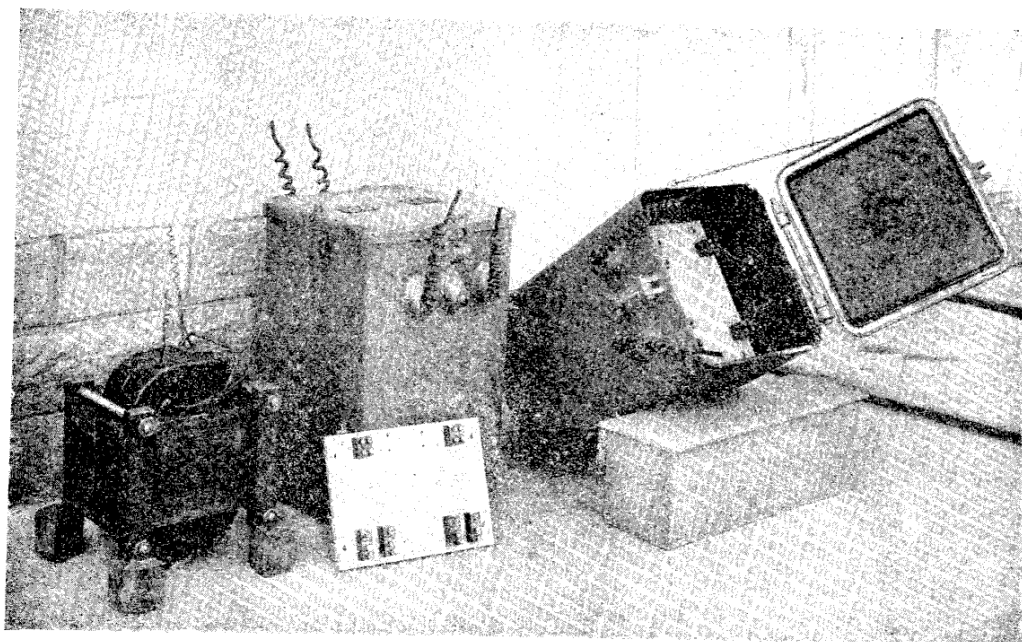


FIG. 8. — Transformateurs à courants alternatifs simples Schneider et C^e.

Pour les puissances supérieures à 30 kw. et jusqu'à 100 kw, les transformateurs sont étudiés spécialement suivant les besoins et sont soit du type à colonnes, soit du type à noyaux multiples.

Transformateur à courants alternatifs simples à noyaux multiples de 50 kilovolts-ampères.
 -- Ce transformateur (fig. 9, 10 et 11) possède 4 noyaux de tôles indépendants placés en croix ; chacun des noyaux est formé de deux paquets de tôles en forme d'U, appliqués l'un contre l'autre par les extrémités des branches des U ; on obtient ainsi un circuit magnétique fermé avec un vide intérieur pour loger les enroulements.

Les bobines primaires et secondaires, en forme de couronnes de section rectangulaire, sont alternées : il y a deux bobines secondaires en ruban de cuivre et trois bobines primaires en fil.

Le sectionnement en deux parties des noyaux rend aisée la mise en place des bobines : les noyaux sont fortement serrés l'un contre l'autre entre une embase et un couvercle en fonte au moyen de quatre boulons.

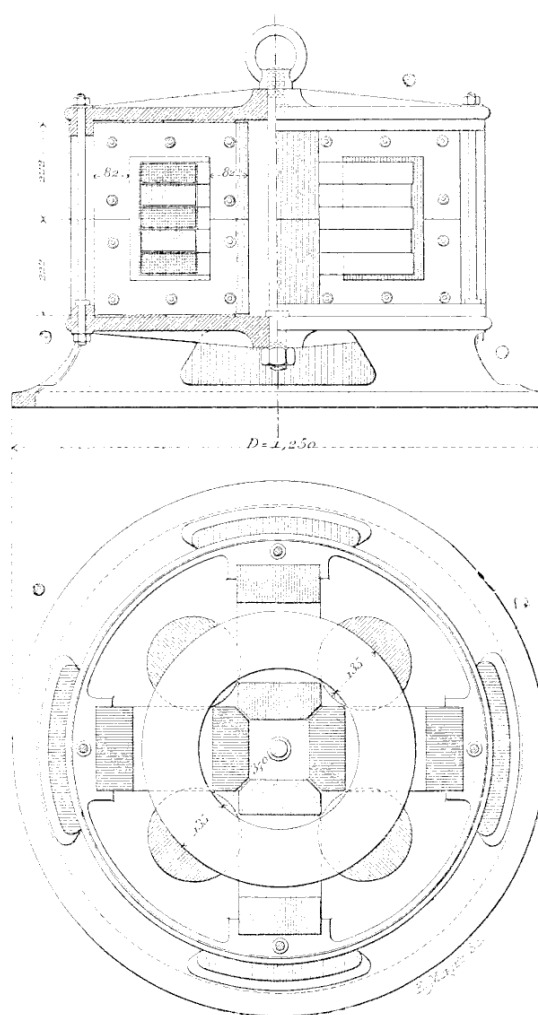
Une tige centrale fixée à l'embase traverse le couvercle et est munie d'un anneau de levage ; une tôle perforée entoure le transformateur latéralement.

Ce transformateur présente une grande surface de refroidissement pour un faible volume de tôles ; la disposition adoptée permet en outre de réaliser des appareils puissants avec un nombre de bobines réduit et d'obtenir un montage facile.

Le transformateur exposé de 50 kilovolts-ampères présente les constantes suivantes :

	Primaire.	Secondaire.
Tension, en volts.....	2 875	115
Intensité, en ampères.....	17,4	434
Nombre de bobines.....	3 en tension	2 en parallèle.
Diamètre du fil nu, en mm.....	5	»
Dimensions du ruban, en mm.....	»	$48 \times 5,5$
Nombre de spires par bobine.....	175	21
Rapport de transformation.....	25	»
Induction maxima, en gauss.....	5 200	»
Fréquence, en périodes : s.....	42	»

Élévation et coupe partielle.



Coupe horizontale.

Fig. 9. — Transformateur à courants alternatifs simples à noyaux multiples de 50 kilovolts-ampères.

Les figures donnent une vue de face avec coupe verticale partielle et une coupe horizontale de ce transformateur. La figure 10 en est une vue d'ensemble.

Les courbes de la figure 11 se rapportent à des résultats d'essais effectués sur cet appareil.

Nous ferons remarquer, à propos de ces résultats, que l'on retrouve d'ailleurs, dans tous les transformateurs de construction récente à un degré équivalent, que le rendement reste très

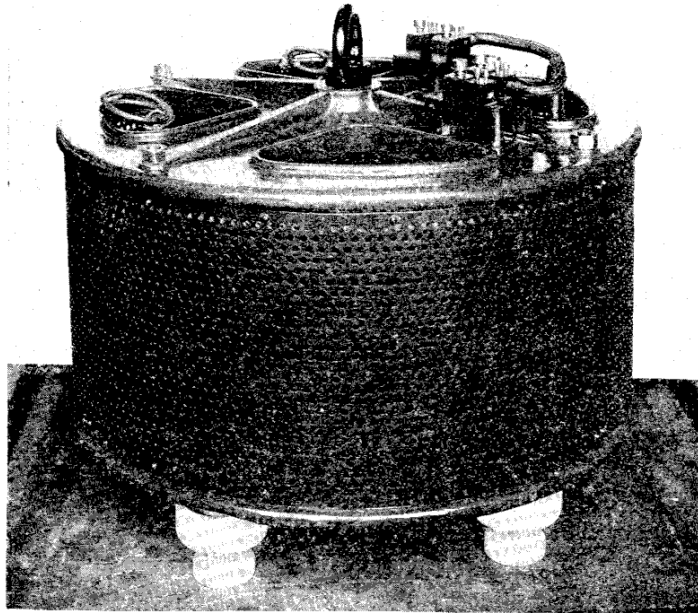


FIG. 10. — Vue d'ensemble du transformateur Schneider à noyaux multiples de 50 kilovolts-ampères.

élevé à toutes les charges, ce qui est favorable à une bonne utilisation journalière, même lorsque l'appareil reste toujours en circuit. Les progrès dans cette voie doivent être attribués, d'une

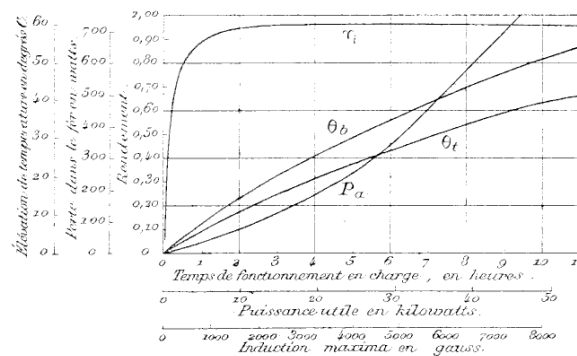


FIG. 11. — Transformateur à courants alternatifs simples à noyaux multiples de 50 kilovolts-ampères.

η , Rendement en fonction de la puissance utile. — θ_b , Élévation de température des tôles en fonction du temps. — θ_t , Élévation de température des bobines en fonction du temps. — P_a , Puissance absorbée à vide en fonction de l'induction maxima.

part, à la qualité excellente des tôles livrées par l'industrie métallurgique, d'autre part à de judicieuses proportions entre les éléments qui entrent dans la construction des transformateurs.

Transformateurs de la Société alsacienne de Constructions mécaniques (fig. 12). — Les noyaux du transformateur sont constitués par des tôles de grande perméabilité magnétique solidement assemblées, sur lesquelles sont montées les bobines primaires et secondaires. Les enroulements haute et basse tension, constitués tantôt par du fil, tantôt par du ruban de cuivre

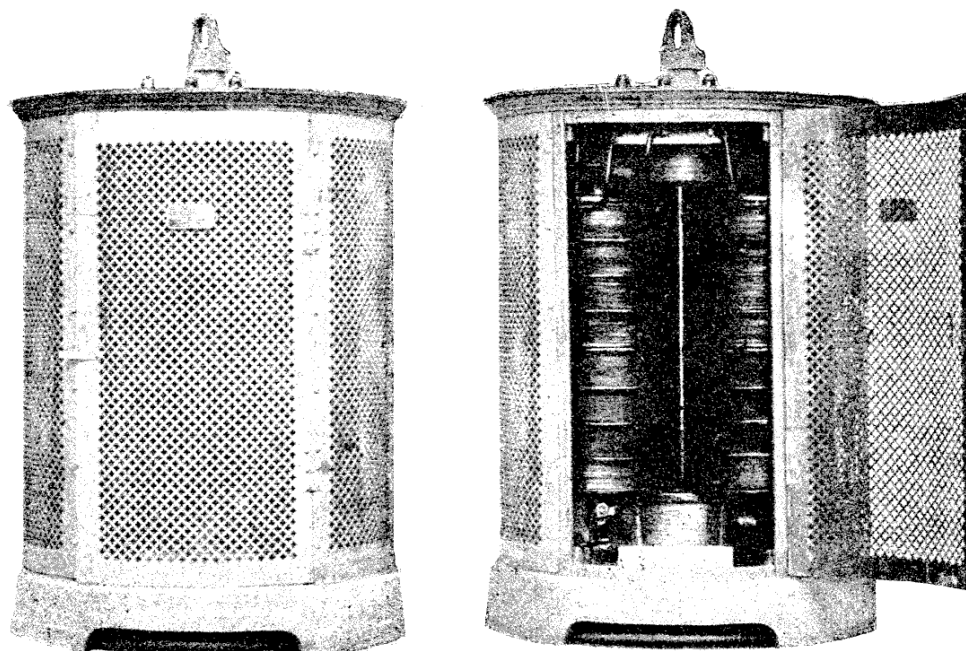


FIG. 12. — Transformateur de la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

électrolytique, sont soigneusement isolés, et fixés sur les carcasses de ces bobines, faites d'une matière isolante. L'appareil est monté sur un socle en fonte, et protégé par une chemise en tôle perforée.

Transformateurs des ateliers d'Oerlikon. — Ces transformateurs ont des noyaux verticaux formés de feuilles de tôle de 0,3 mm d'épaisseur, isolées par des feuilles de papier. Les enroulements sont constitués par des bobines cylindriques concentriques séparées par un manchon en matière isolante. La bobine de grosse intensité est toujours à l'intérieur, afin de réduire la longueur du circuit électrique et, par suite, sa résistance. Voici les données relatives aux types courants exposés :

Fréquence.....	50 périodes par seconde.
Echauffement accepté du fer.....	60° C.
— fil gros.....	60° C.
— fil fin.....	40° C.

Le transformateur est constitué par deux colonnes verticales et deux traverses verticales, dont la longueur est égale à $8\sqrt{S}$, S étant la section des colonnes en tôles sur lesquelles sont disposés les enroulements.

Dans le tableau ci-après :

P est la puissance utile, en kilowatts :

\mathfrak{B} , l'induction, en kilogauss :

S , la section des noyaux, en cm^2 :

l , la longueur des noyaux, en cm :

$\frac{I_1}{S_1}$, la densité du courant dans le gros fil, en A : mm² ;

$\frac{I_2}{S_2}$, la densité du courant dans le fil fin, en A : mm² ;

$\frac{NI_0}{l}$, la force magnétisante à vide, en ampères-tours par cm ;

η , le rendement, en pour 100, à pleine charge non inductive.

P	B_{\max}	S	l	$\frac{L_1}{S_1}$	$\frac{L_2}{S_2}$	$\frac{NI_0}{l}$	η
kilowatts	kilogauss	cm ²	cm	A : mm ²	A : mm ²	A-t : cm	En pour 100
2	7,5	35	15	1,1	1,0	80	92,5
4	7,5	75	21	1,1	1,0	80	94,0
6	7,5	95	24	1,06	1,0	90	94,0
10	7,5	120	27	1,0	1,5	100	95,0
20	7,0	170	38	1,0	1,5	100	95,5
30	7,0	220	43	1,0	1,5	110	96,0
50	6,5	280	52	1,1	1,5	120	96,5
75	6,5	330	65	1,1	1,5	120	97,6
100	6,5	400	67	1,0	1,4	140	97,0
150	6,0	490	77	1,0	1,5	150	97,0
200	6,0	670	88	1,0	1,4	150	97,5
300	6,0	720	106	1,0	1,3	160	98,0
400	5,5	850	125	1,0	1,3	160	98,0

Enroulement basse tension seul.

Avec les deux enroulements concentriques.

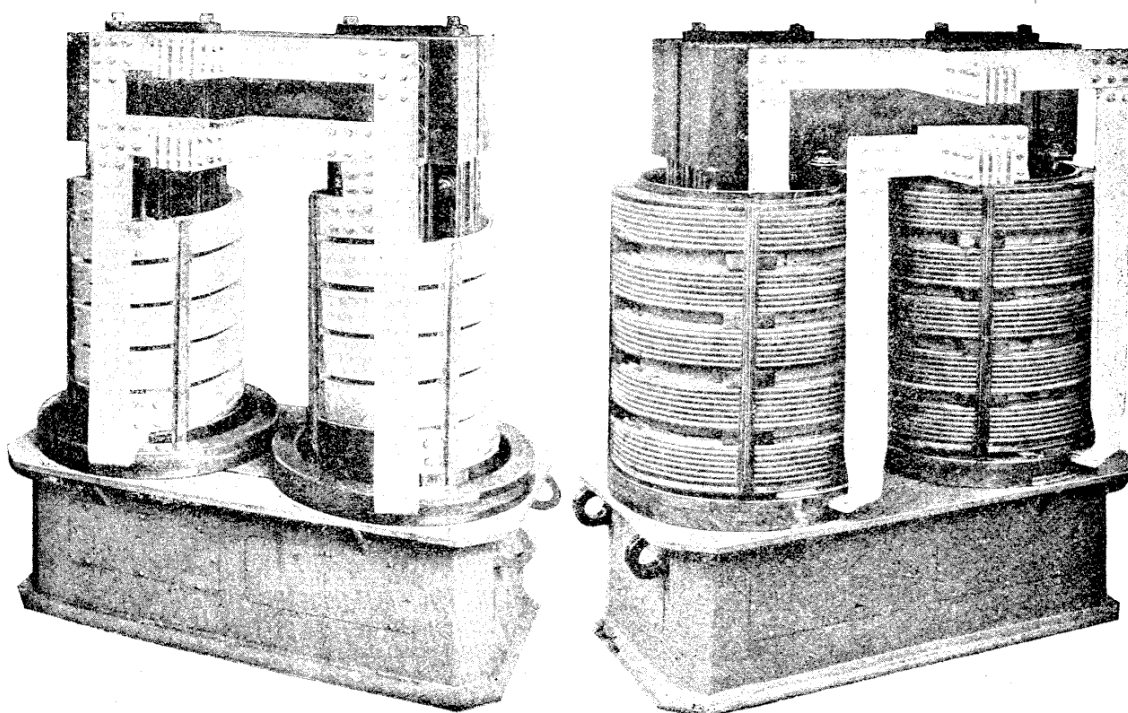


FIG. 13. — Transformateur à courants alternatifs simples des ateliers d'Oerlikon.

Transformateur Parcot de 250 kilowatts. — Cet appareil transforme une tension de 88 volts en une tension de 6 000 volts. Il se compose de noyaux verticaux de 1,2 m de hauteur, disposés dans le même plan et réunis par deux traverses horizontales dans lesquelles ils s'encastrant. Ces traverses sont serrées dans des bâtis en fonte : le bâti inférieur forme socle et est

réuni au bâti supérieur par des tirants. Les noyaux extrêmes et les traverses ont une section utile de 790 cm^2 , le noyau central de $790\sqrt{2} = 1110 \text{ m}^2$; ces noyaux sont formés de tôles de 0,6 mm d'épaisseur isolées au papier goudron.

La basse tension comporte deux bobines de 14 spires de 15 câbles de 93 mm^2 de section, reliés en parallèle par des cercles de cuivre. Chaque bobine est montée sur un des noyaux.

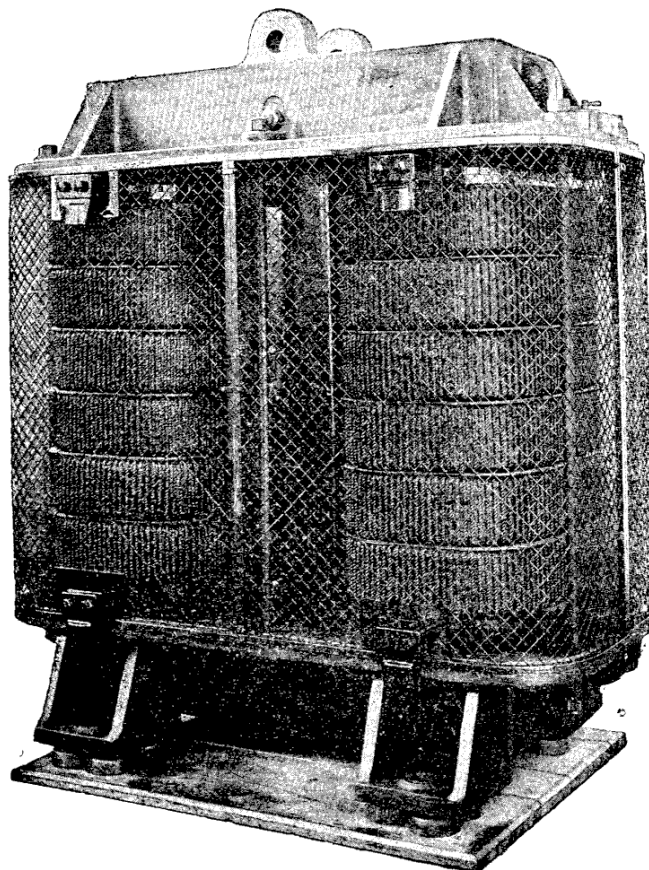


FIG. 14. — Transformateur Farcot, 250 kilowatts, 6 000 volts.

Le circuit à haute tension est formé, pour chaque noyau, de six bobines isolées au mica, superposées autour de la bobine de basse tension. Chaque bobine se compose de 161 spires de fil de 5,5 mm de diamètre.

Le rendement relevé de cet appareil est de 97,5 pour 100, et l'échauffement maximum des parties les moins refroidies de 45° C. au-dessus de la température ambiante.

Transformateurs de la Compagnie générale électrique de Nancy (fig. 15). — Ces transformateurs ne comportent qu'un seul bobinage à haute tension et un seul bobinage à basse tension : on les emploie pour la transformation des courants alternatifs simples ou diphasés : dans ce dernier cas, ils sont groupés par deux, un pour chaque phase.

Les bobines primaires de haute tension sont constituées par une série de bobines élémentaires superposées, isolées les unes des autres et couplées en tension.

Le noyau en fer est formé de tôles très minces isolées soigneusement, serrées et maintenues entre des flasques en fonte boulonnées entre elles.

Les bobines primaires et les bobines secondaires sont enroulées mécaniquement et isolées par un procédé spécial. Les transformateurs sont construits normalement pour des tensions allant jusqu'à 7 500 volts pour courants alternatifs simples, et jusqu'à 10 000 volts pour courants triphasés ; ils sont calculés pour une fréquence de 40 à 60 périodes par seconde.

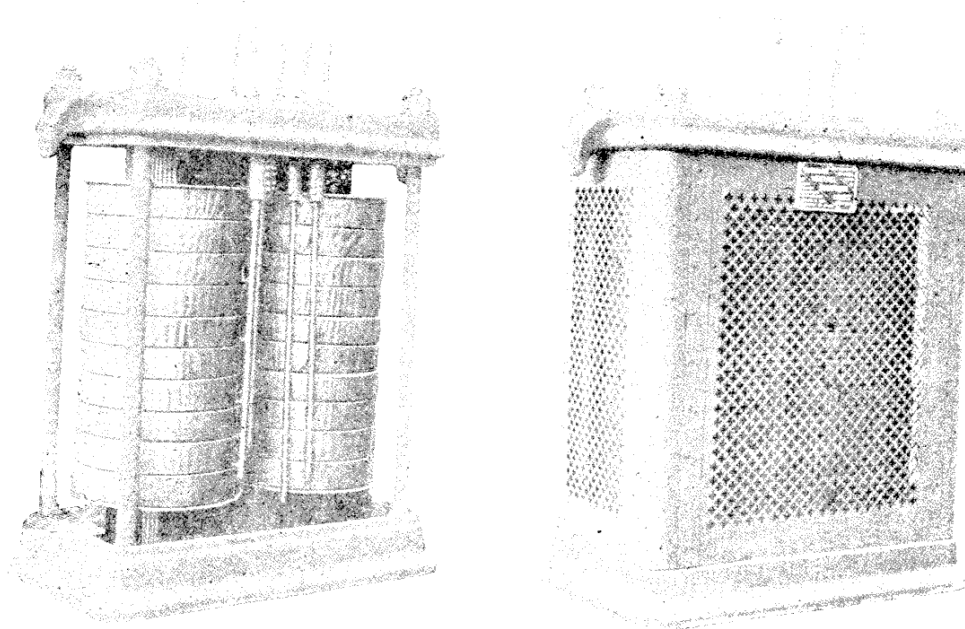


FIG. 15. — Transformateurs de la Compagnie générale électrique de Nancy.

La puissance maxima d'un transformateur est atteinte lorsqu'il fonctionne sur charge non inductive. Quand le transformateur alimente des moteurs asynchrones, sa puissance réelle diminue et diffère de la puissance apparente d'une quantité correspondant au facteur de puissance, ainsi que le rendement.

Pour charge inductive, ces rendements diminuent dans la proportion de :

3	pour 100	pour des transformateurs dont le rendement est entre 91 et 92 pour 100
2	—	— 93 et 95 —
1	—	— 96 et 97 —

Transformateur Ganz et C^e. — La puissance apparente de ce transformateur est de 300 kilovolts-ampères, pour une tension de 5 000 volts au primaire, de 430 volts au secondaire et une fréquence de 42 périodes par seconde. Le noyau de ce transformateur *fig. 16* se compose de deux colonnes verticales lamellées d'une section circulaire et de deux culasses horizontales lamellées ; le noyau forme donc un circuit magnétique simple. Tout le transformateur repose sur un support en fonte partagé en deux, qui contient la pièce de jonction inférieure du noyau. Les deux parties sont liées à la construction supérieure en fonte par de forts boulons, tandis que la partie supérieure du noyau est tenue ensemble par des barreaux, de sorte que la construction de fer forme un tout compact. Sur le noyau sont enfilées directement les bobines primaires ; celles-ci sont entourées des bobines secondaires, laissant entre elles un espace favorable à la ventilation. Dans le même but, le noyau est aussi muni d'espaces d'air dans le sens de la lamellation, qui rendent possible une ventilation efficace. Les bobines secondaires sont des barres de cuivre nu d'une section carrée de 25 mm de côté. Avec cette disposition des bobines, les fuites magnétiques sont ainsi plus faibles qu'en disposant les enroulements primaire et secondaire à

la suite l'un de l'autre; néanmoins un contact avec les bobines à haute tension est rendu tout à fait impossible.

Avec une ventilation artificielle par un ventilateur centrifuge de 750 watts et à une charge de 300 kilovolts-ampères, aucune partie du transformateur ne s'échauffe de plus de 25° C. au-dessus de la température ambiante. Le transformateur pèse 4 000 kg et a un rendement de 98,3 pour 100 à pleine charge.

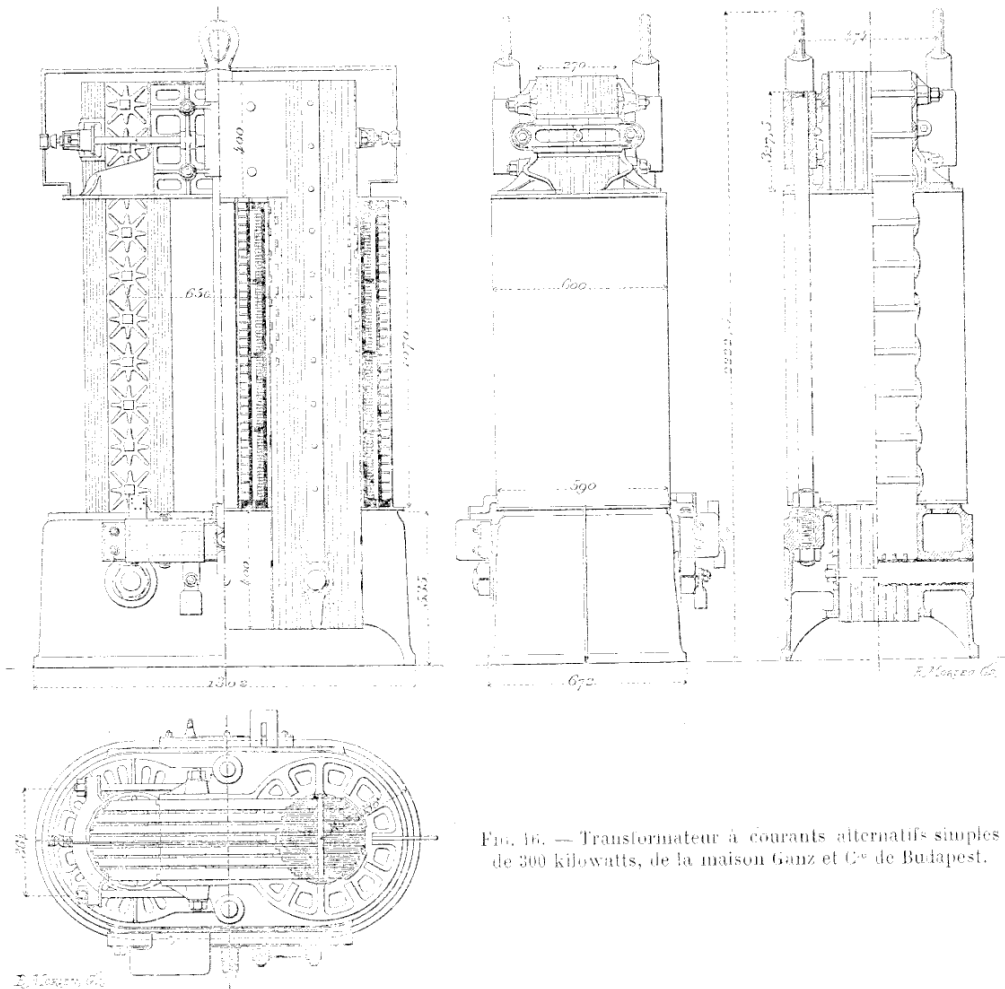


FIG. 16. — Transformateur à courants alternatifs simples de 300 kilowatts, de la maison Ganz et C^o de Budapest.

Les deux bobines primaires en série ont en tout 840 spires en cuivre à section rectangulaire de 10 mm sur 5 mm. Les deux bobines secondaires en série ont en tout 75 spires en cuivre de 25 sur 25 mm.

Résistances à 20° C. de la bobine primaire 0,36 ohm ; de la bobine secondaire 0,0032 ohm.

À 25 périodes par seconde et 5 000 volts primaires, le transformateur prend 1,3 ampère, représentant 3 100 watts de pertes dans le fer ; le $\cos \varphi$ du courant à vide est de 0,49.

Les pertes dans le fer et dans les bobines s'élèvent donc à peu près exactement à 4 pour 100 chacune, le rendement sous une charge de 300 kw est de 98 pour 100.

Les fuites magnétiques sous pleine charge s'élèvent à 4,8 pour 100.

En maintenant le transformateur sous pleine charge et appliquant une ventilation artificielle sous une pression de 8 à 10 mm d'eau seulement, ce qui représente environ 0,4 m³ d'air par

seconde par transformateur, celui-ci atteint une température stationnaire après cinq heures. Les échauffements au delà de la température ambiante mesurés au thermomètre aux points accessibles donnant les maxima relatifs, sont :

Pour le fer, de	22° C.
Pour la bobine primaire, de	31° C.
Pour la bobine secondaire, de	24° C.
Pour la bobine primaire,	37° C.
Pour la bobine secondaire	25° C.

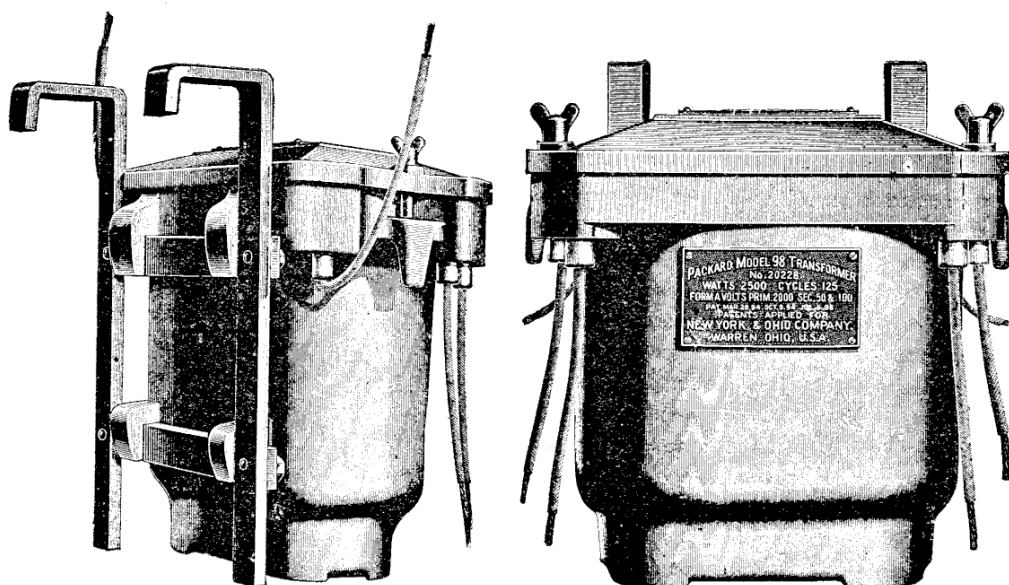
Avec une pression d'air de 15 à 20 mm d'eau, aucune partie du transformateur ne s'échauffe de plus de 25° C.

Après avoir chauffé le transformateur à 60° C., il a été soumis pendant une demi-heure à une tension de 9 000 volts aux bornes primaires. Chacune des bobines primaires avait préalablement été soumise pendant plusieurs heures à une tension de 6 000 volts.

Le poids total du transformateur est de 4 000 kg. Sur ce poids 2 300 kg sont à compter pour le noyau en tôles de fer de 0,5 mm, 1 050 kg pour les enroulements en cuivre et le reste pour la carcasse et les accessoires.

A 50 périodes par seconde, la puissance du transformateur atteint 400 kw, avec un rendement de 98,4 pour 100. Le quotient de son poids par sa puissance n'est que de 10 kg par kilowatt.

Transformateurs Packard. — Ces appareils, construits par la *New-York and Ohio Co.*, de Warren (Ohio, U. S. A.), sont du type à noyaux en colonne et isolement à l'huile (fig. 17 à 20).



Vue de face.

Vue latérale.

FIG. 17. — Transformateur Packard.

Chacune des deux bobines primaires est établie pour 1 000 volts et chacune des bobines secondaires pour 110 volts. Par des couplages convenables, on peut donc fonctionner à 1 000 ou 2 000 volts sur le primaire, à 110, à 220 ou à 3 fils 2 fois 110, sur le secondaire. Les plombs fusibles et les connexions se font à l'extérieur du transformateur, qui se trouve ainsi hermétiquement fermé et peut se placer à l'extérieur, en un point quelconque. Les types courants ont une

puissance qui varie de 0.5 à 30 kw, et un coefficient de régulation de 3 pour 100 pour les plus

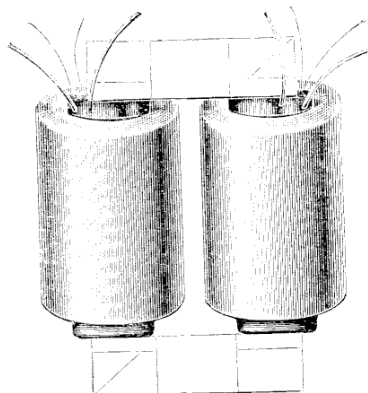


FIG. 18. — Disposition des tôles et des enroulements.

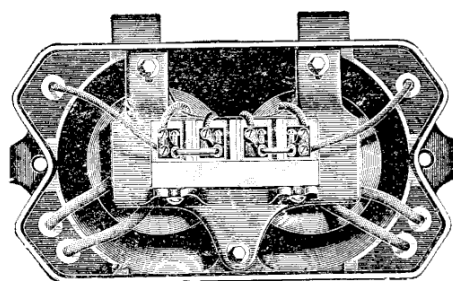


FIG. 19. — Plan.

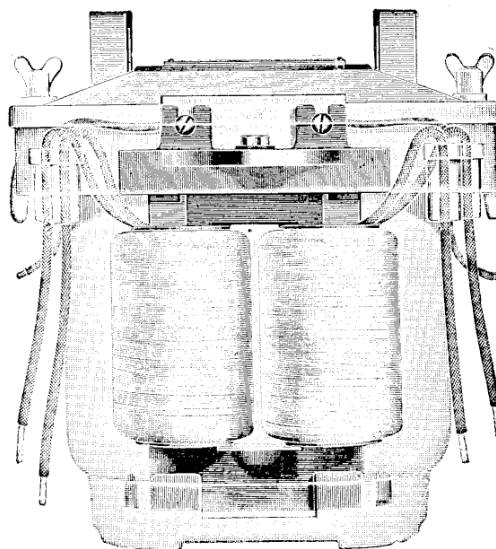


FIG. 20. — Vue intérieure du transformateur.
(Enveloppe transparente.)

petits types et de 1.8 pour 100 pour les types puissants. Les figures 17 à 20 montrent suffisamment la disposition de ces appareils pour qu'il soit inutile d'insister.

Autotransformateurs. — On désigne sous ce nom peu explicite un dispositif qui permet de fractionner, en parties égales ou inégales, une différence de potentiel alternative donnée. L'autotransformateur est constitué par une bobine de self-induction branchée sur une différence de potentiel : en certains points convenablement choisis de l'enroulement de cette bobine, sont établies des dérivations sur lesquelles se branchent les appareils d'utilisation qui reçoivent ainsi une différence de potentiel telle que son rapport à la différence de potentiel totale soit sensiblement égal au rapport du nombre de spires comprises entre les deux points au nombre total de spires de la bobine. L'enroulement unique joue donc à la fois le rôle de circuit inducteur et de circuit induit : de là le nom d'*autotransformateur*.

Les autotransformateurs étaient employés à l'Exposition pour le démarrage des moteurs asynchrones par les *Ateliers de construction d'Oerlikon* et par M. *Weismann* pour son système d'éclairage électrique par lampes à basse tension. Dans ce dernier cas, la bobine de l'autotransformateur est divisée en cinq parties égales. La différence de potentiel totale de 110 volts fournie à ses bornes se trouve divisée en cinq parties indépendantes de 22 volts chacune, ce qui permet d'alimenter à volonté 1, 2, 3, 4 ou 5 lampes, et d'en éteindre un nombre quelconque sans perturber le régime des lampes restantes. Dans ce cas, l'autotransformateur joue le même rôle que les compensatrices ou régulatrices dans les distributions à courant continu.

COURANTS ALTERNATIFS POLYPHASÉS EN COURANTS ALTERNATIFS POLYPHASÉS

Transformateurs diphasés. — L'emploi des courants diphasés est beaucoup moins fréquent que celui des courants triphasés, et cela justifie la rareté de transformateurs spéciaux établis pour ces courants. En pratique, la transformation de courants diphasés en courants diphasés s'obtient par *deux* transformateurs à courants alternatifs simples dits monophasés alimentés l'un par le circuit sinus et l'autre par le circuit cosinus. On pourrait cependant réaliser un transformateur diphasé unique avec trois noyaux magnétiques reliés par deux traverses. Les noyaux extrêmes recevraient chacun l'un des deux bobinages, et le noyau du milieu sans bobinage servirait de retour commun aux deux flux magnétiques. L'emploi de deux transformateurs distincts est tout aussi avantageux, plus symétrique et n'exige pas une construction spéciale; aussi ne construit-on pas, en général, de transformateurs diphasés d'une forme spéciale.

Transformateurs triphasés. — La transformation des courants alternatifs triphasés en courants alternatifs triphasés peut s'obtenir en employant trois transformateurs à courants alternatifs simples dont les primaires sont convenablement couplés entre eux, en étoile ou en triangle, en Y ou en Δ , en enroulement ouvert ou en enroulement fermé. Cette solution, la plus simple, est cependant la plus coûteuse et la plus encombrante; aussi préfère-t-on, en général, établir des transformateurs spéciaux constitués, en principe, par trois noyaux magnétiques à axes parallèles réunis par deux culasses. Ces trois axes vont tantôt dans un même plan, tantôt disposés aux trois sommets d'un triangle équilatéral. La première solution est moins encombrante, la seconde est plus symétrique; elles jouissent actuellement d'une égale faveur, comme on pourra s'en convaincre par la description de quelques appareils exposés et pris pour types.

Transformateurs à courants triphasés Schneider et C^{ie}. — La série courante de ces appareils comporte 11 types différents correspondant à des puissances allant de 2 à 100 kilowatts.

Les trois noyaux bobinés sont verticaux et de section carrée à angles abattus; vus en plan, ils correspondent aux trois sommets d'un triangle équilatéral par raison de symétrie. Les culasses réunissant magnétiquement les extrémités des noyaux sont constituées par des paquets de tôles assemblés et pliés en forme de V. Après introduction des enroulements primaire et secondaire, les culasses sont serrées contre les noyaux entre deux plateaux en fonte dont l'un, celui inférieur, est muni de pieds et sert de socle au transformateur; une tige centrale, servant également au serrage, est terminée à sa partie supérieure par un anneau de levage au moyen duquel on peut déplacer l'appareil.

Les enroulements primaire et secondaire sont composés, soit de bobines superposées et appartenant alternativement aux deux circuits, soit de bobines concentriques, le secondaire étant alors à l'intérieur du primaire. Dans les deux cas, un jeu suffisant est laissé entre les enroulements et les noyaux pour la ventilation.

Les enroulements primaires sont, en général, bobinés avec du fil de cuivre de haute conductibilité, tandis que les enroulements secondaires sont constitués au moyen de ruban de cuivre utilisant mieux l'espace qui leur est réservé. Les isollements sont tels que les appareils puissent supporter sans danger une tension double de la tension normale.

Les bornes primaires et secondaires sont fixées sur les culasses inférieures, au-dessous des bobines, avec interposition d'isolateurs en porcelaine. Le transformateur est complètement entouré par une tôle perforée fixée aux plateaux en fonte et dans laquelle sont pratiquées trois portes pour la visite et l'accès des bornes; ces portes sont fermées pendant le fonctionnement de l'appareil.

Le rendement de ces transformateurs est d'environ 0,975 pour la pleine charge; la variation de la différence de potentiel aux bornes entre la marche à vide et la pleine charge sur circuit non inductif est d'environ 1,5 pour 100.

La figure 21 se rapporte à un transformateur triphasé de 50 kilovolts-ampères avec bobines primaires et secondaires superposées et alternées. Les résultats d'essai qui suivent ont trait à un transformateur du même type et de même puissance, mais à bobines concentriques.

Résultats d'essais effectués sur un transformateur de 50 kilovolts-ampères. — En charge normale, le primaire prend une intensité de 9,6 ampères sous une différence de potentiel de 3 000 volts composés; le secondaire fournit une intensité de 260 ampères sous une différence de potentiel d'environ 111 volts composés; la fréquence est de 50 périodes par seconde; le rapport de transformation est égal à 27.

La hauteur d'un noyau est de 720 mm; le côté de la section carrée d'un noyau est de 141 mm, si l'on néglige l'abatage des angles. La hauteur d'une culasse est de 190 mm comptée verticalement; les axes des trois noyaux se trouvent sur une circonférence de 400 mm de diamètre.

L'enroulement secondaire intérieur est composé par un noyau d'une seule bobine de 27 spires d'un conducteur constitué par 3 rubans de cuivre rouge en parallèle, chaque ruban ayant 46 mm de largeur et 2,3 mm d'épaisseur.

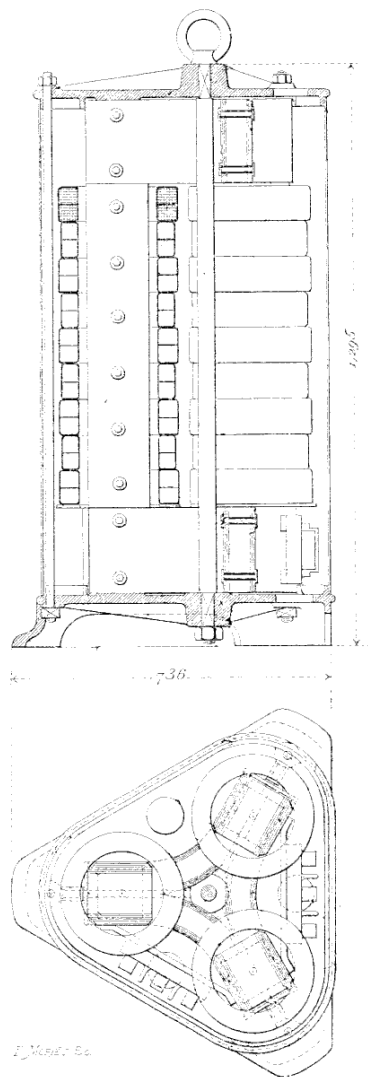


FIG. 21. — Transformateur à courants triphasés de 50 kilovolts-ampères.

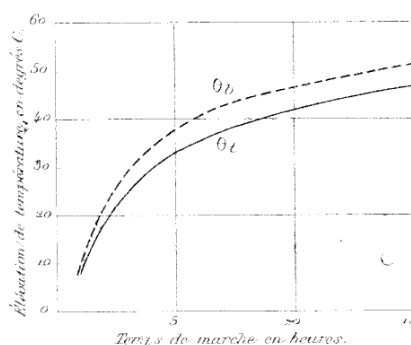


FIG. 22. — Transformateur à courants triphasés de 50 kilovolts-ampères. Élévation de température des tôles (θ_c) et des bobines (θ_b) en fonction du temps.

L'enroulement primaire extérieur comprend, par noyau, 3 bobines ayant ensemble 730 spires d'un fil guipé de 3,9 mm de diamètre nu.

Les densités de courant sont de 0,8 ampère par mm², tant pour le primaire que pour le secondaire; l'induction maxima dans les noyaux est de 6 200 gauss.

Essai à 7 000 volts. — La tension de 7 000 volts efficaces était obtenue à l'aide d'un transformateur auxi-

liaire et mesurée directement au voltmètre électrostatique de lord Kelvin. Cette tension de 7 000 volts fut appliquée successivement, à raison de vingt minutes par opération : 1° entre le secondaire et la masse; 2° entre le secondaire et le primaire; 3° entre le primaire et la masse.

On ne put observer aucune effluve appréciable.

Mesure des résistances primaire et secondaire. — Le primaire et le secondaire étant groupés en étoile, on trouva, comme moyenne, au pont de Wheatstone, 1,86 ohm pour deux branches de l'étoile primaire à la température ordinaire, soit 0,93 ohm par branche. Pour le secondaire, on fit passer un courant continu, et le quotient de la chute de tension observée

par l'intensité donna 0,003 ohm pour deux branches de l'étoile, soit 0,0015 ohm par branche.

Les mesures de résistances effectuées à chaud de la même façon ont donné par branche : 1,25 ohm pour le primaire et 0,00178 ohm pour le secondaire.

Élévation de température. — La courbe ci-dessus (fig. 22) donne la progression des élévations de température au-dessus de celle ambiante pour les enroulements et les tôles, à différents moments d'une marche consécutive d'une quinzaine d'heures à pleine charge.

Mesure d'isolement à chaud. — Un galvanomètre Deprez-d'Arsonval, non shunté, monté en circuit avec une pile et une résistance de 1 mégohm, donnait une déviation de 150 divisions, lue sur son échelle ; on n'obtient aucune déviation sensible en remplaçant le mégohm successivement par les trois résistances d'isolement à mesurer : primaire-fer, secondaire-fer et primaire-secondaire.

Self-induction. — Le secondaire étant en court-circuit, on applique aux bornes du primaire une différence de potentiel progressivement croissante. Des lectures faites simultanément à l'électrodynamomètre, au wattmètre et au voltmètre ont donné pour le primaire :

Ampères.....	9,6	4,9
Volts.....	155	77
Watts.....	1069	"

Dépense à vide. — Le secondaire étant traversé seul par un courant d'une fréquence de 50 périodes par seconde de manière à obtenir 111 volts aux bornes, on a relevé :

Volts.....	111
Ampères.....	8,5
Watts.....	698

En mettant la formule de Steinmetz sous la forme :

$$\frac{P}{M} = \eta_1 B_{\max}^{1,6} \text{ watts par kg.}$$

P , puissance en wats ; M , masse en kilogrammes ;

la dépense précédente de 698 watts correspond à :

$$\eta_1 = 0,0023.$$

Rendement. — Connaissant les résistances à chaud des enroulements et la perte à vide, on trouve aisément par le calcul le rendement aux différentes charges pour $\cos \varphi = 1$:

A pleine charge (30 000 watts).....	0,972
A demi-charge (25 000 watts).....	0,963
A quart de charge (12 500 watts).....	0,943

Chute de tension. — La chute ohmique dans le primaire est :

$$1,25 \times 9,6 \times \sqrt{3} = 20,78 \text{ volts,}$$

soit 0,693 pour 100 de 3 000 volts ;

celle dans le secondaire est :

$$0,00178 \times 260 \times \sqrt{3} = 0,802 \text{ volt,}$$

soit 0,722 pour 100 de 111 volts.

Le pourcentage total relatif à la perte ohmique est donc de 1,415 pour 100.

La force électromotrice de self-induction pour la pleine charge ayant été trouvée égale à environ 5,16 pour 100 $\left(\frac{155 \times 100}{3000} \right)$ de la différence de potentiel primaire, le diagramme de Kapp conduit à une chute de tension relative de 1,548 pour 100 pour la marche en charge non inductive par rapport à la marche à vide.

Transformateur triphasé Ganz et C^{ie}. — Pour alimenter les moteurs du pont roulant exposé par la maison Ganz et C^{ie}, de Budapest, on avait installé un transformateur triphasé d'une puissance de 30 kilovolts-ampères, qui transforme la tension de la génératrice de 2 200 volts à

220 volts. Ce transformateur se compose de trois colonnes de section carrée en tôle de fer, dont les extrémités sont magnétiquement reliées par deux culasses (*fig. 23*).

Les bobines primaires et secondaires sont alternativement disposées sur les colonnes de chaque noyau et fixées par quelques tôles saillantes des pièces finales. Les tôles sont reliées entre elles et les transformateurs sur leur support par quatre boulons et des entretoises. Le montage sur deux flasques en tôle en forme d'anneau a pour but de faciliter le transport de l'appareil par simple roulement. Le poids du transformateur est de 800 kg.

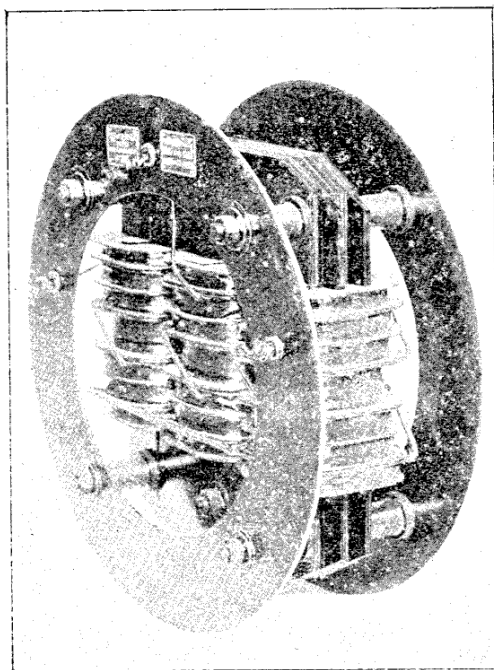


FIG. 23. — Transformateur triphasé de 30 kilowatts de la maison Ganz et C^{ie}, de Budapest.

Transformateurs Grammont (système J.-L. Routin). — La section des noyaux d'un transformateur doit être simple, et d'une construction facile. Elle doit permettre de fixer d'une manière invariable, par rapport au noyau, la position de la bobine intérieure, tout en ménageant de larges cheminées pour la ventilation. Elle doit enfin, pour une bonne utilisation du cuivre, présenter un périmètre de bobinage aussi réduit que possible. Les

bobines circulaires doivent être préférées en raison de la commodité du bobinage, et aussi pour la résistance plus grande que cette forme donne aux tubes de support; mais on doit écarter immédiatement la solution théorique qui conduit à la forme circulaire pour les noyaux magnétiques. Elle présente, en effet, des difficultés de construction presque insurmontables. On doit également écarter, pour la même raison, les solutions qui exigent un grand nombre de bandes de tôles de largeurs différentes. M. Routin choisit la croix régulière inscrite dans un cercle, en déterminant les dimensions des bras de telle façon que sa section soit maxima. La section ainsi déterminée jouit de propriétés spéciales exposées par M. Routin dans un mémoire présenté au *Congrès international d'Électricité* de 1900 (Voir le Rapport du Congrès).

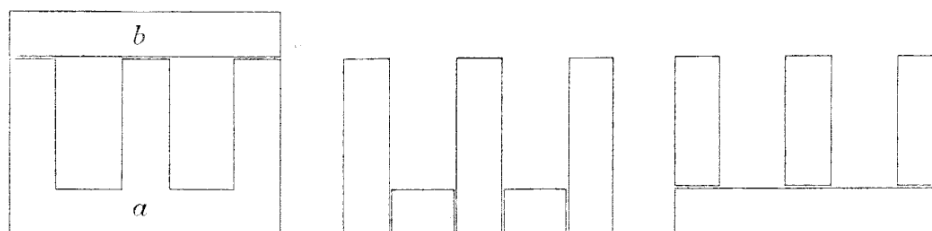
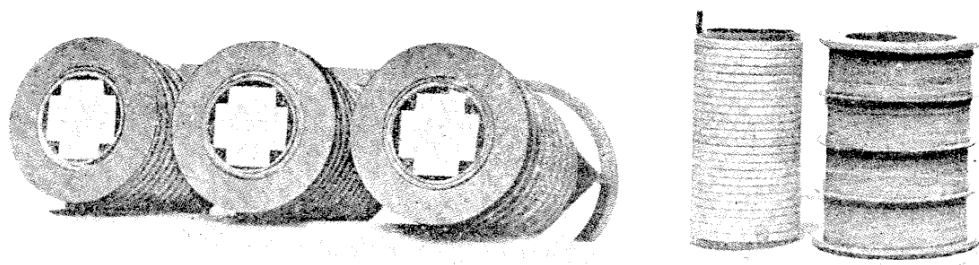


FIG. 24. — Disposition des tôles des transformateurs Grammont.

Ainsi que le représente la figure 24, la carcasse magnétique se compose, en principe, de deux parties distinctes, l'une *a* en forme de E, l'autre *b* en forme de I. Le montage de *a* est indiqué figure 24, qui représente respectivement deux couches successives.

Les avantages de cette disposition consistent en ce qu'elle ne comporte que trois joints à dresser. Il en résulte une économie dans la main-d'œuvre, une amélioration du courant de magnétisation, un montage plus commode et plus solide, et un fonctionnement plus silencieux.



Vue de face des noyaux *a*.

Bobines induite et inductrice.

FIG. 23. — Transformateur Grammont, système Routin.

Les bobines à haute tension sont constituées par plusieurs bobines isolées superposées et sont extérieures aux bobines à basse tension roulées en hélice avec un ruban de cuivre de section rectangulaire (*fig. 26*).

Transformateur triphasé des ateliers d'Oerlikon. — Ces transformateurs sont analogues,

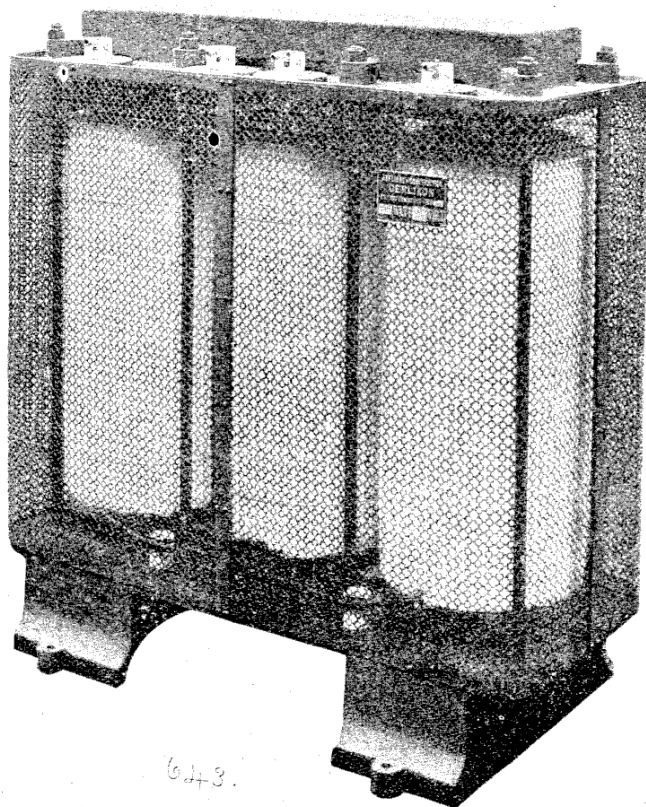


FIG. 26. — Transformateur triphasé des ateliers d'Oerlikon. Type de 100 kilowatts.

comme construction et disposition, aux transformateurs à courants alternatifs simples

décrits précédemment. Ils comportent trois noyaux disposés dans un même plan (*fig. 26 et 27*).

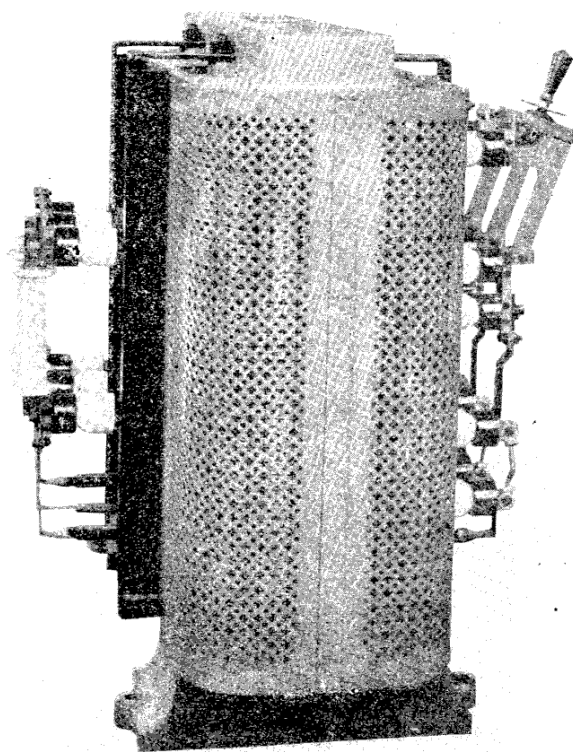


FIG. 27. — Transformateur triphasé des ateliers d'Oerlikon. (Vue latérale montrant les coupe-circuits et les interrupteurs.)

Transformateurs triphasés de la Compagnie internationale d'Électricité, de Liège. — Ces transformateurs, dont la puissance variait entre 3 et 20 kw, sont du type représenté figure 28. Voici les données relatives de l'appareil de 20 kw.

DONNÉES GÉNÉRALES

Différence de potentiel primaire, en volts.....	2 000
— — — — — secondaire. —	110
Fréquence, en périodes par seconde.....	50
Noyau en tôles lamellées. Culasse en tôles cintrées.....	
Hauteur des noyaux, en cm.....	42
Diamètre du cercle circonscrit aux noyaux en cm.....	15,5
Section du fer, en cm ²	126

ENROULEMENTS

	Circuit primaire.	Circuit secondaire
Couplage de l'enroulement.....	Etoile	Etoile
Disposition des enroulements.....	Cylindrique	Cylindrique
Position de l'enroulement.....	Extérieur	Intérieur
Nature de l'enroulement.....	Fil	Barre
Section de l'enroulement, en mm ²	4,2	94
Nombre de spires.....	840	44
Résistance à chaud, en ohms.....	3,15	0,00535
Poids de cuivre, en kg.....	74	74

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

<i>A vide.</i> — Courant primaire en ampères.....	0,18
Facteur de puissance.....	0,44
Puissance dépensée en watts.....	300
<i>En charge normale non inductive.</i> — Perte à vide, en watts.....	300
— en charge dans le primaire.....	280
— — — secondaire.....	480
Perte totale.....	760
Rendement à pleine charge, en pour 100.....	96
Chute de tension relative en charge, en pour 100.....	

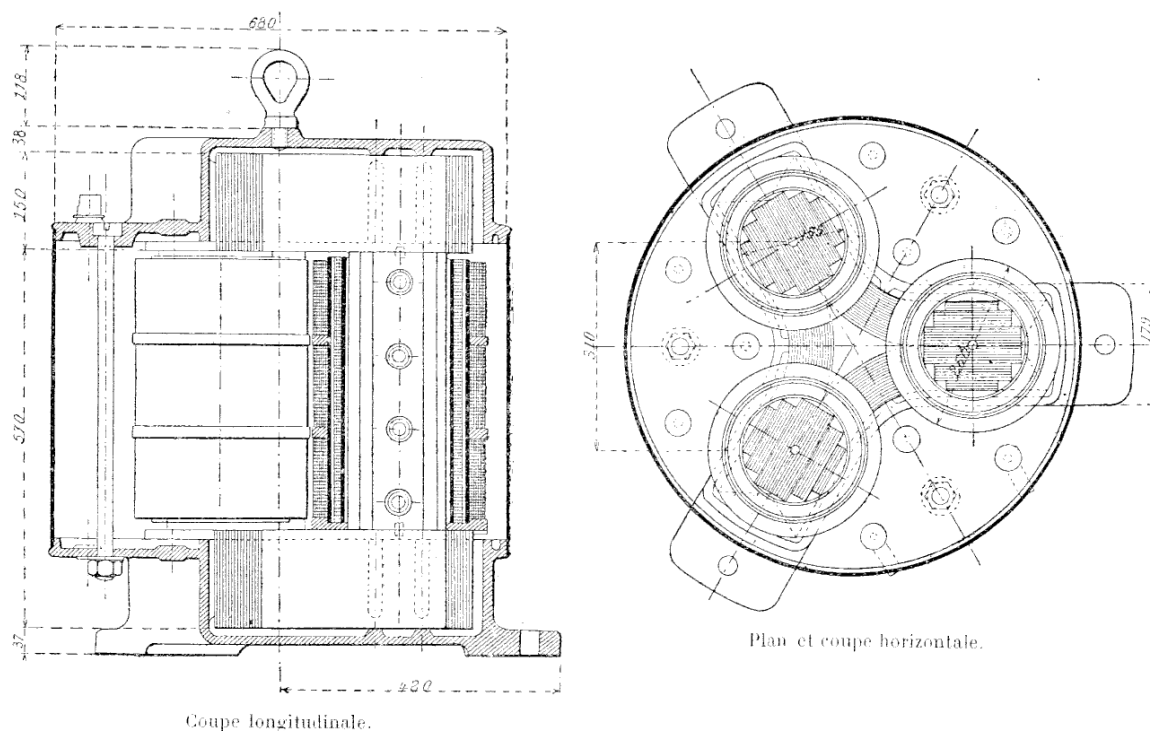


FIG. 28. — Transformateur triphasé de 20 kilovolts-ampères de la Compagnie internationale d'Électricité de Liège.

Transformateurs de la Société industrielle d'Électricité, procédés Westinghouse. — Ces appareils, isolés à l'huile, se construisent pour des puissances de 10 à 500 kw et des tensions atteignant jusqu'à 20 000 volts. Les enroulements primaires et secondaires sont tous deux répartis en bobines plates, composées d'un grand nombre de couches de fils de peu de tours chacune, chaque bobine étant isolée séparément. Cette construction présente les avantages suivants :

1° Répartition de la tension totale entre plusieurs bobines, ce qui réduit proportionnellement la différence de potentiel entre les extrémités de chaque bobine :

2° Répartition de la tension de chaque bobine entre un grand nombre de couches, ce qui réduit la force électromotrice entre deux couches adjacentes :

3° Possibilité d'écarter les bobines les unes des autres à leur partie extérieure, et d'offrir ainsi une grande surface de refroidissement par l'huile, d'où rayonnement facile et isolation plus parfaite des bobines entre elles. — Ce détail de construction a une importance capitale, et il est particulier aux transformateurs Westinghouse :

4° Le réglage du transformateur est fortement amélioré;

5° Les bobines peuvent être connectées en tension, ou en parallèle, d'où il résulte une grande latitude dans les tensions:

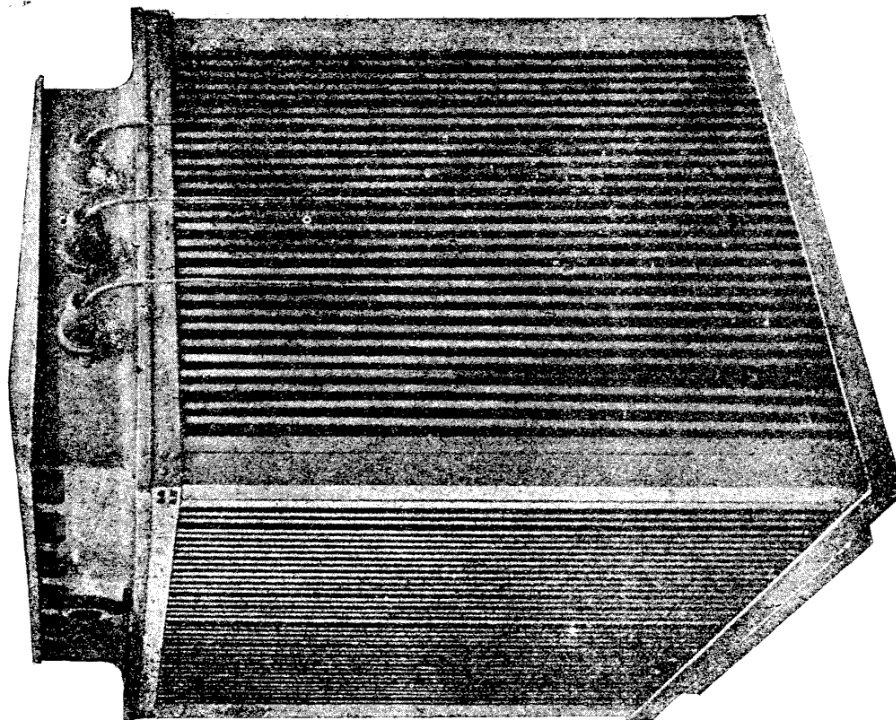


FIG. 20. — Dispositif de refroidissement des transformateurs à huile de la Société industrielle d'Electricité, procédés Westinghouse.

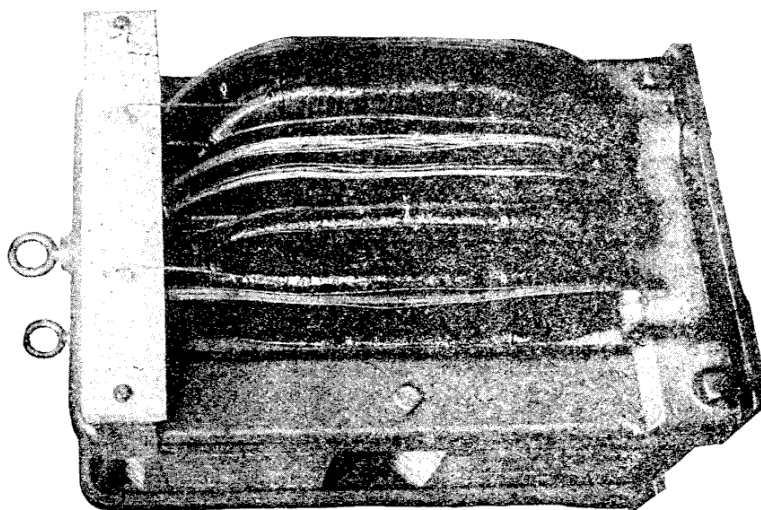


FIG. 21. — Transformateur à l'huile de la Société industrielle d'Electricité, procédés Westinghouse.

6° En cas d'accident à l'une des bobines, celle-ci peut être facilement remplacée par une autre, sans que le transformateur doive revenir à l'usine.

Les bornes sont montées sur une plaque de marbre, celles de la haute tension à une extrémité, celle de la basse tension à l'autre extrémité du transformateur. Les fils de connexion sont passés dans des manchons isolants, et aboutissent directement aux bornes (fig. 20).

L'huile étant reconnue aujourd'hui comme possédant les plus grandes qualités au point de vue de l'isolement pour hautes tensions, son emploi s'impose dans les transformateurs à haute tension. Ce sont ses qualités diverses et aussi sa conductibilité thermique assurant un facile abaissement de température qui ont conduit à adopter l'isolement par bain d'huile dans tous les grands transformateurs Westinghouse à haute tension.

Le refroidissement des transformateurs est obtenu automatiquement, par des moyens naturels, sans insufflation d'air et sans circulation d'eau au sein de l'huile.

Pour les puissances comprises entre 10 et 100 kw, les transformateurs sont placés dans des caisses en fonte pleines d'huile et dont les parois, munies d'ailettes en saillie à l'extérieur, présentent une surface considérable exposée à l'air servant à dissiper la chaleur dégagée dans le transformateur; l'huile agit comme conducteur de la chaleur entre le transformateur et sa caisse.

Pour les transformateurs plus puissants, de 100 à 500 kw, la caisse en fonte est remplacée par un autre dispositif en deux parties : la caisse proprement dite, en forte tôle de fer contenant l'huile, et un cadre extérieur en fer cornière supportant la caisse. Les parois de la caisse sont fortement ondulées, offrant ainsi une grande surface de rayonnement et de convection (*fig. 30*).

Transformateurs de la Société anonyme d'Électricité, ci-devant Lahmeyer. — Ces transformateurs, du type à noyau, consistent en trois colonnes verticales, de section approximativement

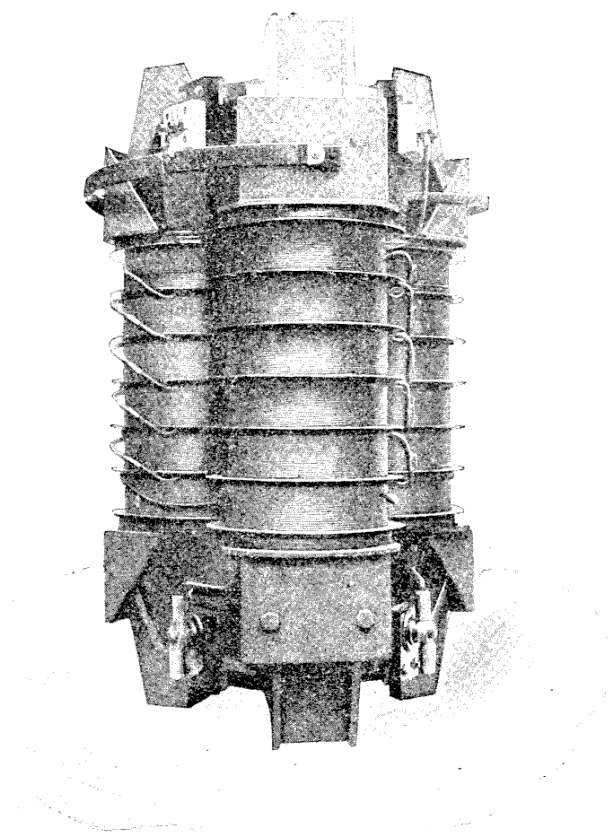


FIG. 31. — Transformateur Lahmeyer, vue d'ensemble.

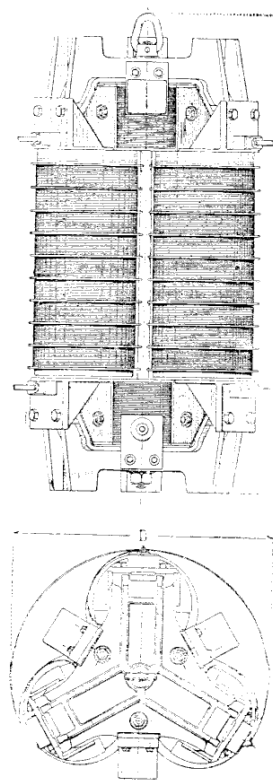


FIG. 32. — Transformateur Lahmeyer, élévation et plan.

ronde, serrées entre deux blocs terminaux fermant le circuit magnétique (*fig. 31 et 32*). Les colonnes, ainsi que les blocs, sont formées par l'assemblage de plaques très minces en tôle de

fer, séparées par des couches isolantes. Chaque noyau est enveloppé par les bobinages primaire et secondaire sandwichés.

Dans les transformateurs à forte intensité de courant, les spirales secondaires sont formées d'un très large ruban de cuivre roulé sur un manchon en micanite recouvert d'un cylindre isolant, qui rend impossible un court-circuit entre les deux bobinages. L'enroulement primaire des types plus puissants est divisé en plusieurs bobines complètement indépendantes, isolées l'une de l'autre et disposées de manière qu'entre les deux extrémités d'une bobine la tension ne dépasse pas 300 à 400 volts. Avec cet arrangement, on est à l'abri des courts-circuits entre les spirales primaires, et on obtient une grande sûreté de travail, même avec les tensions

les plus élevées de la technique moderne. En outre, on a l'avantage de pouvoir changer et réparer aisément toute bobine endommagée sans être obligé de défaire toute la spirale. Les transformateurs sont, en général, calculés pour 50 périodes par seconde. La puissance et le rendement indiqués sont pour une charge non inductive; dans les débits mixtes, la diminution du rendement dépend de la partie inductive.

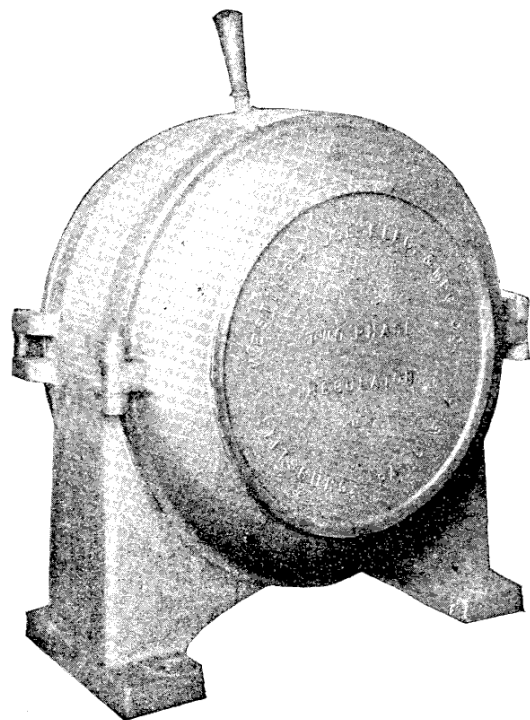


FIG. 33. — Régulateur pour le contrôle de la tension sur une commutatrice de 250 kw.

posé de telle manière que la tension puisse varier graduellement en passant d'une prise à l'autre.

La figure 33 représente le régulateur de la *Société industrielle d'électricité*, procédés Westinghouse.

Transformateurs hexaphasés. — Les transports d'énergie se font généralement par courants triphasés; mais, lorsque le courant triphasé doit être transformé en courant continu par une commutatrice, il y a avantage à le transformer en courant hexaphasé.

L'emploi du courant à six phases au lieu du courant triphasé a l'avantage d'augmenter considérablement la puissance d'une commutatrice de dimensions données: à échauffement égal, un induit donné peut produire 100 kw s'il est alimenté en courant triphasé, et 145 kw s'il est alimenté en courant à six phases. Le courant alternatif pénètre dans l'induit par un nombre de connexions double, et la perte par effet Joule est sensiblement diminuée de ce fait; de plus, les spires de l'enroulement étant parcourues par une intensité variable suivant leur position relativement aux connexions alternatives, la chaleur dégagée est mieux répartie sur l'ensemble de l'enroulement.

Les transformateurs alimentés à courant triphasé dans leur circuit primaire permettent

d'obtenir sans difficulté le courant à six phases. Plusieurs couplages du secondaire donnent le résultat voulu et s'appliquent, en général, à tous les transformateurs triphasés.

Celui qui assure la plus grande simplicité dans la construction des transformateurs et dans leurs connexions est celui présenté par la *Société alsacienne de Constructions mécaniques*. Dans ce montage, les primaires sont en triangle et les extrémités des secondaires reliées simplement, sans autres connexions, à deux bagues de la commutatrice. Cette solution donne au démarrage une légère difficulté; on la supprime complètement par l'emploi, entre transformateur et commutatrice, d'un interrupteur triple qui, pendant les périodes d'arrêt, isole électriquement la commutatrice du réseau. L'emploi du courant reste, dans ces conditions, d'une extrême simplicité.

Survolteur triphasé de la Société alsacienne de Constructions mécaniques. — Cet appareil permet de faire varier une tension triphasée quand cette tension est fournie constante par une station centrale ou inversement; il permet de maintenir aux extrémités d'une ligne une tension constante lorsque la tension de la génératrice est variable, ou lorsqu'il faut compenser les chutes de tension produites par le passage du courant à travers les câbles.

Cet appareil est encore tout indiqué lorsque l'on emploie des commutatrices et qu'il s'agit de varier la tension continue, comme c'est le cas pour une charge d'accumulateurs, par exemple, où la tension à la fin de la charge doit être de 30 pour 100 plus élevée qu'au commencement.

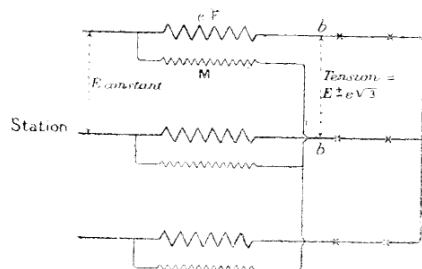


FIG. 34. — Survolteur triphasé non équilibré.

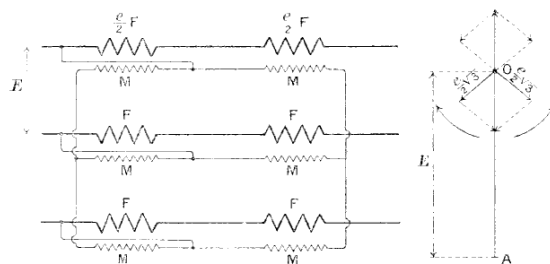


FIG. 35. — Survolteur triphasé équilibré.

Dans certaines installations, on emploie des bobines de self-induction pour obtenir des variations de tension. Mais ces bobines sont loin de remplir le but avec un courant variable. Ainsi une bobine de self-induction, qui permet de régler la tension de 100 pour 100, par exemple avec le courant normal, ne réglerait plus que de 5 pour 100 à demi-charge et n'aurait plus aucun effet à vide. De plus, avec les bobines de self-induction, le réglage n'est obtenu qu'au prix d'un décalage qui peut devenir très élevé, si les variations de tension sont un peu importantes. Un survolteur permet, au contraire, de régler la tension, quelle que soit l'intensité, sans introduire aucun décalage, et de régler dans une proportion quelconque. Cet appareil ressemble à un moteur asynchrone triphasé, bobiné, mais dans lequel l'enroulement intérieur joue le rôle d'inducteur et reste immobile pour chacune des positions de réglage. Le survolteur constitue ainsi un transformateur triphasé à induction mutuelle variable. Le réglage de cette induction mutuelle est obtenu par le simple déplacement de la partie mobile, déplacement qui peut être fait à la main ou par un petit moteur commandant par vis sans fin une roue dentée fixée sur l'arbre du survolteur.

Les enroulements de la partie fixe *F* (fig. 35) sont intercalés en série dans les 3 lignes triphasées. L'enroulement de la partie mobile est branché sur la ligne et produit ainsi un champ tournant qui induit dans la partie fixe *F* une tension *e* constante, mais qui, selon les positions respectives des enroulements, se trouve décalée sur la tension principale.

Cet appareil présente quelques inconvénients. En effet, comme les enroulements sont

parcourus par du courant, l'arbre est soumis à un couple, et il faut mettre un frein pour l'empêcher de tourner, et, pour déplacer la partie M dans le sens opposé au couple, il faut développer un effort assez grand. Cet appareil produit également un décalage variable entre la tension E et la tension résultante.

Ces deux inconvénients sont complètement supprimés dans la disposition adoptée par la *Société alsacienne des Constructions mécaniques*, et qui consiste à monter deux survolteurs sur le même arbre. Les enroulements fixes F sont en série; mais les deux enroulements mobiles M sont disposés de façon à ce que le sens de rotation du champ soit inversé dans l'un des moteurs.

L'un des moteurs tendant à tourner à gauche, l'autre à droite, l'arbre est simplement soumis à un effort de torsion, mais n'a plus aucune tendance à tourner, et la partie mobile M peut être déplacée très facilement.

De plus, on voit que si AO (fig. 35) représente la tension de la ligne, les tensions résultantes se trouvent toutes dans la direction de la ligne AO. Le décalage est ainsi évité.

Pour régler une tension constante, ce survolteur peut être rendu automatique par l'adjonction d'un relais monté à l'endroit où la tension doit être constante. Ce relais actionne un inverseur qui donne un contact tel qu'il fait tourner le moteur soit à droite, soit à gauche, suivant le résultat à obtenir.

Régulateurs d'induction de la Compagnie française Thomson-Houston. — Ces appareils jouent le même rôle et fonctionnent sur le même principe que les survolteurs triphasés décrits ci-dessus.

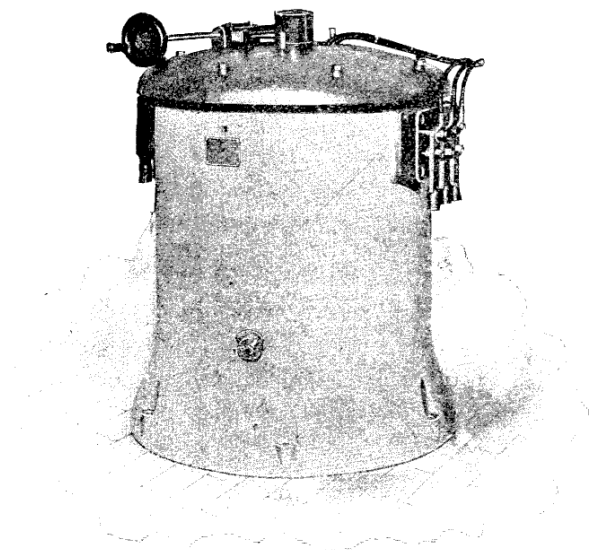


FIG. 36. — Régulateur triphase de potentiel à induction, commandé à la main.

Le primaire et le secondaire des régulateurs sont munis d'enroulements « distribués » ou, en d'autres termes, semblables à ceux des moteurs d'induction, et ils peuvent être établis pour n'importe quel nombre de phases. On les construit couramment pour des circuits alternatifs simples ou à deux, trois ou six phases, mais ils sont tous basés sur le même principe.

La construction du régulateur d'induction ressemble beaucoup à celle des moteurs d'induction: les circuits inducteurs en cuivre sont d'abord obtenus à la forme, puis isolés avec beaucoup de soin et placés dans des rainures pratiquées dans les noyaux.

L'enroulement primaire se place sur le noyau mobile; dans le cas d'un régulateur triphasé, il est disposé en

triangle ou en étoile; les enroulements secondaires sont placés sur le noyau fixe, et ne sont pas reliés entre eux, mais insérés respectivement dans les branches correspondantes de la ligne.

Les connexions, depuis les bornes jusqu'à l'enroulement primaire, sont faites en câbles flexibles, et n'offrent pas de contacts à frotteurs. Le déplacement angulaire maximum est de 90° pour les machines à 4 pôles, de 60° pour les machines à 6 pôles, ce qui permet d'assurer les connexions au moyen de fils flexibles, au lieu de contacts à frottements.

Le noyau mobile et l'enroulement sont montés sur un arbre vertical dont l'extrémité supérieure émerge du couvercle. A cet arbre, est adopté un secteur denté qui engrène avec une vis sans fin portée par l'arbre de commande.

Tout en offrant un rendement un peu plus élevé que celui des moteurs d'induction d'égale

puissance, le régulateur n'a pas de pièces mobiles qui lui assurent la même circulation d'air. On y supplée en les refroidissant par l'huile jusqu'à la puissance de 8 kilowatts.

La figure 36 représente un régulateur triphasé de cette puissance, à 25 périodes, à refroidissement par l'huile. Les nervures extérieures ont pour but d'augmenter la surface rayonnante dans des proportions suffisantes pour maintenir une basse température, lorsque le régulateur fonctionne à pleine charge. Un refroidissement artificiel peut être obtenu par l'emploi d'air sous pression, ou au moyen de serpentins à circulation d'eau froide.

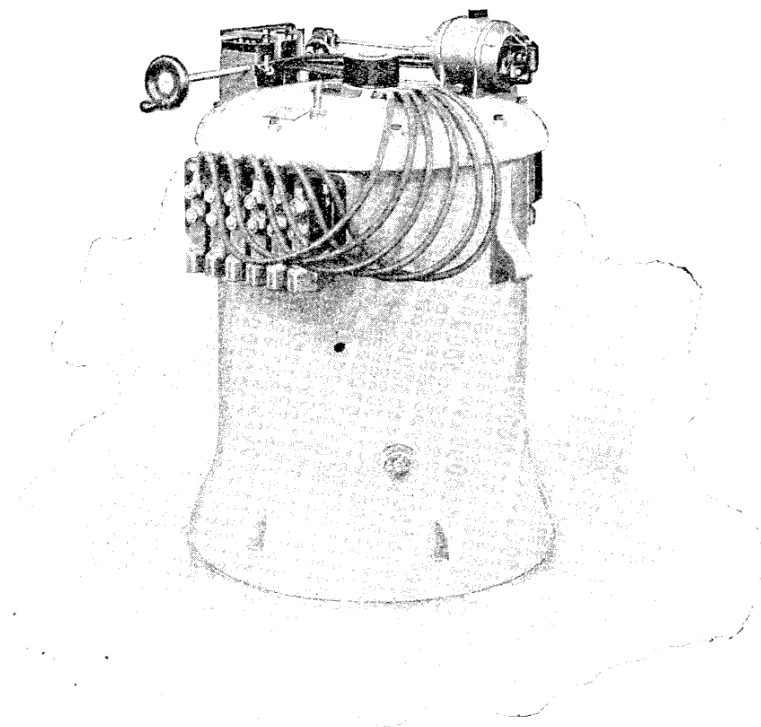


Fig. 37. — Régulateur de potentiel refroidi par l'huile avec commande par moteur.

Dans les stations centrales, où il existe des transformateurs à circulation d'air, cette méthode de refroidissement est recommandée, aucun matériel de ventilation séparé n'étant nécessaire, et le régulateur pouvant recevoir l'air de la même source que les transformateurs.

La figure 37 représente un régulateur refroidi par insufflation d'air sous pression. L'air froid entre par une ouverture ménagée dans la base, et l'air chaud est évacué par le couvercle. Ce genre de régulateur est pourvu d'une trappe de fond, qui sert à régler le débit d'air nécessaire au refroidissement.

Les régulateurs à eau sont préférables dans les stations ne renfermant pas de transformateurs à air, et ayant une source d'eau froide. Le récipient renferme une quantité d'huile isolante suffisante pour couvrir les enroulements et les tuyaux de circulation de l'eau, disposés à la partie supérieure.

Poids et rendements des transformateurs à courants alternatifs. — Nous ne pouvons décrire en détail tous les transformateurs — d'ailleurs fort nombreux — qui figuraient à l'Exposition. Nous avons surtout fait connaître ceux pour lesquels nous disposions de données de construction ou de données expérimentales. On aura une idée de l'état de perfection auquel sont arrivés les transformateurs modernes en jetant un coup d'œil sur le tableau de la page 34, qui fournit, en

fonction de la puissance, les poids et les rendements à pleine charge non inductive de quelques types de fabrication courante. Ces chiffres nous ont été communiqués par les constructeurs.

POIDS (EN KG) ET RENDEMENTS À PLEINE CHARGE NON INDUCTIVE (EN POUR 100)
DES TRANSFORMATEURS À COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES ET POLYPHASÉS

PUISANCE en kilowatts	COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES								COURANTS ALTERNATIFS TRIPHASÉS							
	OERLIKON		PACKARD		C ^{ie} G ^{ie} ÉLECTRIQUE NANCY		DECAUVILLE		C ^{ie} G ^{ie} ÉLECTRIQUE NANCY		LAHMEYER		ELEKTRICHES ACHEN- GESELLSCHAFT KÖLN			
	Poids	Rendement	Poids	Rendement	Poids	Rendement	Poids	Rendement	Poids	Rendement	Poids	Rendement	Poids	Rendement	Poids	Rendement
1	»	»	68	95	60	94	80	92,5	»	»	150	91	100	92	»	»
2	130	92,5	97	95	90	93	»	»	»	»	170	92	»	»	»	»
3	»	»	132	96,5	»	»	155	94	170	93,5	220	93	153	92	»	»
4	220	94	155	96,6	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
5	»	»	182	96,7	160	95	280	94	350	95	315	93,5	280	93	»	»
10	340	93	286	97,3	320	96	400	96	450	96	425	94	450	95	»	»
15	»	»	368	97,3	370	96	»	»	360	96	355	93	»	»	»	»
20	570	93,5	323	97,5	420	96,5	»	»	720	96	655	95,5	»	»	»	»
25	»	»	637	97,5	550	96,5	722	97,5	980	96,5	»	»	722	96,5	»	»
30	675	96	682	97,5	670	96,5	»	»	1 200	96,5	870	96	»	»	»	»
40	»	»	»	»	800	97	1 000	97,5	1 500	96,5	1 010	96	1 000	96,5	»	»
50	910	96,5	»	»	1 100	97	»	»	1 800	96,5	»	»	1 250	97	»	»
65	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1 575	96,5	»	»	»	»
75	1 200	97	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1 700	97	»	»
80	»	»	»	»	1 500	97	»	»	2 400	97	1 825	96,5	»	»	»	»
100	1 600	97	»	»	1 700	97	»	»	2 800	97,5	2 120	97	2 100	97	»	»
125	»	»	»	»	»	»	»	»	3 250	97,5	2 400	97	»	»	»	»
150	2 000	97	»	»	»	»	»	»	3 700	97,5	2 800	97	»	»	»	»

TRANSFORMATEURS HÉTÉROMORPHIQUES

Dans ce groupe figurent tous les systèmes qui effectuent la transformation de l'énergie en en modifiant la *forme*.

On peut les subdiviser en deux classes, suivant que la transformation se fait ou non en passant par la forme mécanique. Dans le premier cas, les transformateurs sont *indirects*; dans le second cas, ils sont *directs*.

Les transformateurs indirects portent le nom de *moteurs-générateurs*.

Les transformateurs directs, sont des *redresseurs*, des *bobines d'induction*, des *convertisseurs*, des *commutatrices* ou des *permutatrices*.

TRANSFORMATEURS INDIRECTS

Moteurs-générateurs. — La transformation *indirecte* d'une forme de courant en une autre s'effectue en passant par l'intermédiaire du travail mécanique, par un *moteur-générateur*.

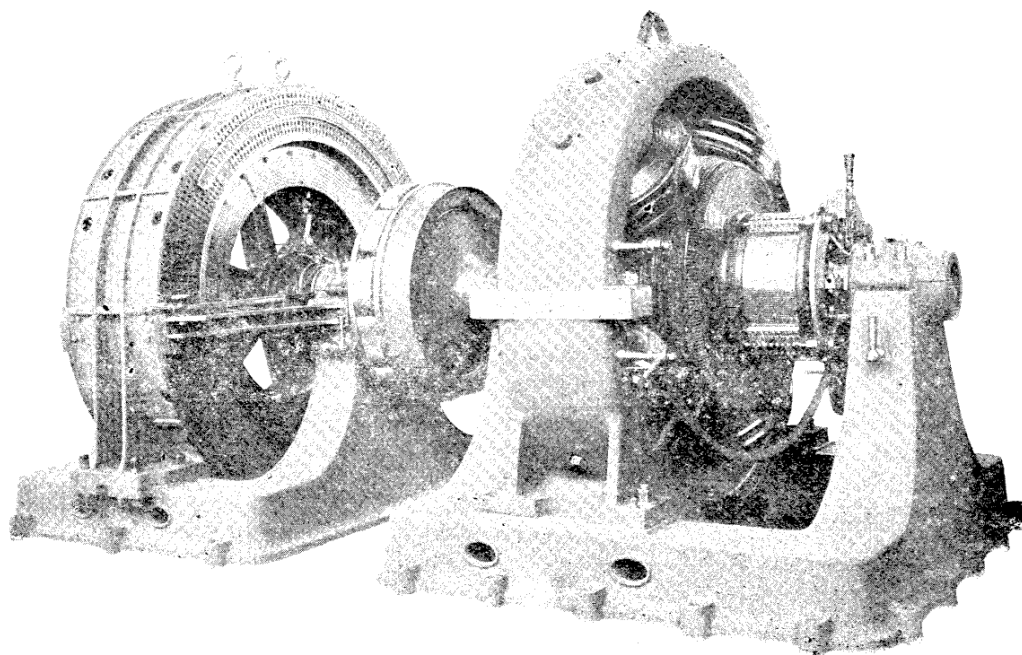


FIG. 38. — Moteur-générateur des Ateliers d'Oerlikon.

Comme son nom l'indique, un moteur-générateur est constitué en principe par un moteur recevant le courant à transformer et actionnant un générateur électrique produisant le courant transformé. Il peut donc modifier à la fois la forme, la fréquence, la tension et l'intensité du courant à transformer.

Le moteur-générateur fournit la solution la plus générale du problème de la transformation d'un courant de forme A en un courant de forme B. La solution présente l'inconvénient d'un encombrement plus grand, d'un prix plus élevé et d'un rendement un peu inférieur; mais elle facilite le réglage du générateur, qui se trouve être indépendant de celui du moteur.

Les *Ateliers d'Oerlikon* exposaient un moteur-générateur à courant triphase asynchrone de 225 kilowatts, 1 950 volts, 110 ampères, actionnant une dynamo à courant continu de 200 kilowatts 550 volts, 360 ampères. Cet ensemble avait, à pleine charge, un rendement industriel voisin de 90 pour 100 *fig. 38*.

Les *Etablissements Postel-Vinay* exposaient également un moteur triphasé synchrone actionnant une dynamo à courant continu. L'application de ce dispositif est tout indiquée pour les circuits d'éclairage, car la vitesse du moteur synchrone reste indépendante des fluctuations du potentiel sur la ligne, ce qui assure une grande régularité de la distribution.

La *Société industrielle d'électricité* (procédés Westinghouse) employait pour la transformation des courants alternatifs à 5 000 volts et 25 périodes par seconde en courant continu à 550 volts actionnant la plate-forme tournante et le chemin de fer électrique, des moteurs asynchrones Westinghouse actionnant directement des dynamos à courant continu. Les dispositifs spéciaux de mise en marche et de réglage de ces appareils seront indiqués dans le fascicule consacré à la *Distribution de l'énergie électrique*.

TRANSFORMATEURS DIRECTS

Les transformateurs directs hétéromorphiques modifient la forme du courant transformé sans passer par l'intermédiaire du travail mécanique.

Suivant les formes des courants transformés, on en distingue un certain nombre de groupes que nous examinerons successivement.

COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES EN COURANTS REDRESSÉS

REDRESSEURS

On désigne sous ce nom de *Redresseurs* les appareils qui transforment les courants alternatifs simples en courants redressés. Suivant leurs principes de fonctionnement, on les divise en *redresseurs mécaniques* et *redresseurs électrolytiques*.

REDRESSEURS MÉCANIQUES. — Les redresseurs mécaniques sont constitués, en principe, par un commutateur actionné par un moteur synchrone effectuant la commutation au moment où le courant passe par zéro. Aucun dispositif de ce genre ne figurait à l'Exposition de 1900.

REDRESSEURS ÉLECTROLYTIQUES. — Ces appareils effectuent le redressement en utilisant les propriétés électrochimiques (force électromotrice et capacité de polarisation) d'électrodes en aluminium et charbon plongés dans des solutions spéciales. On constitue avec ces électrodes des *clapets* ou *souppapes électriques*, qui ne laissent passer le courant que dans un sens, en les combinant convenablement, on parvient à réaliser un véritable redressement du courant qui permet, par exemple, la charge de batteries d'accumulateurs ou le fonctionnement d'un moteur à courant continu avec un système ne comportant aucune partie mobile. Ces appareils, récemment étudiés par M. *Pollak* et M. *Graetzol*, ne figuraient pas à l'Exposition de 1900.

COURANT CONTINU EN COURANTS ALTERNATIFS DISSYMMÉTRIQUES

BOBINES D'INDUCTION

Ce mode de transformation spécial est réalisé par les *bobines d'induction*, dont les appareils de Masson et de Breguet sont les prototypes.

Le transformateur est constitué par leurs organes distincts : la bobine proprement dite et l'interrupteur de courant primaire.

BOBINES. — Les rayons X et la télégraphie sans fil, première application d'un caractère utilitaire de la bobine d'induction, ont conduit les constructeurs, depuis quelques années, à

établir des bobines de grandes dimensions. Il y avait à l'Exposition plusieurs bobines donnant 1 m d'étincelles (Klingelfuss, de Bâle; Max Levy, de Berlin). Dans la section française, deux bobines, donnant environ 80 cm d'étincelles, ont fonctionné couramment Ducretet, Radiguet. Enfin, beaucoup d'autres constructeurs avaient exposé des modèles à peu près équivalents. De l'ensemble on peut conclure que les bobines de 30 à 50 cm d'étincelles sont aujourd'hui très courantes. Au point de vue de la forme extérieure, les bobines allemandes ont presque toutes le même aspect. Entièrement revêtues d'ébonite, elles ont, sauf peut-être celles de *Siemens*, un inducteur beaucoup plus long que le corps de la bobine, et cet inducteur est lui-même recouvert d'un tube d'ébonite. Cette disposition permet de faire glisser l'inducteur dans le corps, et, par suite, de faire varier l'induction mutuelle entre les deux circuits; il en résulte un moyen de réglage

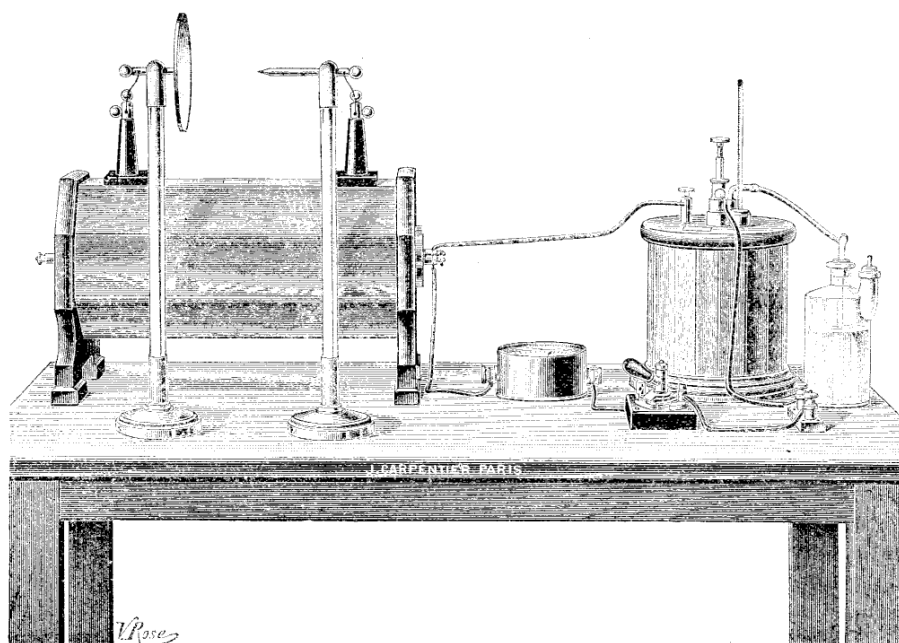


FIG. 39. — Bobine Carpentier avec interrupteur Wehnelt.

assez simple. Le plus souvent les bobines sont séparées de leur condensateur et, dans quelques cas, elles sont suspendues à des potences isolantes de façon à tenir moins de place (*Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft*, A. E. G.).

Dans la section française, au contraire, les formes sont assez variées. La bobine Ducretet, de 80 cm d'étincelles, est enveloppée dans une boîte rectangulaire en ébonite, et placée au-dessus de son condensateur.

La bobine *Radiguet*, de même longueur d'étincelles, est enfermée dans une très grande cuve, à parois en verre, remplie de paraffine; les modèles courants de cette maison sont composés de corps cylindriques noyés à moitié dans la paraffine du socle.

Les bobines *Gaiffe* sont enfermées dans des boîtes rectangulaires en bois.

Les bobines *Carpentier* sont couvertes d'une enveloppe polygonale en bois (fig. 39).

Les transformateurs *Rocheport* sont enfermés dans des cuves cylindriques verticales, les bornes étant l'une au-dessus de l'autre.

On trouve chez M. *Carpentier* des modèles verticaux qui rappellent un peu les dispositions de certaines bobines construites au début par *Rohmkorff*.

L'emploi des isolants liquides ou pâteux ne se répand pas beaucoup. Seuls M. *Rocheport* et M. *Ducretet* en font usage. La bobine de ce dernier est formée de sections séparées par des

cloisons en verre, et le tout est noyé dans un isolant pâteux spécial. Tous les autres constructeurs emploient les isolants solides : paraffine, cire, résine.

Siemens et *Halske* enroulent les inducteurs sur un faisceau composé de lame de tôle, de largeurs inégales, de façon à s'inscrire dans un cylindre.

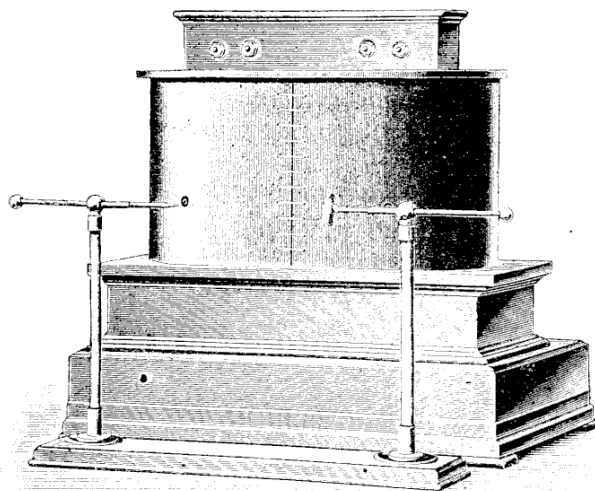


FIG. 40. — Transformateur Klingelfüss.

Dans la bobine *Klingelfüss* (fig. 40), à circuit magnétique fermé, le noyau est composé de tôles en forme d'U ; sur chacune des branches verticales est placée une des moitiés du secondaire. Afin de fermer mieux encore le circuit magnétique, deux pièces polaires, également en tôle, peuvent être ajoutées, laissant seulement entre elles un entrefer étroit.

Interrupteurs. — Les interrupteurs actuels peuvent être rangés dans trois catégories : interrupteurs secs, interrupteurs à liquide et interrupteurs électrolytiques.

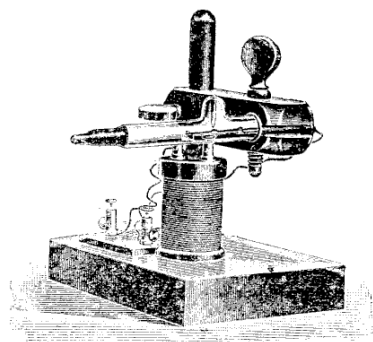


FIG. 41. — Interrupteur Moore dans le vide.
Modèle de M. Max Kohl, de Chemnitz.

Les interrupteurs *secs*, dérivés du classique interrupteur à marteau, ne sont guère employés pour les bobines donnant plus de 25 cm d'étincelles, et ils ne peuvent pas supporter régulièrement des forces électromotrices supérieures à 20 volts. L'usage de ces instruments est ainsi assez réduit et limité, soit aux expériences de courte durée, soit aux petites bobines (inflammation des moteurs à gaz).

Parmi la grande variété de formes que l'on rencontre aujourd'hui, il n'y a rien de particulier à signaler, sauf cependant l'interrupteur de *Mac Farlane Moore*, exposé par *Max Kohl*, de Chemnitz. Cet appareil (fig. 41) consiste simplement en une lame vibrante placée dans une ampoule où on a fait le vide le plus parfait possible.

Un électro attirant la masse de fer portée par la lame entretient la vibration de celle-ci, et l'ouverture du circuit se fait dans le vide, entre deux contacts de platine, de sorte que l'étincelle de rupture est très réduite.

Interrupteur Villard. — Le mouvement de vibration de la tige qui plonge dans le mercure est entretenu par l'action électrodynamique qui s'exerce entre le courant et un aimant perma-

nent. Dans le petit modèle destiné à donner 20 interruptions, environ, par seconde (fig. 6 et 7), une tige C' est fixée à un ressort plat encastré à ses deux extrémités; une masse, mobile le long de la tige, permet de régler la vitesse des oscillations. La tige C' passe dans l'étroit entrefer ménagé dans un aimant annulaire, et elle porte un fil en nickel qui plonge dans le godet à mer-

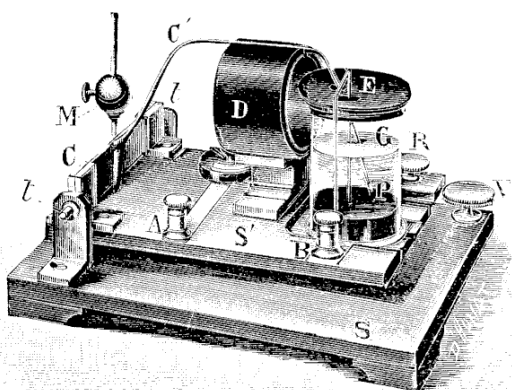


FIG. 42. — Interrupteur Villard. Petit modèle.

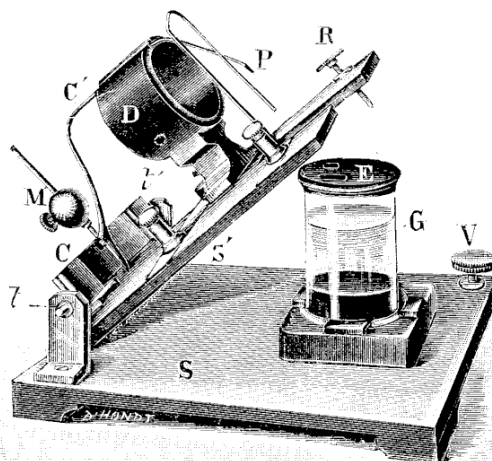


FIG. 43. — Interrupteur relevé.

cure. Au repos, le contact existe entre le fil et le mercure, et le courant passe dans la tige C' ; mais, si l'on a eu soin d'envoyer le courant dans le sens convenable, son action sur l'aimant tend à relever la tige et à faire sortir le fil de nickel du mercure; le courant est ainsi rompu et l'élas-

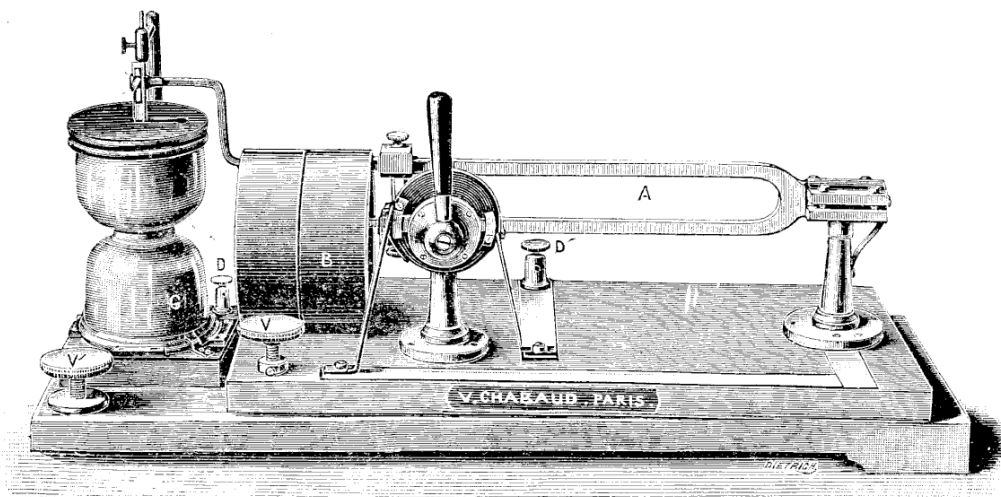


FIG. 44. — Interrupteur Villard. Grand modèle à diapason.

ticité de la lame ramène les choses à l'état initial. La tige prend ainsi un mouvement vibratoire dont on peut faire varier l'amplitude en agissant sur la vis R , qui règle la plongée du fil de nickel dans le mercure. Grâce aux dispositions ci-dessus, la rupture peut être réglée pour une intensité déterminée, ou à peu près, et il n'y a pas besoin d'une source auxiliaire pour entretenir le mouvement de vibration. Le système, aimant et tige vibrante, est porté par une plan-

chette articulée à charnière sur le socle, ce qui fait que l'on peut sortir le godet à mercure sans changer le réglage.

Le grand modèle repose sur le même principe : mais il est disposé pour des oscillations plus rapides : 40 à 45 par seconde. La lame vibrante est remplacée par un diapason (*fig. 8*). La manette qui est en avant sert à la fois à fermer le circuit et à mettre le diapason en mouvement ; il suffit de la faire tourner de 180° pour faire les deux opérations, une clef venant, dans ce mouvement, écarter les branches du diapason. Des masses, mobiles le long des branches, permettent une faible variation de la fréquence. Le même appareil, très légèrement modifié, peut servir pour actionner les bobines à l'aide du courant alternatif, ce qui peut être utile dans les villes où ce courant est seul distribué. Le diapason ordinairement employé, 40 à 45 vibrations doubles par seconde, convient pour un grand nombre de réseaux.

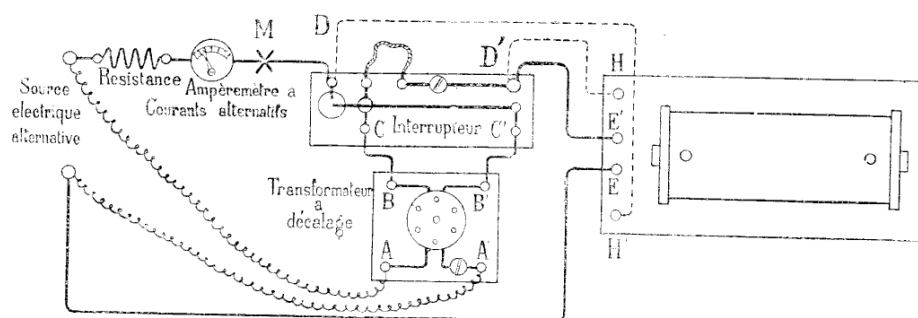


FIG. 45. — Schéma de l'interrupteur de M. Villard à diapason. — AA' BB', bornes d'entrée et de sortie du transformateur à décalage ; CC', bornes du circuit auxiliaire de l'interrupteur ; DD', bornes principales de l'interrupteur ; EE', bornes du circuit inducteur de la bobine ; HH', condensateur ; M, manette d'interruption.

Si, dans l'appareil de la figure 8, on envoie un courant alternatif, et si le diapason est en synchronisme avec ce courant, il est évident, que pendant une phase, la tige tendra à plonger dans le mercure, tandis que, dans l'autre, elle tendra à en sortir ; il n'y aura donc qu'une seule rupture par période. Mais, comme il faut que la bobine ne soit parcourue que par du courant de même sens, il faut produire l'excitation du diapason par un courant spécial, pris sur le même réseau, tandis que le courant de la bobine passe d'un godet auxiliaire au godet où se fait la rupture, sans traverser l'aimant. L'installation, représentée schématiquement par la figure 9, est ainsi faite : une dérivation prise sur le réseau alimente un petit transformateur dont le secondaire est relié à l'interrupteur ; le courant transformé parcourt toujours la partie du diapason qui traverse l'aimant ; mais, comme le courant est décalé par rapport au courant primaire, il est possible de régler les choses pour que la fermeture, qui se fait entre le godet D et le godet auxiliaire, se produise au début de la phase utile, tandis que la rupture se produit au maximum de cette phase.

Interrupteurs à moteur. — Un dispositif qui tend à régulariser et paraît être un des meilleurs, est celui dans lequel un petit moteur électrique, alimenté par une source spéciale, ou en dérivation sur le réseau, imprime un mouvement vertical alternatif à une tige de cuivre qui plonge et émerge du mercure. Cette disposition se retrouve, avec quelques variantes, chez presque tous les constructeurs : *Hirschmann* (*fig. 47*), *Max Kohl*, *Ducretet*, *Gaiffe*, etc. Ces appareils se recommandent par leur très grande régularité de marche, leur amplitude uniforme, qui évite bien des ratés, et le mouvement vertical de la tige qui produit le minimum de projection et de pulvérisation du mercure. Par contre, ces interrupteurs ne se prêtent guère à la réalisation des fréquences élevées, et ce n'est qu'en disposant deux godets semblables, un à chaque bout de l'arbre du moteur, que M. Gaiffe obtient 100 interruptions par seconde.

Interrupteur rotatif Ducretet. — Sur un axe horizontal, actionné par un moteur électrique, sont fixés un disque et une étoile métalliques, qui plongent dans deux godets en fonte remplis de mercure et isolés l'un de l'autre ; le tout est renfermé dans une cuve remplie d'alcool ou de pétrole. Le disque plonge constamment dans son godet, tandis que les pointes de l'étoile plongent et sortent successivement du mercure. Pour régler la durée du contact, il suffit d'élever ou d'abaisser les godets.

Interrupteur Radiguet *fig. 46.* — La rupture se produit entre deux pièces de cuivre. La tige supérieure est suspendue à l'armature d'un électro par l'intermédiaire d'un ressort elliptique semblable à un ressort de voiture. L'électro étant excité par le courant même de la bobine, son armature se lève et rompt le contact qui existait entre la tige verticale et un gros bloc de cuivre porté par une potence. Le courant étant rompu, l'armature et la tige retombent en rétablissant le contact. Grâce au ressort, la tige verticale presse sur le bloc pendant une fraction réglable de la période, et la rupture se fait quand la vitesse de l'armature est déjà devenue assez grande, ce qui assure un arrachement brusque de la tige verticale. Le réglage s'obtient par le déplacement du contact, au moyen de la potence qui la porte.

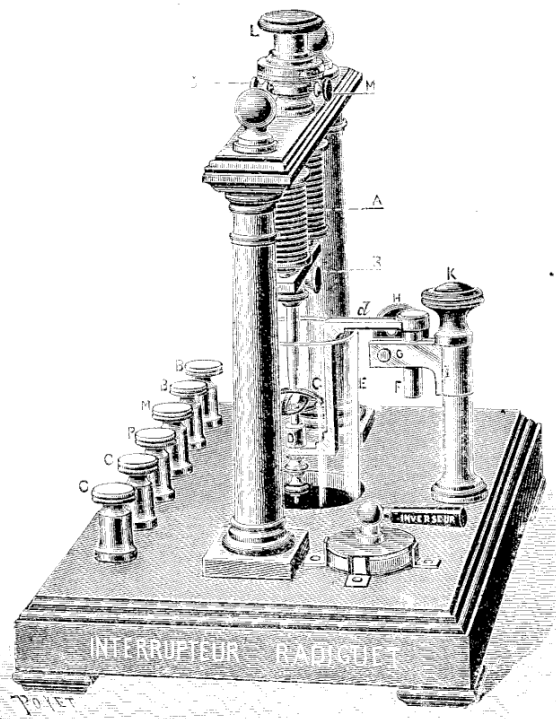


FIG. 46.

Interrupteur Hirschmann à contact glissant *fig. 47.* — Un moteur électrique M fait tourner une lame de cuivre qui glisse sur une autre lame fixe et, pour assurer un bon contact, sans

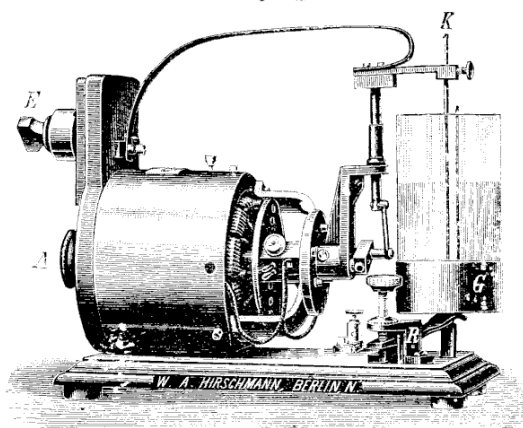


FIG. 47. — Interrupteur Hirschmann à moteur.

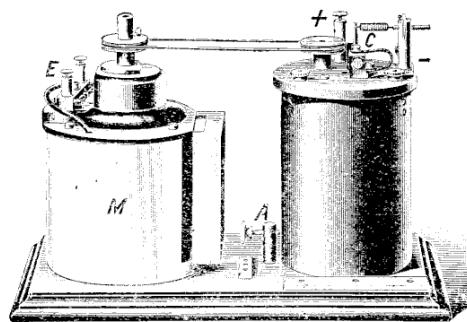


FIG. 48. — Interrupteur Hirschmann à contact glissant.

produire un frottement trop énergique, une mince couche de mercure est interposée entre les deux lames. Le réglage de la durée du contact se fait au moyen du ressort C. Cet interrupteur

donne, paraît-il, une grande régularité dans les interruptions, et l'usure du mercure est réduite au minimum.

Interrupteur-turbine de l'Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft. — Dans cet appareil (*fig. 49 et 12*), une petite turbine, dont l'axe est vertical, pompe le mercure contenu dans une cuve en fonte. Le mercure monte, dans l'arbre creux de la turbine, jusqu'à un disque horizontal où il rencontre un ajutage: il sort de là, projeté par la force centrifuge, sous forme d'un jet fin et rigide. Ce filet de mercure rencontre en tournant les dents d'un anneau de fonte suspendu dans la cuve et isolé électriquement de celle-ci. Quand le filet de mercure tombe sur une des dents, le circuit est fermé: il est ouvert quand le filet tombe dans l'intervalle de deux dents consé-

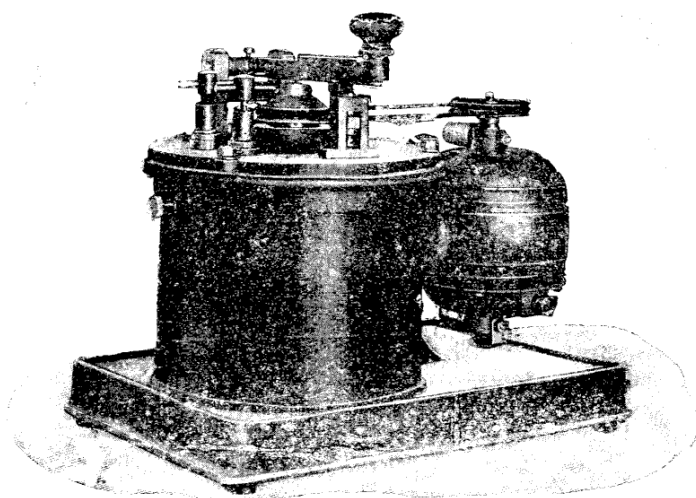
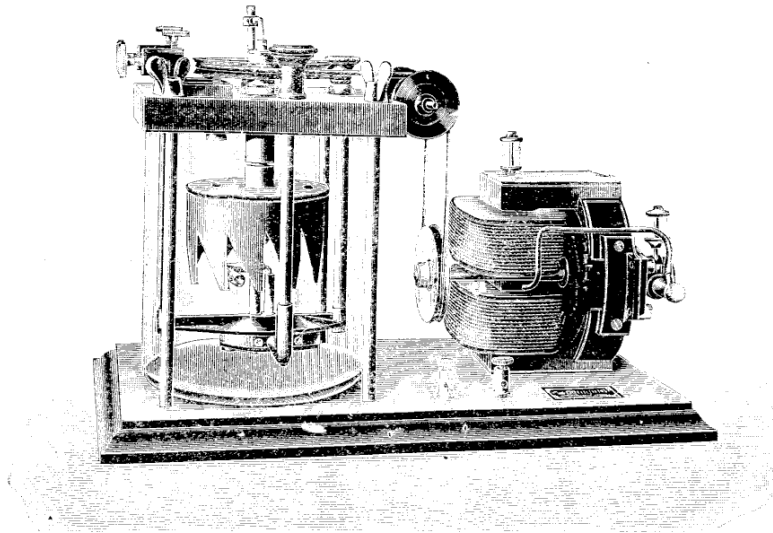


FIG. 49. — Interrupteur-turbine de l'A. E. G.

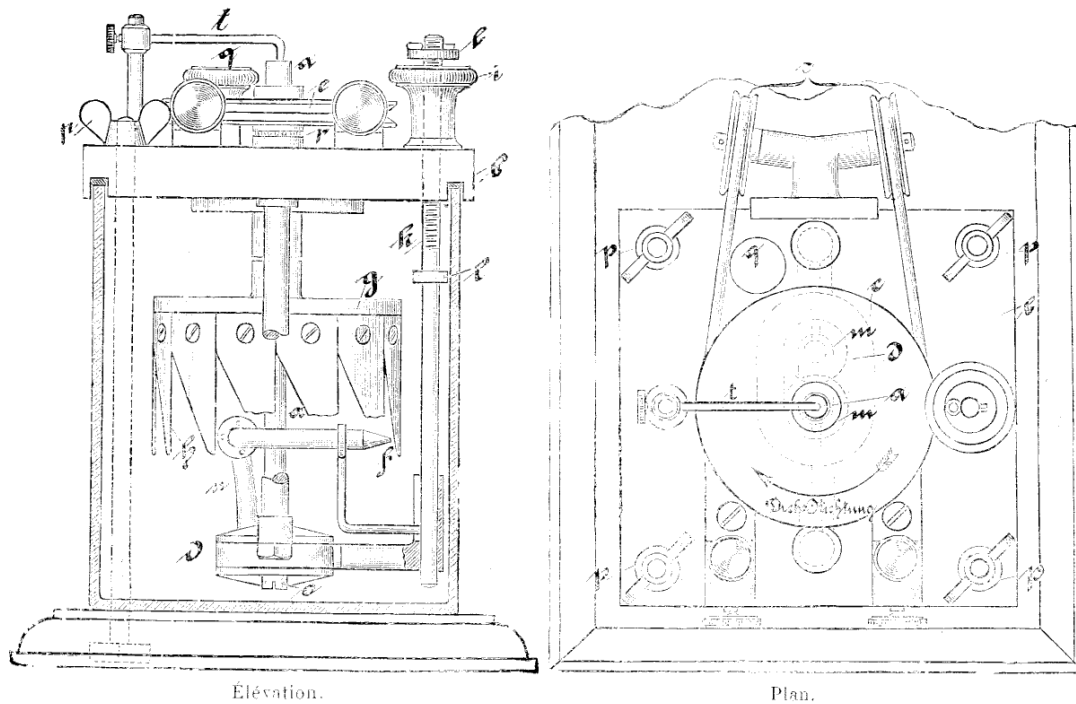
tives. Les interruptions sont très franches, de même que le contact s'établit bien. La fréquence des interruptions peut être augmentée facilement: il suffit de remplacer la couronne dentée par une autre ayant un plus grand nombre de dents. La turbine est actionnée par un petit moteur électrique que l'on voit sur le côté, ou par une manivelle tournée à la main. Il y a lieu de remarquer que cet interrupteur ne fonctionne pas à une faible fréquence, la turbine ne s'amorçant pas au-dessous d'une certaine vitesse. La cuve est naturellement remplie d'un liquide isolant; celui qui paraît préférable dans cet appareil, c'est l'alcool. Cet interrupteur pulvérise fortement le mercure; mais l'inconvénient est assez faible, puisque la turbine puise toujours le mercure homogène au fond de la cuve. Les deux ailettes hélicoïdales que l'on voit sur la coupe ont pour but d'empêcher la masse de mercure de prendre un mouvement de rotation continue qui désamorcerait la turbine. Une conséquence évidente du principe de cet interrupteur, c'est que l'arrêt, accidentel ou volontaire, de la turbine, coupe immédiatement le circuit; cette particularité permet de supprimer le rhéostat, que l'on met généralement sur le circuit de la bobine pour éviter l'élévation anormale de l'intensité en cas d'arrêt.

Interrupteur à jet de mercure de M. Max Lévy, de Berlin. — Dans cet instrument (*fig. 30, 14 et 15*), le jet de mercure est fixe et c'est la couronne dentée qui tourne. L'arbre qui porte la turbine porte également une couronne métallique à dents triangulaires. Le mercure, refoulé par la pompe rotative dans l'ajutage *f*, est projeté sur les dents de la couronne dentée qui passent sur son trajet, mais comme l'ajutage *f* est mobile et peut être soulevé ou abaissé, en tournant le bouton *i*, le jet de mercure, dirigé plus ou moins haut, rencontre les parties plus ou

moins larges des dents, ce qui fait que la durée du contact peut être modifiée, même en marche, indépendamment de la fréquence des interruptions.



Vue d'ensemble avec le moteur.



Élévation.

Plan.

FIG. 50. — Interrupteur à jet de mercure de M. Max Lévy.

Interrupteurs électrolytiques. — On retrouve des modèles de ces interrupteurs, très peu différents les uns des autres, chez beaucoup de constructeurs.

Interrupteurs Wehnelt. — Dans le modèle le plus simple, l'anode, réglable au moyen d'un bouton moleté, est placée dans un tube de porcelaine, et son extrémité sort à la partie inférieure ; la cathode est une lame de plomb enroulée autour du tube. Pour un fonctionnement

continu, afin d'éviter l'échauffement exagéré de l'électrolyte, lequel a, comme on le sait, l'inconvénient d'arrêter la marche de l'appareil, dès que la tension est supérieure à 40 ou 50 volts, la cathode est un vase en plomb, placé dans un récipient plus grand, dans lequel une circulation d'eau est ménagée. Afin d'amener un refroidissement plus rapide de l'électrolyte, le vase cathode porte, latéralement, un serpentin en plomb dont une des extrémités est à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure, de sorte qu'une circulation s'établit également dans l'eau acidulée, le serpentin étant plus facilement refroidi que le vase.

Dans le modèle de M. J. Carpentier (fig. 51), l'échauffement de l'électrolyte est utilisé pour permettre le fonctionnement à basse tension, 15 à 20 volts environ. Dans cet appareil, l'anode réglable est placée dans un tube de verre et plonge dans l'électrolyte renfermé dans un vase en plomb formant cathode; mais, afin d'éviter le refroidissement du liquide, ce vase est entouré d'une enveloppe en feutre et en bois. Pour mettre en marche cet interrupteur, il faut, ou rem-

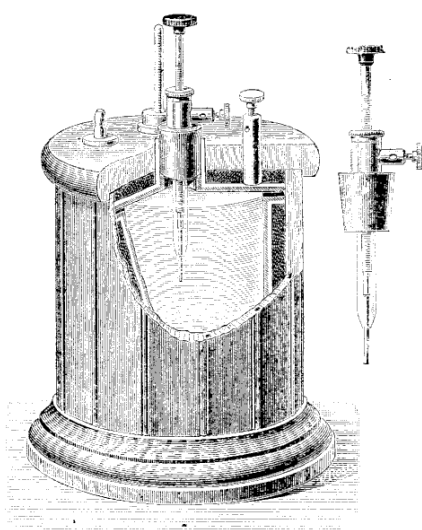


Fig. 51. — Interrupteur Wehnelt avec anode réglable.

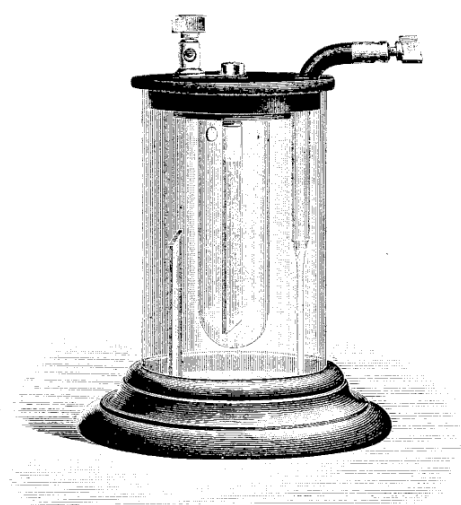


Fig. 52. — Interrupteur Simon ou Caldwell.

plir le vase d'eau acidulée, chauffée à 90°, ou échauffer le liquide sur place en faisant fonctionner l'interrupteur sur un circuit à 100 volts environ; au bout de dix minutes, en moyenne, avec une intensité de 10 à 15 ampères, la température est assez élevée pour fonctionner à basse tension et cette température se maintient très bien, si l'interrupteur est employé d'une façon continue.

Interrupteur Caldwell ou Simon. — L'étude de l'interrupteur Wehnelt ayant montré qu'il s'agissait là, principalement, d'un phénomène calorifique très intense qui, se produisant au contact de l'anode et de l'électrolyte, amenait la formation d'une gaine de vapeur isolante, il était naturel de penser, que si on réalisait cette résistance en un autre point du circuit, on arriverait au même résultat. L'expérience fut tentée presque en même temps, en Angleterre, par Caldwell, en Allemagne par Simon, de sorte que la modification qui en est résultée porte, suivant le pays, l'un ou l'autre de ces deux noms.

L'interrupteur *Simon ou Caldwell*, tel qu'on le voit chez *Max Levy* et chez *Siemens* (fig. 52), est composé essentiellement d'un vase cylindro-sphérique, en porcelaine, percé, dans sa partie sphérique, de deux petits trous. Une électrode en plomb est placée dans ce vase, une seconde électrode, également en plomb, dans le vase extérieur et, le tout étant rempli d'eau acidulée, si on interpose cet appareil dans un circuit à plus de 50 volts, on obtient des interruptions comme avec le wehnelt. Pour régler l'intensité du courant, il faut changer le diamètre des trous. Cet interrupteur, le plus simple de tous, fonctionne bien entre 60 et 200 volts:

dans l'exposition de Siemens et Halske avec 230 à 240 volts, les résultats obtenus étaient très remarquables. Le phénomène calorifique étant produit par la grande résistance que présentent au courant les petits trous percés dans la paroi de porcelaine, et les deux électrodes étant de même nature, l'appareil est symétrique, et il fonctionne également bien, quel que soit le sens du courant: cette propriété permet de l'employer aussi bien sur courant que sur courant continu, mais, dans ce cas, les décharges fournies par la bobine sont également alternatives ou, plus exactement, elles se composent de séries de décharges alternées.

COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES EN COURANT CONTINU

En dehors de la transformation indirecte par moteur-générateur, qui constitue une solution générale, on peut transformer les courants alternatifs simples en courant continu, à l'aide d'une commutatrice constituée par une dynamo à courant continu excitée en dérivation. Deux bagues reliées à deux points diamétralement opposés de l'enroulement — dans le cas d'une dynamo à deux pôles — lui amènent le courant alternatif simple par deux frotteurs, et l'on recueille le courant continu sur les balais du collecteur.

Malheureusement, le courant alternatif fournit une puissance périodique, tandis que le circuit d'utilisation aborde une puissance continue. Ces deux puissances *moyennes* sont égales, — au rendement près, — mais il n'en est pas de même des puissances *instantanées*. Il se produit donc des échanges périodiques d'énergie qui nuisent au bon fonctionnement du système et à la commutation.

En fait, la transformation directe des courants alternatifs simples en courant continu à l'aide de commutatrices ne se fait aujourd'hui que très exceptionnellement, et l'Exposition de 1900 ne nous en offrait pas d'exemple, tandis que, dans bien des applications, on utilise un moteur à courants alternatifs, synchrone ou asynchrone; actionnant une dynamo à courant continu, pour réaliser la transformation *indirecte*.

COURANTS POLYPHASÉS EN COURANT CONTINU

La transformation des courants polyphasés en courant continu se fait actuellement à l'aide de deux séries d'appareils bien distinctes: les *permutatrices* et les *commutatrices* ou *convertisseurs*.

PERMUTATRICES

Nous désignons sous le nom de *permutatrices* des appareils transformant les courants alternatifs polyphasés en courant continu en laissant fixer tous les organes qui sont le siège de phénomènes d'induction, et en ne faisant tourner que les organes servant au *redressement*, à la *commutation* ou aux *permutations* des connexions nécessaires à la transformation¹. C'est une extension du principe du redressement des courants par commutation et permutation opportune des bobines induites.

Les permutatrices transforment les courants alternatifs polyphasés (diphasés ou triphasés) en courant continu en utilisant un organe de transformation et un organe de commutation ou de permutation. Supposons, pour fixer les idées et simplifier le raisonnement, qu'il s'agisse de courants alternatifs diphasés.

Alimentons avec les deux courants diphasés les primaires de deux transformateurs: les

1. Les permutatrices sont le résultat des études à peu près exclusives de M. Maurice Leblanc. Ses premiers appareils reçurent le nom fantaisiste, aujourd'hui abandonné, de *panchaluteurs*. Le nom qui leur conviendrait exactement, on le verra par la description, serait de *Commutatrice*, appliqué malheureusement à des systèmes qui fournissent le même résultat par des moyens différents. Le nom de *transformateurs-redresseurs* est mal choisi: car l'appareil fait plus qu'un simple redressement. Le nom de *permutatrice* a l'avantage de bien mettre en relief le caractère principal, essentiel, à ce système de transformateurs, et c'est ce qui nous le fait adopter.

deux courants étant diphases de un quart de période, nous pourrions les distinguer en donnant au premier circuit le nom de circuit *sinus* et au second celui de circuit *cosinus*.

Disposons sur chacun des noyaux des transformateurs n bobines renfermant un nombre de spires variables d'une bobine à l'autre, et relions ces bobines entre elles, deux à deux, de façon à former n groupes renfermant chacun deux bobines en tension. Si le nombre de spires est convenablement choisi, on pourra obtenir que les n forces électromotrices alternatives développées dans ces n paires de bobines soient égales, mais qu'elles soient déplacées de $\frac{1}{n^e}$ de période, car chacune d'elles pourra être représentée, en grandeur et en direction, par l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont les côtés de l'angle droit seront respectivement proportionnels aux nombre des spires sinus et cosinus qui constituent la paire de bobines. Lorsque l'on veut transformer des courants triphasés en courant continu, les n groupes des bobines sont formés chacun de trois bobines à nombre de spires variables d'une bobine à l'autre, induites par les trois primaires et couplées en tension. La force électromotrice résultante est la somme vectorielle des trois forces électromotrices déphasées d'un tiers de période.

Les n paires de bobines sont donc assimilables aux n bobines d'un anneau Gramme. En les couplant en tension entre elles et en les reliant à un commutateur (permutateur) convenable, on recueillera du courant continu sur les balais, courant d'autant plus continu que les bobines élémentaires seront plus nombreuses. Pour obtenir ce résultat, M. Maurice Leblanc utilise deux dispositifs, l'un à balais fixes et à permutateur tournant, l'autre à permutateur fixe et à balais tournants.

Le type à balais fixes figurait seul à l'Exposition ; le type à balais tournants n'a pu être prêt à temps pour y figurer.

Permutatrice à balais fixes. — Les permutatrices à balais fixes ont un collecteur tournant commandé par un petit moteur synchrone. Chacune des n touches du collecteur est reliée aux points d'attache des n bobines élémentaires successives par une bague tournante collectrice reliée à ce collecteur, contre laquelle s'appuie et vient frotter un balai de contact relié à l'un de ces points d'attache.

Cette construction ne permet pas d'employer un trop grand nombre de bobines élémentaires, 12 ou 18 au plus, sous peine de donner au système tournant une longueur démesurée. Pour qu'avec les fréquences employées, il ne soit pas nécessaire de donner au collecteur des dimensions et des vitesses excessives, le moteur synchrone a 4, 6 ou 8 pôles, et comporte 2, 3 ou 4 séries de touches dont les homologues sont connectées en dérivation. Des lignes de balais, en nombre égal à celui des pôles du moteur synchrone, recueillent le courant simultanément et permettent de réduire dans de grandes proportions la longueur du collecteur.

Permutatrice à balais tournants. — Pour pouvoir augmenter à volonté le nombre de bobines élémentaires, et faciliter ainsi la commutation, les nouvelles permutatrices comportent un collecteur fixe creux, à l'intérieur duquel viennent frotter des balais tournants appliqués par la force centrifuge. Le courant, rendu disponible sous forme continue aux extrémités de ces balais tournants, est recueilli à l'aide de deux balais fixes appuyant sur deux bagues collectrices reliées électriquement, l'une à toutes les lignes de balais positifs, l'autre à toutes les lignes de balais négatifs.

Pour des raisons de symétrie et de bon contact des balais, l'axe tournant portant l'induit du moteur synchrone, les balais et les bagues collectrices, est disposé verticalement.

Le moteur synchrone porte un enroulement *compound* étudié pour réaliser un décalage automatique des balais en fonction de la charge.

COMMUTATRICES OU CONVERTISSEURS

Les commutatrices transforment les courants alternatifs polyphasés en courant continu à l'aide d'un induit mobile à courant continu recevant les courants polyphasés par des bagues et fournissant du courant continu aux bornes de balais frottant sur le collecteur. Suivant la forme du courant à transformer, les commutatrices sont *diphasées*, *triphasees* ou *hexaphasees*.

La **Société d'Applications industrielles** avait son Exposition dans le pavillon spécial qui lui avait été concédé à l'Esplanade des Invalides en dessous de la plate-forme mobile.

Dans ce pavillon se trouvait une commutatrice Alioth de 300 kw à courant diphasé et 42 périodes par seconde. Le courant alternatif diphasé, produit à l'usine de l'Exposition, avenue de Labourdonnais, était amené au pavillon de l'Esplanade par deux câbles souterrains à la tension de 2 000 volts. Ce courant était ramené à la tension de 400 volts par deux transformateurs à courants alternatifs simples de 200 kw chacun, branchés sur chacune des phases du courant diphasé. Le courant alternatif à 400 volts était transformé par la commutatrice en courant continu à la tension de 530-550 volts.

Le démarrage de la commutatrice était obtenu au moyen d'un groupe de démarrage composé d'un moteur asynchrone diphasé de 35 kw à 400 volts, actionnant par manchon d'accouplement une génératrice à courant continu de 30 kw à 550 volts.

Le démarrage du moteur asynchrone s'effectuait au moyen d'une résistance intercalée dans l'induit, que l'on enlevait progressivement, à mesure que la vitesse s'accélérait. L'induit était ensuite mis en court-circuit.

Un tableau à haute tension placé à l'arrivée du courant portait un interrupteur à haute tension et des coupe-circuits.

Un grand tableau portait tous les appareils à basse tension, le rhéostat de démarrage de la commutatrice et les rhéostats de champ.

La seconde installation se trouvait dans le sous-sol du grand Palais, avenue d'Antin. Elle comprenait une commutatrice triphasée de 200 kw.

Le courant alternatif triphasé était fourni par l'usine de l'avenue de Labourdonnais à la tension de 3 000 volts entre fils. Un transformateur triphasé ramenait la tension à 350 volts tension simple. La commutatrice recevait le courant alternatif au moyen de 6 bagues reliées chacune à l'extrémité des phases du transformateur. Le démarrage de la commutatrice se faisait de même qu'à la commutatrice de 300 kw au moyen d'un groupe de démarrage composé d'un moteur asynchrone triphasé à six fils et d'une génératrice continue à 550 volts. Les commutatrices étaient installées pour le compte de l'administration de l'Exposition universelle. Celle de l'Esplanade des Invalides fournissait l'éclairage de l'Esplanade des Invalides et la force motrice nécessaire aux exposants. Celle du grand Palais fournissait l'éclairage de l'avenue Nicolas II et des jardins du Cours la Reine.

Les données relatives à ces commutatrices sont résumées dans le tableau d'ensemble de la page 50.

Commutatrice de 500 kilowatts de la Société alsacienne de Constructions mécaniques. — Cette commutatrice est établie pour une fréquence de 25 périodes par seconde et est disposée pour recevoir du courant à six phases et pour fournir du courant continu à 550 volts (*fig. 53*).

L'emploi du courant à six phases au lieu de courant triphasé a l'avantage d'augmenter considérablement la puissance d'une commutatrice de dimensions données ; à échauffement égal, un induit donné peut produire 100 kilowatts, s'il est alimenté en courant triphasé, et 145 kilowatts s'il est alimenté en courant à six phases. Le courant alternatif pénètre dans l'induit par un nombre de connexions double, et la perte par $R I^2$ est sensiblement diminuée de ce fait ; de plus, les spires de l'enroulement étant parcourues par une intensité variable suivant leur position

relativement aux connexions alternatives, la chaleur dégagée est mieux répartie sur l'ensemble de l'enroulement.

Pour obtenir le courant à six phases, il n'est nullement nécessaire d'avoir recours à des génératrices et à des canalisations à six phases ; les transformateurs alimentés à courant triphasé dans leur circuit primaire permettent d'obtenir sans difficulté le courant à six phases.

Les transformateurs peuvent être disposés suivant différents schémas qui ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients. Nous avons employé les uns et les autres ; mais nous nous sommes arrêtés à celui qui assure la plus grande simplicité dans la construction des transformateurs et dans leurs connexions. Ce but est atteint par le schéma n° 4, dans lequel les transformateurs sont du type normal : les primaires sont en triangle et les extrémités des secondaires reliées simplement sans autres connexions à deux des bagues de la commutatrice. Cette solution donne au démarrage une légère difficulté que l'on supprime complètement par l'emploi, entre transformateur et commutatrice, d'un interrupteur triple. L'emploi du courant à six phases reste dans ces conditions d'une extrême simplicité.

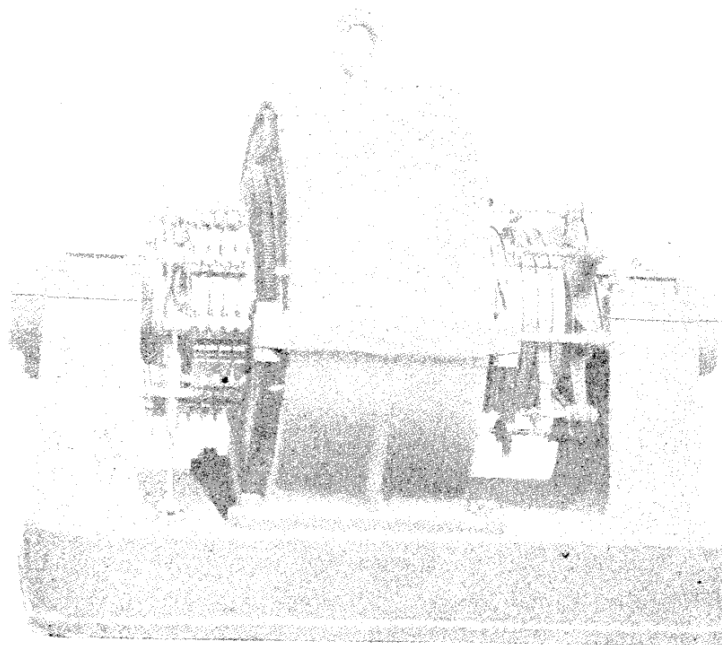


FIG. 33. — Commutateur hexaphase de la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

Les essais successifs qui ont été faits ont accusé un rendement en pleine charge de 95,5 pour 100 et à demi-charge de 92,5 pour 100. Les pertes se décomposent comme suit :

Excitation.....	0,8 pour 100
Frottements hystérésis, courants de Foucault.....	2,9 —
Pertes par Ri^2 dans l'induit.....	0,7 —

Le courant de court-circuit est 2,3 fois le courant normal ; cela permet de prévoir, ce que l'expérience a prouvé, que la surcharge que ces appareils peuvent produire sans se décrocher est plus considérable que la pratique ne l'exige.

Le type de commutatrice exposé est alimenté par 3 transformateurs triphasés de 170 kilowatts. Ces transformateurs sont du type à noyau : les bobines sont juxtaposées de façon à réduire au minimum les fuites magnétiques. Le rendement de cet appareil est de 98 pour 100 : les pertes étant sensiblement de 1 pour 100 dans le fer et 1 pour 100 dans le cuivre.

La chute de tension qui se produit dans un groupe complet de transformateurs et commutatrices, n'est que de 4 à 5 pour 100 entre la marche à vide et la charge normale. Cela a permis de renoncer pour certaines installations à tout réglage de tension, soit par compoundage, soit par un autre moyen, et de réaliser ainsi des installations d'un montage simple et d'une exploitation facile.

Réglage des commutatrices. — Pour maintenir la différence de potentiel aux bornes du courant continu sensiblement constante, malgré les variations de la charge, on emploie plusieurs artifices.

La *Compagnie française Thomson-Houston* intercale dans les circuits secondaires alimentant la commutatrice des bobines de réaction.

La *Société alsacienne de Constructions mécaniques* utilise le survolteur triphasé décrit précédemment.

La *Société industrielle d'Électricité* Procédés Westinghouse fait varier le rapport des nombres de spires primaires et secondaires du transformateur alimentant la commutatrice, ou d'un transformateur auxiliaire constituant un réducteur.

Dans les installations de tramways, pour lesquelles le réglage n'a pas besoin d'être très rigoureux, la *Société alsacienne* le supprime complètement en construisant les appareils de transformation, pour que la différence de potentiel entre la marche à vide et la marche à pleine charge ne dépasse pas 5 pour 100.

COMMUTATRICES

ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION ET DE FONCTIONNEMENT	ALCANTARA	ALCANTARA	SOCIÉTÉ ALSACIENNE	SOCIÉTÉ ALSACIENNE	SOCIÉTÉ ALSACIENNE	THOMSON-HOUSTON	SIEMENS ET HALSKÉ (VIENNE)
<i>Données générales</i>							
Nombre de phases.....	2	6	3	3	6	3	3
Fréquence en périodes par seconde.....	32,5	50	25	25	25	26	12
Puissance utile en kilowatts.....	300	200	»	»	300	300	300
Tension entre deux bagues, en volts.....	390	390	»	»	200	»	330
Tension du courant continu, en volts.....	330	330	330	350	330	300	330
Intensité du courant continu, en ampères.....	550	»	»	»	910	600	910
Nombre de pôles inducteurs.....	16	16	6	8	8	6	8
Vitesse angulaire, en tours par minute.....	320	375	300	375	375	500	630
<i>Inducteurs</i>							
Nature de la carcasse.....	Fonte	Fonte	»	»	Acier coulé	Fonte	Fonte
Nature des pôles.....	Acier coulé	Acier coulé	»	»	Feuilletés	Acier coulé	Feuilletés
Diamètre d'alésage, en cm.....	151,4	136,1	»	»	128,6	92,4	85,6
Entrefer, en mm.....	7	6,5	»	»	8	4,8	8
Largeur des pôles, sens de l'axe, en cm.....	43,5	34	»	»	33	»	40
Épaisseur des noyaux, en cm.....	»	»	»	»	18	»	16
Largeur des pièces polaires, en cm.....	»	28	»	»	40	38	23
Largeur des noyaux, en cm.....	16,8	16	»	»	20	21,5	»
Nature de l'excitation.....	Compound	Compound	»	»	Shunt	Compound	Compound
Nombre de spires de l'excitation shunt sur chaque bobine.....	1 100	400	»	»	1 470	2 890	1 512
Couplage des bobines d'excitation shunt.....	Série	Série	»	»	Série	Série	Série
Diamètre du fil, en mm.....	4,9	1,7	»	»	2,6	1,5	2,05
Résistance totale, en ohms.....	140	160	»	»	65	225	88
Nombre de spires de l'enroulement série.....	1	1	»	»	»	8,9	17-18
Nombre de spires sur chaque bobine.....	1	1	»	»	»	8,9	17-18
Couplage des bobines série.....	Série	Série	»	»	»	»	Quantité
Largeur du ruban de cuivre, en mm.....	»	»	»	»	»	65	25
Épaisseur — en mm.....	»	»	»	»	»	5,5	3
Résistance, en microhms.....	2 000	3 000	»	»	»	3 260	700
Poids total du cuivre inducteur, en kg.....	»	»	»	»	850	»	620
<i>Induit</i>							
Nature de l'enroulement induit.....	Tambour	Tambour	Tambour	Tambour	Tambour	Tambour	Tambour
Épaisseur des tôles induites, en mm.....	0,4	0,4	»	»	»	»	»
Diamètre de l'induit, en cm.....	150	134,8	»	»	127	91,4	84
Longueur axiale, en cm.....	32,5	34	»	»	»	30,5	42
Hauteur radiale, en cm.....	13	10,5	»	»	»	»	17
Nombre de rainures.....	180	432	207	240	240	216	112
Hauteur de chaque rainure, en cm.....	»	»	»	»	3	»	»
Largeur de chaque rainure, en cm.....	»	»	»	»	1	»	»
Nombre de conducteurs par rainure.....	4	6	2,2	2,2	»	»	6
Diamètre du fil, en mm.....	2,5	2,5	»	»	»	»	»
Nombre de sections.....	180	432	»	»	180	432	336
Hauteur de chaque barre induite, en mm.....	»	»	»	»	»	»	20
Épaisseur de chaque barre induite, en mm.....	»	»	»	»	»	»	2,3
Section, en mm ²	»	»	25	44	32	»	46
Poids du cuivre sur l'induit, en kg.....	»	»	0 0184	0,0095	»	0,0287	0,00355
Résistance de l'induit, en ohms.....	»	»	»	»	»	»	»
Nombre de lames au collecteur.....	180	432	»	»	240	432	336
Diamètre du collecteur, en cm.....	110	100	»	»	66	76,4	60
Longueur utile du collecteur, en cm.....	9,5	7,8	»	»	27,6	31	25
Nature des balais.....	Charbon	Charbon	»	»	Charbon	Charbon	Métal
Nombre de balais sur chaque ligne.....	4	3	»	»	»	8	5
Surface d'appui du charbon sur chaque ligne de balais, en cm ²	»	»	»	»	»	18,2	»
<i>Essais</i>							
Excitation à vide, en ampères.....	3,7	4	6,8	»	7,86	»	»
Perte dans l'induit par R ₁₂ , en watts.....	»	736	1 265	»	3 500	»	»
Frottements, hystérésis, en watts.....	»	8 800	16 800	»	17 500	»	»
Pertes dans l'excitation, en watts.....	»	2 200	3 740	»	4 000	»	»
Perte totale, en watts.....	»	11 736	21 805	»	25 000	»	3 000
Rendement industriel, à pleine charge, en pour 100.....	»	94,5	94,5	»	93,7	»	94,0
— — — à demi-charge, en pour 100.....	»	92,6	92,6	»	92,5	»	»

TRANSFORMATEURS DIVERS

DÉPHASEURS. — POLYPHASEURS. — TRANSFORMATEURS DE FRÉQUENCE. — HAUTE FRÉQUENCE

Déphaseurs. — Les *déphaseurs* ou *transformateurs à décalage* sont les appareils destinés à produire une différence de phase entre un courant et une tension, entre deux courants ou entre deux tensions.

Il n'existait pas, à l'Exposition de 1900, d'appareils présentés dans ce but spécial, mais on peut considérer comme tels les bobines de self-induction ou bobines de réaction (*Chocking-coil* en anglais, *Draselspule* en allemand), employées pour le démarrage des moteurs synchrones à courants alternatifs simples exposés par certaines maisons.

Polyphaseurs. — On peut embrasser sous ce nom tous les appareils qui multiplient le nombre de phases d'un ou de plusieurs courants alternatifs simples. Pas plus que pour les déphaseurs, il n'était présenté d'appareils remplissant spécialement et exclusivement cette fonction; mais on avait plusieurs exemples de leurs applications.

On peut considérer comme polyphaseurs :

1° Les bobines de réaction intercalées dans le circuit de démarrage des moteurs asynchrones à courants alternatifs simples dans le but de produire un courant déphasé *en retard* par rapport au premier : le courant ainsi déphasé, envoyé dans un second enroulement du moteur, produit un champ tournant et transforme momentanément le moteur en moteur à champ tournant (Voir le fascicule consacré aux *Moteurs électriques*);

2° Un condensateur intercalé dans un circuit produit dans ce circuit un déphasage *en avance* sur la différence de potentiel qui l'alimente. Il joue le rôle de déphaseur et de polyphaseur lorsqu'il est combiné avec un autre circuit présentant seulement de la self-induction;

3° Un transformateur triphasé dont le primaire est alimenté par un courant triphasé et dont les six extrémités des trois fils secondaires sont reliées aux six bagues d'une commutatrice formant à celle-ci du courant *hexaphasé*. Il fonctionne, dans ces conditions, comme polyphaseur, car la combinaison double le nombre de phases;

4° La combinaison des enroulements des *permutatrices* de M. Maurice Leblanc constitue également un polyphaseur, car on obtient, par la combinaison des bobines induites entre elles, avec deux courants (diphasés) ou trois courants triphasés, n courants alternatifs, ou, plus exactement, n forces électromotrices alternatives déphasées l'une par rapport à l'autre de $\frac{1}{n}$ de période;

5° C'est également dans le groupe des polyphaseurs le dispositif imaginé par un ingénieur américain, M. *Scott*, et destiné à transformer des courants alternatifs *diphasés* en courants alternatifs *triphasés*, ou inversement.

Ce résultat est obtenu bien simplement par une combinaison convenable de circuits inducteurs et induits de deux transformateurs. Nous ne le mentionnons que pour mémoire, car nous n'avons vu figurer à l'Exposition aucun dispositif de ce genre.

On voit, par ces quelques exemples, que les déphaseurs et les polyphaseurs sont plutôt des organes ou des dispositifs de transformation que des transformateurs proprement dits. Il n'était cependant pas inutile d'en signaler ici l'existence et les fonctions importantes.

Transformateurs de fréquence. — L'emploi d'alternateurs de plus en plus puissants commandés par des moteurs à vapeur à faible vitesse angulaire oblige à baisser la fréquence, afin

de faciliter le couplage en parallèle, de ne pas employer un trop grand nombre de pôles, et de permettre l'utilisation des commutatrices dont le fonctionnement s'accommode mal d'une fréquence élevée.

Mais cette basse fréquence rend l'éclairage par arc et même par incandescence impossible, et l'on a intérêt à augmenter la fréquence du courant alternatif, tout au moins dans le réseau destiné à l'éclairage. Le transformateur de fréquence a pour objet de résoudre le problème ainsi posé. Une solution simple et élégante nous est fournie par la Station centrale d'Edison à Brooklyn, où des courants alternatifs triphasés à 6 000 volts 25 périodes par seconde sont transformés en courants alternatifs diphasés à 2 300 volts et 62,5 périodes par seconde. L'appareil est constitué par un moteur triphasé synchrone à 4 pôles faisant 750 tours par minute et entraînant un rotor de moteur asynchrone à 6 pôles dont le stator produit un champ tournant à 6 pôles créé par le courant triphasé, la rotation du champ étant en sens contraire de celle du rotor. Le champ à 6 pôles faisant 300 tours par minute, il en résulte que la vitesse angulaire relative du rotor dans le champ tournant de son stator est de $750 + 300 = 1\,250$ tours par minute. Le rotor portant un enroulement diphasé à 6 pôles est donc le siège de courants alternatifs dont la fréquence est égale à :

$$\frac{1250,3}{60} = 62,5 \text{ périodes par seconde}$$

Les enroulements du rotor sont combinés pour que la force électromotrice développée soit de 2 300 volts ; mais il est évident que l'enroulement du rotor peut être établi pour une tension quelconque.

Grâce à l'emploi du moteur asynchrone, dont on peut régler l'excitation, la transformation s'opère avec un $\cos \varphi$ assez élevé, et le rendement de l'ensemble atteint 88 pour 100. La transformation s'opère sans autre système de connexion mobile que les bagues et frotteurs reliant le rotor mobile au circuit dont la fréquence a été surélevée par le transformateur.

Le même transformateur pourrait également s'appliquer à un réducteur de fréquence en faisant tourner le rotor dans le même sens que le champ ; mais il n'existe pas encore d'application connue pour laquelle il soit nécessaire d'effectuer une transformation de cette nature.

Transformateurs de haute fréquence. — Les courants alternatifs dissymétriques des bobines d'induction ou symétriques des alternateurs ont une fréquence relativement faible, comprise entre 25 et 100 périodes par seconde pour les alternateurs, et n'atteignant qu'exceptionnellement le chiffre de 800 à 1 000 périodes par seconde avec les bobines d'induction munies d'un interrupteur rapide tel que le wehnelt ou le caldwell.

Pour les expériences de télégraphie sans fil et certaines applications médicales et physiologiques, on a besoin d'obtenir des courants alternatifs de haute fréquence, ou, plus exactement,

Les *oscillateurs* sont ceux dont la durée est inférieure au $\frac{1}{100\,000}$ et même au $\frac{1}{1\,000\,000}$ de seconde.

Les appareils permettant d'obtenir des courants alternatifs d'aussi courte période sont appelés, par antiphrase, des *transformateurs de haute fréquence*. Ils comprennent les *oscillateurs* et certains dispositifs indiqués par M. Tesla et M. d'Arsonval pour transformer chacun des extra-courants de rupture d'une bobine d'induction ordinaire en une série de décharges oscillantes de très courte durée et rapidement amorties.

Les *oscillateurs* sont examinés dans le fascicule consacré à la télégraphie sans fil, et les dispositifs de Tesla et d'Arsonval dans les applications diverses.

TRANSFORMATEURS DIFFÉRÉS OU ACCUMULATEURS

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES ACCUMULATEURS

L'Exposition de 1900 n'a rien révélé de particulièrement nouveau dans cette branche spéciale de l'industrie électrique.

En dépit d'efforts innombrables, il semble que tous les travaux postérieurs à la découverte de G. Planté n'ont fait que confirmer les idées de ce savant, dont les recherches paraissent avoir épuisé cette question si complexe.

Nous ne voyons guère subsister aujourd'hui, à côté de l'accumulateur original de Planté qu'une modification due à Faure, et cette modification tend même à être abandonnée.

Bien que l'accumulateur soit resté jusqu'ici un outil très imparfait, il répond à un besoin si impérieux qu'en dépit de ses imperfections son emploi s'est généralisé.

L'industrie des accumulateurs est devenue très importante : les stations d'éclairage et de traction en emploient d'énormes quantités ; malgré leur poids considérable et leur entretien onéreux, les batteries d'accumulateurs sont utilisées dans la traction sur voie ferrée, sur routes, la navigation sous-marine, les bateaux de plaisance. La télégraphie et la téléphonie ont substitué dans bien des cas l'accumulateur à la pile primaire ; on se sert enfin de ces appareils pour l'allumage des moteurs à explosion, les applications médicales de l'électricité, l'éclairage des wagons de chemins de fer, etc.

Ces multiples emplois de l'accumulateur ont nécessité la création de nombreux modèles appropriés aux différentes applications, d'autant que, dans chaque cas particulier, il faut choisir, parmi les défauts inhérents à l'appareil, ceux qu'il convient d'atténuer et, parmi les qualités, celles qu'il faut exalter.

Classification. — Cette multiplicité de types d'accumulateurs, qui résulte à la fois de ses nombreux usages et de l'imperfection de leur fonctionnement, nécessite une classification rigoureuse pour présenter sous une forme utile les différents modèles exposés.

Comme ce n'est pas ici le cas d'innover, nous adopterons la classification généralement adoptée, si arbitraire qu'elle soit.

Cette classification est basée sur les procédés employés en construction. C'est ainsi que, parmi les accumulateurs au plomb, on distingue : les accumulateurs à formation autogène du type original de Planté ; les accumulateurs à oxydes rapportés, basés sur la modification de Faure ; comme certains types actuels d'accumulateurs participent à la fois des deux procédés de fabrication, soit que leurs plaques appartiennent, les unes à la première, les autres à la seconde classe, soit qu'elles fonctionnent simultanément comme les plaques Planté et Faure, nous sommes conduits à distinguer les catégories générales suivantes :

- I. Accumulateurs au plomb à formation autogène Planté ;
- II. Accumulateurs au plomb à oxydes rapportés Faure ;

III. Accumulateurs au plomb, dont les plaques positives appartiennent à la catégorie I et les négatives à la catégorie II ;

IV. Accumulateurs au plomb, dont les plaques à oxydes rapportés peuvent subir postérieurement la formation Planté ;

V. Accumulateurs divers dont les plaques ne contiennent pas uniquement du plomb.

Nous diviserons ensuite chacune de ces catégories en deux grandes classes :

1° Les accumulateurs stationnaires ou fixes ;

2° Les accumulateurs amovibles ou transportables.

Enfin, pour pouvoir distinguer les nombreux types actuels d'éléments, nous devons encore diviser chacune de ces classes en un certain nombre de groupes correspondant chacun à une application bien déterminée.

Accumulateurs stationnaires. — Cette classe d'accumulateurs doit répondre à des besoins assez divers pour lesquels les constructeurs ont dû créer des modèles spéciaux. Nous distinguerons trois groupes, savoir :

a) Éléments pour batteries d'éclairage ;

b) — — — de secours ;

c) — — — tampons.

a. *Éléments pour batteries d'éclairage.* — Ces éléments sont employés dans les stations d'éclairage pour assurer le service pendant les heures les moins chargées de façon à éviter de faire tourner les moteurs à faible charge : ces éléments sont généralement établis pour des charges et des décharges en cinq ou six heures ;

b. *Éléments pour batteries de secours.* — Ces éléments sont destinés à parer à des accidents possibles dans les stations qui n'ont pas de matériel de secours : elles sont calculées pour des décharges comprises entre une heure et trois heures ;

c. *Éléments pour batteries tampon.* — Les batteries tampons sont, comme on sait, destinées à régulariser la différence de potentiel pendant les variations instantanées du débit en ligne, en absorbant l'excédent de l'énergie électrique produite par les génératrices pendant que les lignes sont peu chargées et en restituant, au contraire, cette énergie quand le débit devient supérieur à celui des génératrices ; ces batteries sont établies généralement de façon que leur résistance intérieure soit aussi faible que possible.

Accumulateurs amovibles. — Dans cette classe rentrent tous les éléments d'accumulateurs qui sont construits en vue de la traction ou d'applications secondaires : nous les divisons en cinq groupes, savoir :

a) Éléments pour traction sur rails ;

b) — — — routes ;

c) — — — éclairage de wagons de chemins de fer ;

d) — — — allumage de moteurs à explosion ;

e) — — — usages divers : télégraphie, téléphonie, laboratoire, usages médicaux, etc.

a. *Éléments pour traction sur rails.* — Ces éléments, employés pour la traction des trams-ways et des voitures automotrices sur certains parcours de chemin de fer, doivent être à la fois légers et robustes ; leur décharge s'effectue en général en un temps très court, une heure environ, et leur charge doit pouvoir être faite très rapidement, un quart d'heure, par exemple ;

b. *Éléments pour traction sur routes.* — Ces éléments sont destinés à l'automobilisme ; par conséquent, ils doivent être surtout légers et peu encombrants ; la durée de leur décharge est de trois à quatre heures en moyenne et leur charge se fait habituellement en cinq ou six heures ; les bacs doivent avoir une fermeture étanche de façon à ce que l'électrolyte ne soit pas projeté au dehors par les cahots de la route ;

c. *Éléments pour éclairage de wagons de chemins de fer.* — Ces éléments travaillent dans de bonnes conditions : leur décharge s'effectue en huit ou dix heures et la charge se fait aussi lentement ; on n'est pas exigeant sur le poids et l'encombrement.

d) *Éléments pour allumage des moteurs à explosion.* — Ce sont de petits éléments qui travaillent d'une façon intermittente et qui doivent conserver leur charge pendant longtemps : ceux employés sur les automobiles à pétrole doivent être hermétiquement clos :

e) *Éléments pour usages divers : télégraphie, téléphonie, usages médicaux, etc.* — Les éléments de ce groupe comprennent des types assez divers : les modèles destinés à la télégraphie et à la téléphonie se rapprochent de ceux du groupe précédent ; ceux employés en laboratoire pour les mesures d'isolement ont une capacité très faible, mais doivent être parfaitement construits de façon à éviter tout court-circuit intérieur. Les éléments destinés aux autres applications n'offrent pas grand intérêt.

Les développements dans lesquels nous sommes entrés à propos de la classification des différents types d'accumulateurs nous permettront d'être très brefs pour la description de chacun d'eux : nous nous contenterons de décrire sommairement les plaques, d'indiquer les quelques modifications que subissent ces plaques quand on veut en constituer des éléments destinés à un service particulier et de donner les détails de montage dans chaque cas spécial.

I. — ACCUMULATEURS AU PLOMB A FORMATION AUTOGÈNE

Cette catégorie d'éléments renferme fort peu de types. Bien que beaucoup de fabricants reviennent maintenant à la plaque originale de Planté, dont les qualités sont incontestables, il en est peu qui se soient encore décidés à adopter la formation autogène pour les plaques négatives de leurs éléments. Cela tient en partie au poids plus élevé des plaques négatives actuelles du genre Planté et en partie à des considérations commerciales : la lenteur de formation des plaques négatives en plomb pur immobilise une grande quantité de matières premières, ce qui a le double inconvénient d'engager des capitaux considérables et d'augmenter le prix de revient de ces plaques.

Éléments Blot à navettes. — Cet élément était le seul de cette catégorie figurant à l'Exposition dans les différents groupes.

PLAQUE POSITIVE (fig. 1). —

Elle est formée par la réunion dans un cadre approprié d'un nombre convenable d'éléments semblables. Chaque élément est obtenu en enroulant deux rubans de plomb pur, dont l'un a été préalablement gaufré à la machine sur une âme formée par une lame de plomb antimonie ; la navette ainsi obtenue est sciée par le milieu et fournit deux éléments constitutifs de la plaque. Ces éléments sont soudés, à la soudure autogène, au cadre en plomb antimonie qui sert de collecteur au courant. Le ruban ondulé a pour but de maintenir un écartement convenable entre les différentes couches de la navette et de ménager à la matière

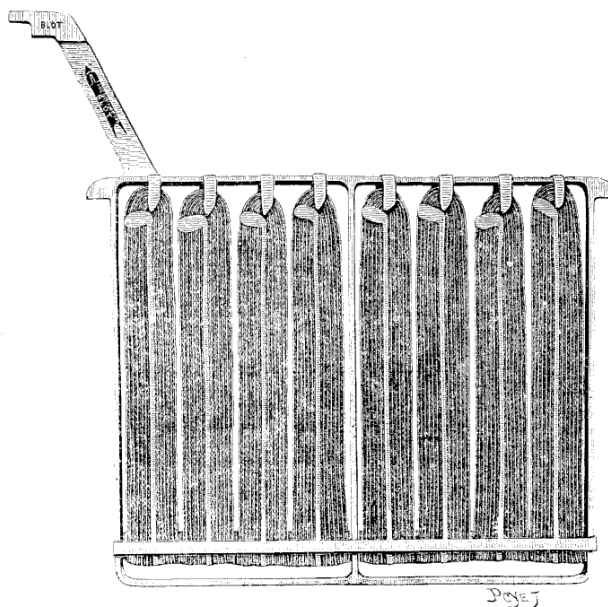


FIG. 1.

active un espace où elle puisse se déposer sans déformer la navette. Pour que les navettes puissent se dilater librement dans le sens longitudinal, l'extrémité opposée à la soudure vient aboutir à une certaine distance du cadre.

Les plaques de grande capacité comportent plusieurs rangées de navettes superposées : chacune de ces rangées est soudée sur un collecteur relié métalliquement au cadre et lui servent d'entretoises.

On maintient généralement les navettes par leur partie inférieure en soudant à quelques millimètres au-dessus de leurs extrémités et de chaque côté du cadre une barette en plomb antimonie.

PLAQUE NÉGATIVE. — Cette plaque est identique à la précédente ; cependant, une fois que la navette est sciée, on enlève l'âme intérieure, qui n'est pas nécessaire, puisque la plaque ne foisonne pas.

Les plaques Blot sont ajourées par construction et laissent l'électrolyte circuler librement autour des lamelles de plomb qui constituent la partie active.

1° ACCUMULATEURS STATIONNAIRES. — Les éléments appartenant aux différents groupes ne diffèrent entre eux que par le nombre, la dimension et la disposition de leurs plaques et la nature des bacs employés.

Les plaques de même polarité sont reliées entre elles, par soudure autogène des queues, à une barre de connexion en plomb antimonie de section convenable.

Les différentes plaques constituant un élément sont suspendues par leur partie supérieure à l'aide d'un double cadre en plomb dur *cc* (*fig. 2*), dont les deux parties sont

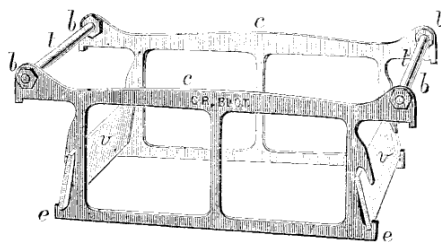


FIG. 2.

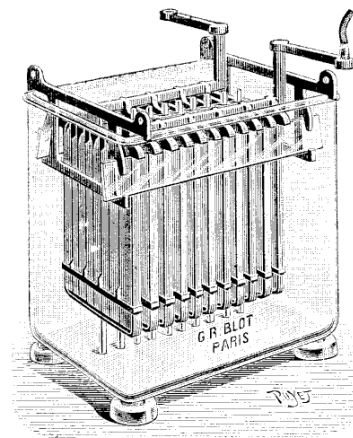


FIG. 3.

maintenues à l'écartement voulu par deux tiges de plomb *t* filetées, fixées par les boulons *b*. Ces deux cadres portent à leurs extrémités inférieures des encoches *e*, dans lesquelles on place des lames de verre, *v* : les plaques viennent reposer sur ces lames par les talons disposés de chaque côté de la partie supérieure de leurs cadres. Le support repose sur le bord du bac (*fig. 3*), et la libre dilatation des plaques est ainsi assurée. Un espace vide de quelques centimètres est laissé entre la partie inférieure des plaques et le fond du vase. L'écartement des plaques est maintenu par des tubes de verre qui sont soutenus entre deux lames de verre posées sur les cadres des plaques. Les bacs sont en verre pour les faibles capacités et en bois doublé de plomb pour les grands modèles.

Dans les batteries tampons, les plaques sont formées un peu moins profondément.

La Société des accumulateurs Blot exposait des plaques dont la surface active variait de 1/16 à 5 m² : un élément de 5 400 ampères-heure, composé de 55 plaques montées dans un bac de bois doublé de plomb ; des éléments de 1 750 Ah, 900 Ah, 100 Ah, etc.

2° ACCUMULATEURS AMOVIBLES (groupes *a* et *b*). — Les plaques de ces éléments sont presque identiques à celles que nous avons décrites ci-dessus ; la seule différence qu'elles présentent consiste dans la suppression sur les plaques positives de la barette qui maintient les navettes et dans la disposition horizontale de ces navettes, qu'il faut alors adapter pour pouvoir isoler les plaques par des feuilles d'ébonite perforées. Les plaques positives des éléments légers sont formées de navettes sans âme centrale (*fig. 4*).

Dans ces éléments, les plaques ne sont pas suspendues, comme dans les éléments station-

naires ; elles reposent sur un cadre en ébonite disposé au fond du bac et elles sont isolées entre elles par des lames en ébonite ondulées et perforées.

Les bacs de ces éléments sont en ébonite ; ils sont fermés par une plaque en ébonite qui pénètre à frottement dur à l'intérieur du bac et qui est percée d'un trou pour l'évacuation du gaz.

Les connexions de bac à bac sont réalisées par des lames de clinquant serrées sur les queues à l'aide d'écrous ; ces connexions sont vaselinées quand le serrage est fait.

La Société de l'accumulateur Blot présentait deux éléments de ce type.

L'un d'eux appartient au type à charge rapide pouvant, d'après les constructeurs, fournir 60 ampères-heure disponibles, après une charge de quinze minutes, sous la différence de potentiel de 2,60 volts ; cet élément pèse 23 kg. Une batterie de 200 éléments de ce type du poids de 4 300 kg actionne une voiture sur rail pesant en charge 19,5 tonnes pendant un parcours de 16.800 km.

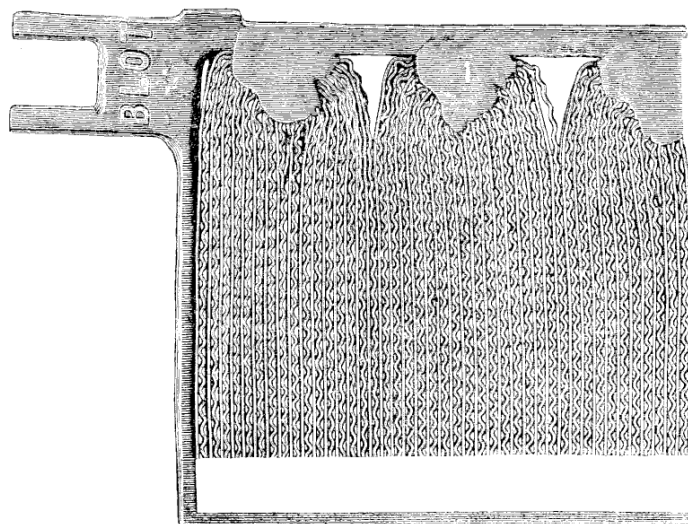


FIG. 1.

L'autre élément exposé fournit 45 ampères-heure disponibles après une charge de trente minutes sous une différence de potentiel de 2,45 volts. Une batterie de 180 éléments de ce modèle, pesant environ 3 tonnes, peut entraîner, pendant un parcours moyen de 18 kilomètres, une voiture roulant sur rails du poids de 17 tonnes en ordre de marche.

Éléments de la Maison Chalmeton (groupe C). — Ces éléments sont constitués, tant pour les plaques positives que pour les plaques négatives, par des électrodes en plomb doux de très grande surface, de façon à réduire leur résistance intérieure.

II. — ACCUMULATEURS AU PLOMB A OXYDES RAPPORTÉS

Cette catégorie d'éléments renferme de nombreux types qui ne diffèrent entre eux que par des détails.

On sait que l'emploi industriel de l'accumulateur date seulement de l'invention de Faure ; aussi les plus anciennes manufactures d'accumulateurs produisent ce genre d'élément. Les formes des supports destinés à retenir l'oxyde sont très variées. On construit généralement les plaques en empâtant ces supports : les plaques positives qui doivent être robustes sont plus habituellement constituées par empâtage d'un support plein ; tandis que les plaques négatives, dont le poids peut ainsi être notablement réduit, sont montées avec support perforé.

Ces accumulateurs, dont la capacité spécifique initiale peut être très élevée, sont généralement adoptés pour la traction.

1° Accumulateurs stationnaires. — ÉLÉMENTS DE LA SOCIÉTÉ ANONYME POUR LE TRAVAIL ÉLECTRIQUE DES MÉTAUX (groupes *a*, *b* et *c*). — Les plaques positives de ces éléments sont constituées par un support plein empâté. Ce support se compose d'un quadrillage, venu de fonte, en plomb antimoné; ce quadrillage est formé par une série d'augets inclinés très rapprochés les uns des autres, qui sont disposés de chaque côté d'une âme centrale. Le support est empâté à la main avec du minium inhibé d'acide sulfurique; comme il n'est pas attaqué sensiblement par l'électrolyte, il peut subir un grand nombre de réempâtages. La matière active représente, suivant la dimension des plaques, de 22 à 15 0/0 du poids total.

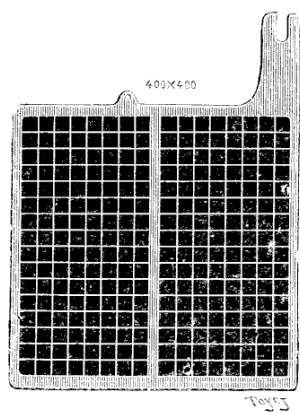


FIG. 5.

Les plaques négatives (*fig. 5*) sont obtenues par un procédé spécial : On coule sous forme de pastilles rectangulaires un mélange de chlorure de plomb et de chlorure de zinc; après quoi on dispose ces pastilles en nombre convenable dans un moule spécial et on les réunit électriquement en coulant dans les intervalles du plomb antimoné. La plaque ainsi obtenue, qui est formée d'un quadrillage métallique retenant les pastilles, est réduite par le zinc, puis peroxydée par le courant. Dans ces plaques, la matière active forme de 50 à 27 pour 100 du poids total des plaques, suivant qu'on veut obtenir une capacité spécifique plus ou moins grande.

Les plaques positives et négatives sont suspendues dans les bacs par des talons qu'elles portent à leur partie supérieure et viennent reposer sur des dalles de verre.

L'isolement des plaques entre elles est obtenu par des tubes de verre qui fixent leur écartement.

Jusqu'à la capacité normale de 200 ampères-heure, les bacs sont en verre; au-dessus de cette capacité, ils sont en bois doublé de plomb.

Les modèles stationnaires sont tous identiques.

A titre d'exemple, nous donnons, d'après le constructeur, les éléments de construction et les constantes de deux modèles exposés :

NATURE DU BAC		PETIT ÉLÉMENT VERRE	GROS ÉLÉMENT BOIS DOUBLÉ DE PLOMB
Dimensions extérieures du bac, en mm.	hauteur	325	623
	longueur	270	435
	largeur	240	344
Nombre de plaques .....	.....	13	17
	.....	210	410
	.....	210	410
Dimensions des plaques, en mm.	hauteur	6	8
	largeur	6	6
	épaisseur positives	18,900	100
Poids des plaques, en kg.	.....	11,950	38
	.....	60	321
	.....	240	1280
— total de l'élément, en kg.		216	1132
Capacités en Ah: 10 heures		180	960
Aux différents régimes	6 —	130	800
	3 —		
	1 —		

ÉLÉMENTS DE LA MAISON MICHEL PISCA (groupes *a* et *b*). — Les plaques positives de ces éléments sont à support plein empâté; les plaques négatives sont à quadrillage retenant des pastilles de matière active.

ÉLÉMENTS DE LA MAISON CHALMETON (groupes *a* et *b*, *fig. 6* et *7*). — Les plaques positives de ces éléments (*fig. 6*) sont constituées par des plaques épaisses de plomb portant, sur les deux faces et dans les deux sens, une série de rainures très rapprochées: les rainures horizontales sont inclinées et les rainures verticales perpendiculaires à l'âme de la plaque. Les plaques portent une série de perforations. Ces supports sont garnis de matière active qui vient remplir les cavités formées par le quadrillage ainsi que les perforations.

Les plaques négatives (*fig. 7*) sont formées par un quadrillage ajouré garni de matière active.

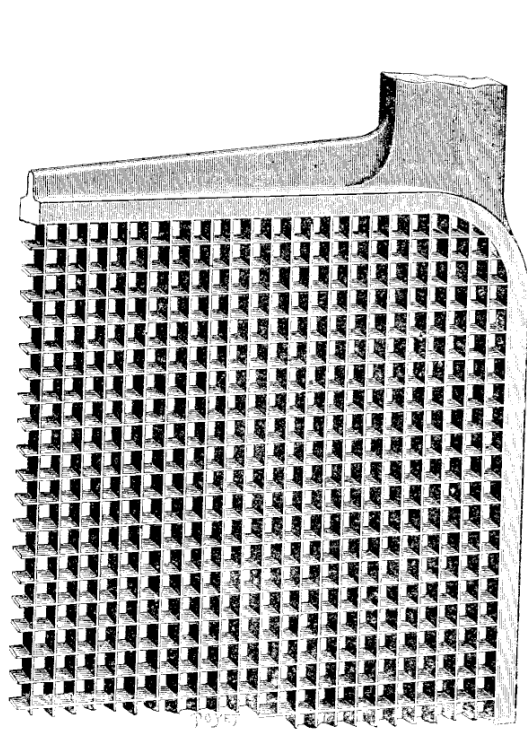


Fig. 6.

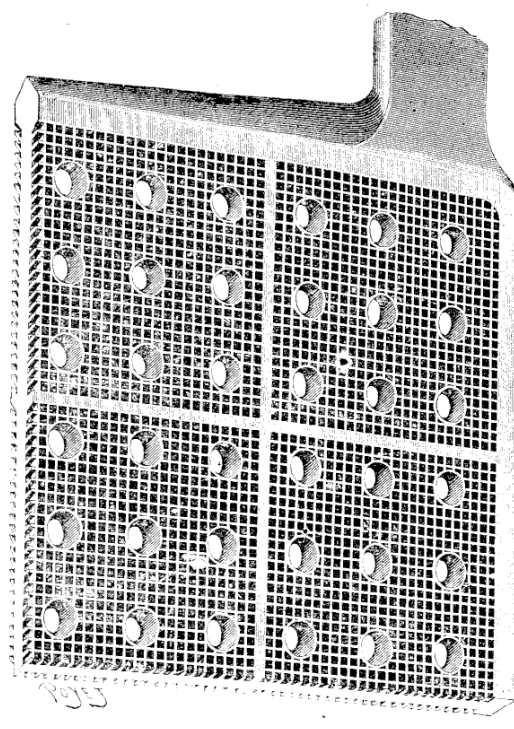


Fig. 7.

Les plaques positives et négatives portent deux queues, coudées d'équerre, qui servent à les suspendre sur les bords des bacs. A cet effet, les plaques de même polarité sont engagées dans une pièce spéciale en plomb qui sert de collecteur de courant et qui repose sur un des bords du bac; les plaques de polarité inverse sont isolées, à l'aide de pièces en porcelaine de forme spéciale, reposant aussi sur la barre de connexion.

L'écartement et l'isolation des plaques est obtenu à l'aide de tubes de verre qui sont maintenus en position par des râteliers percés de trous placés au fond des bacs.

Les éléments de grande dimension sont montés dans des bacs en bois doublés de plomb.

Les éléments destinés aux batteries tampons régulatrices sont constitués par des électrodes en plomb doux; ils sont donc signalés dans la catégorie précédente.

ÉLÉMENTS DE LA MAISON GOURD ET DUBOIS SYSTÈME BARBIER (groupes *a* et *b*). — Bien que ces éléments n'appartiennent pas au type Faure, puisqu'on n'emploie pas d'oxydes de plomb dans leur construction, ils se rapprochent de ce type en ce qu'ils comportent un support inattaquable.

Ce support (*fig. 8*), qui est destiné à retenir la matière active, obtenue à l'aide du plomb pulvérulent, est formé par la réunion de deux cuvettes en plomb inattaquable à arêtes très

arrondies, dont les grandes faces sont garnies de pointes de forme conique, venues de fonte avec l'ensemble. Ces cuvettes sont percées de trous symétriquement disposés entre les pointes, de façon qu'une pointe se présente en face d'un trou quand on soudera les deux cuvettes après remplissage. Les pointes qui pénètrent ainsi dans la masse de plomb pulvérisent sont destinées à amener le courant en tous les points de cette masse. Les cuvettes sont soudées sur tout leur pourtour, et portent des projections qui servent à relier la plaque qu'elles constituent à la barre de connexion.

La formation de la poudre de plomb qui garnit les cuvettes s'obtient par les procédés ordinaires ; cette poudre de plomb est très finement divisée et ne contient aucune matière étrangère.

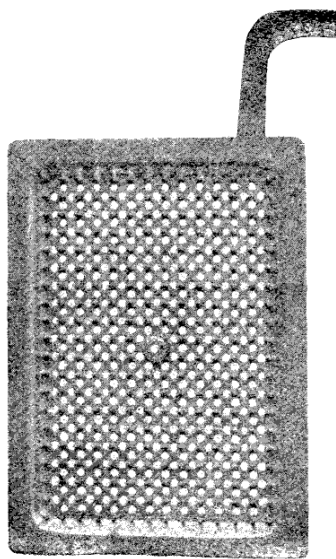


FIG. 8.

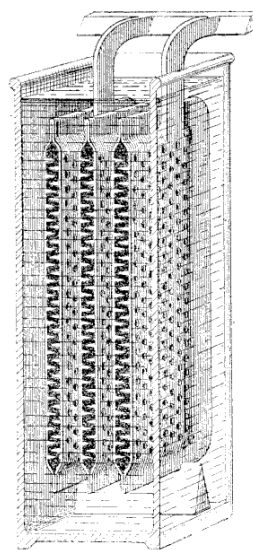


FIG. 9.

La différence essentielle que présente cet élément sur ceux que nous avons précédemment décrits consiste en ce que l'âme conductrice, qui amène le courant à la matière active, est placée à l'extérieur de la masse de matière active au lieu d'être noyée dans cette masse.

Les plaques sont supportées sur des tasseaux triangulaires, placés au fond des bacs, qui sont, soit en verre, soit en bois doublé de plomb, suivant la capacité de l'élément (*fig. 9*).

ÉLÉMENTS DE LA « THE ELECTRICAL POWER STORAGE CO » (groupes *a*, *b*, *c*). — Les éléments exposés par cette Société ont leurs plaques formées de grilles empâtées de différents types de quadrillage. Nous n'avons pu malheureusement nous procurer des clichés de ces plaques ni obtenir des renseignements suffisamment précis sur les types exposés.

ÉLÉMENTS DE LA SOCIÉTÉ ANONYME D'ÉCLAIRAGE ET D'APPLICATIONS ÉLECTRIQUES D'ARRAS (groupes *a* et *b*) (*fig. 10*). — Les plaques de ces éléments sont constituées par la réunion, dans un cadre en plomb antimonie, d'un nombre convenable de grilles unitaires empâtées.

Le cadre ou châssis sert à la fois de support mécanique pour les grilles actives et de collecteur pour le courant qui est distribué ainsi à chaque grille. À cet effet, les grilles unitaires, qui ont 118 mm de hauteur sur 68 mm de largeur, sont fixées à ce châssis par deux soudures autogènes faites au milieu de leur hauteur. C'est donc par ces points que le courant est amené par le châssis à chaque grille qui, en tous ses autres points, est libre de se dilater.

La grille unitaire qui sert de support à la matière active est obtenue mécaniquement. Elle est découpée dans de la feuille de plomb légèrement antimonie, puis emboutie et perforée. Cette grille est divisée en trois rangs d'alvéoles rectangulaires (*fig. 10*), portant chacune,

en leur milieu, une croix de faible épaisseur qui, à l'empâtage, se trouve noyée dans la matière active et concourt à la répartition du courant.

La matière active dont sont garnies les alvéoles est du plomb spongieux chimiquement pur qui est comprimé dans ces alvéoles, puis transformé en oxyde par formation électrolytique.

Ces éléments ne présentent aucune particularité de montage pour les différents usages auxquels ils sont destinés.

ÉLÉMENTS DE LA MAISON WÜSTE ET RUPPRECHT. — Les plaques positives et négatives de ces éléments sont identiques; elles sont constituées par un support en plomb antimonié, empâté de matière active.

Nous n'avons pu nous procurer de renseignements précis sur cette fabrication.

ÉLÉMENTS PESCE'TTO DE LA « SOCIETÀ ITALIANA DI ELETTRICITÀ GIA CRUTO » (groupes *a* et *b*). — Les plaques positives (fig. 11) de ces éléments se composent d'un support plein, qui est

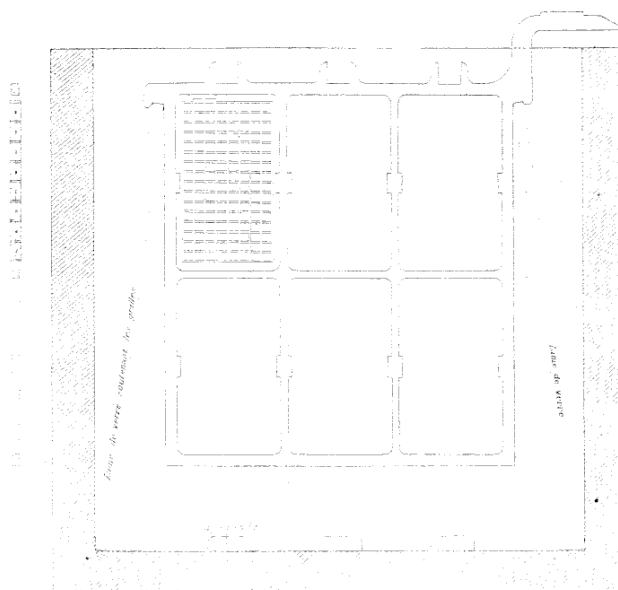


FIG. 10.

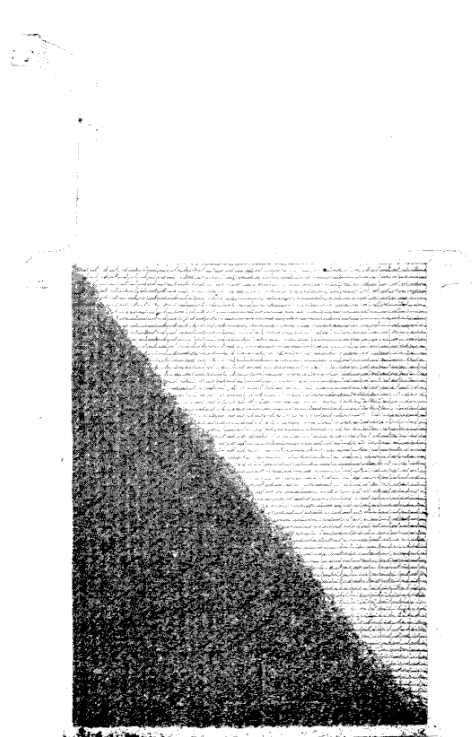


FIG. 11.

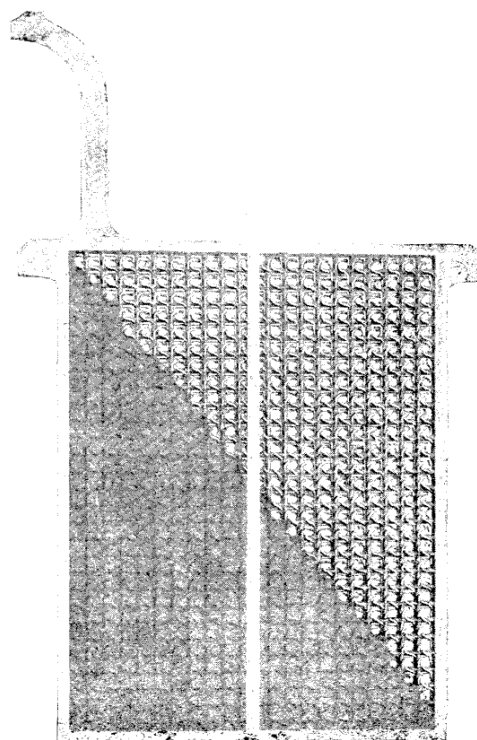


FIG. 12.

empâté de matière active. Le support est constitué par une plaque venue de fonte qui est rainée

sur les deux faces et présente, par suite, une série de sillons séparés par des cloisons: ces cloisons sont, après démoulage, sectionnées à la main à l'aide d'un outil qui rejette une partie de la paroi au-dessus du sillon correspondant, en formant des sortes de griffes, comme on peut le voir sur la figure 11.

La plaque ainsi préparée est alors enduite d'une pâte, composée d'oxyde de plomb intimement mélangé avec des ulmates, qui résultent de l'attaque des glucoses par l'acide sulfurique. Cette matière inerte est employée pour augmenter la porosité de la couche d'oxyde rapportée. Après empâtage, la plaque est comprimée pour rabattre les griffes dans la matière active.

Les plaques négatives (fig. 12) sont empâtées par le même procédé, mais le support est ajouré: c'est un grillage venu de fonte portant des ouvertures rectangulaires sur lequel on vient aussi, après démoulage, former des séries de griffes, en soulevant le plomb antimoné sur chaque côté des rectangles. La plaque est également comprimée après empâtage, de telle sorte que les griffes qui se trouvent rabattues au-dessus des ouvertures rectangulaires, pénètrent dans la matière active.

Le montage de ces plaques ne présente rien de particulier.

Le type destiné à effectuer des décharges rapides, soit pour batteries de secours (b), soit pour batteries tampons (c), est identique à celui que nous venons de décrire.

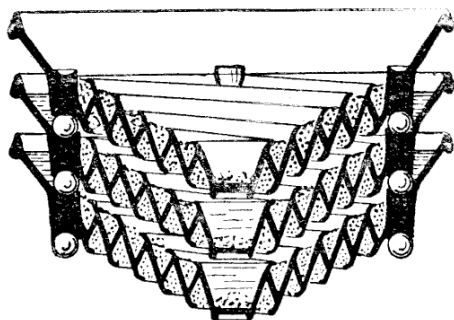


FIG. 13.

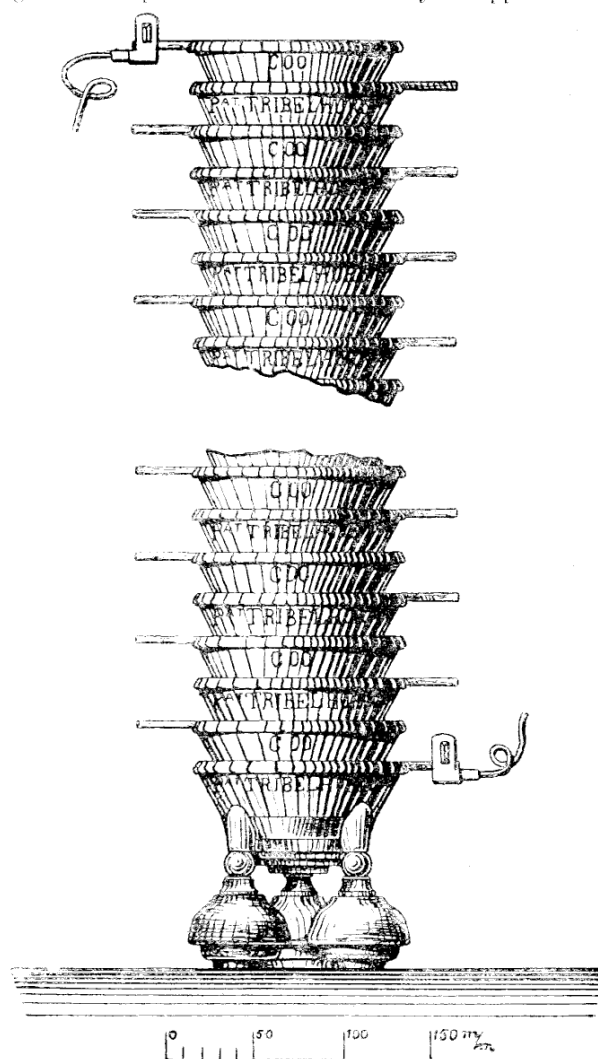


FIG. 14.

Les bacs sont en verre ou en bois doublé de plomb, suivant la capacité.

ÉLÉMENTS DE LA SOCIÉTÉ ANONYME SUISSE DES ACCUMULATEURS TRIBELHORN (groupe a). — Ces accumulateurs sont d'un type très spécial; ils sont à électrode unique et ne comportent pas de bacs. Chaque élément est constitué par une pièce massive en plomb (fig. 13), d'une forme conique. Cette pièce porte une série de rainures circulaires ou en spirale, qui existent des deux côtés de la pièce: ce sont ces rainures qui servent à retenir la matière active. La partie intérieure du cône est positive et la partie extérieure négative. L'électrolyte est placé à l'intérieur du récipient conique qui porte une projection servant de prise de courant. Pour constituer une

batterie, il suffit (*fig. 14*) de superposer un nombre convenable de ces éléments. L'isolement des éléments entre eux est obtenu à l'aide de billes en verre, disposées comme on peut le voir sur la figure 15.

L'ensemble d'une batterie ou portion de batterie, composée d'un nombre convenable d'éléments superposés, repose sur des pièces isolantes de forme spéciale.

Les éléments de grande capacité sont constitués par des auges en plomb, de forme rectangulaire (*fig. 16*), sur lesquels sont fixés, à l'intérieur, des plaques rectangulaires positives, à l'extérieur, des plaques négatives de même forme. Ces auges de plomb sont superposées comme les précédentes et le montage des batteries se fait de la même façon.

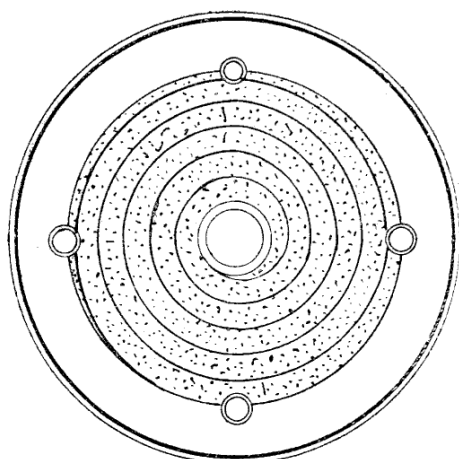


FIG. 15.

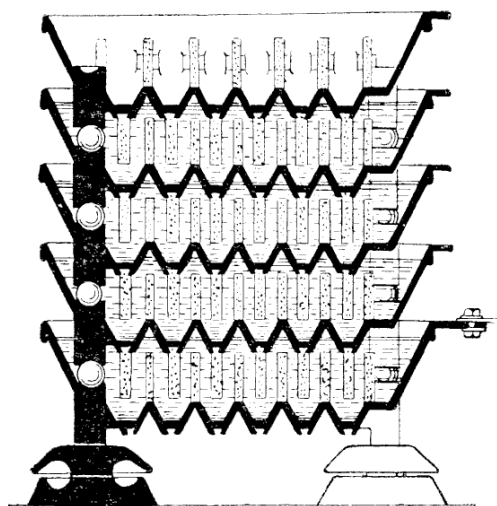


FIG. 16.

Pour l'un comme pour l'autre type, il n'y a à établir aucune connexion entre les éléments d'une même batterie, puisque cette connexion est réalisée par la pièce de plomb qui sert à la fois de support et de récipient pour l'électrolyte; ceci résulte de ce que les deux faces d'une même pièce appartiennent aux deux éléments voisins de la batterie.

2° Accumulateurs amovibles. — ÉLÉMENTS DE LA SOCIÉTÉ NOUVELLE DE L'ACCUMULATEUR « FULMEN ». — Les plaques de ces éléments sont du type à pastilles emprisonnées dans un grillage spécial en plomb antimonié.

Le grillage de la positive (*fig. 17*) est formé par la superposition de deux grilles identiques dont les séparations ont une section en forme de trapèze; l'accolage des deux grilles est fait de telle sorte que les petits côtés des trapèzes soient en contact.

Le grillage de la négative (*fig. 18*) est identique au précédent, sauf qu'il n'y a pas de renforcement aux angles des cloisons et que, sur chaque pastille, est disposé un petit quadrillage très léger qui divise la surface de cette pastille en douze parties égales, formant ainsi un réseau qui concourt à la répartition du courant et retient en même temps la matière active.

Groupe *b* : Éléments pour traction sur routes.

Les éléments de ce groupe sont constitués par les plaques que nous venons de décrire; ces plaques qui sont, pour tous les modèles d'éléments, d'une dimension uniforme, ont une hauteur de 18 cm, une largeur de 10 cm et une épaisseur de 4 mm; elles comportent trente pastilles percées de trous, comme on peut voir sur les figures.

Les différentes capacités sont obtenues en modifiant le nombre de plaques.

Les plaques reposent sur des tasseaux en caoutchouc de section triangulaire tronquée, dont la grande base est en caoutchouc dur et le sommet en caoutchouc souple. Ces tasseaux sont placés au fond du bac.

L'écartement et l'isolation des plaques sont assurés par des feuilles en ébonite ondulée et perforée.

Les bacs sont en ébonite unie. Le couvercle formé par une plaque d'ébonite pénètre à l'intérieur du bac et est percé de deux trous latéraux qui laissent passer les queues de connexion des groupes positifs et négatifs et d'un trou central fermé par un bouchon qui sert à l'évacuation des gaz.

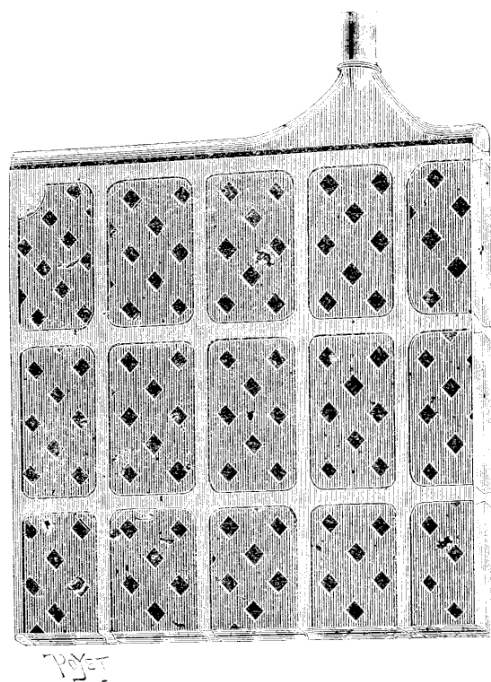


FIG. 17.

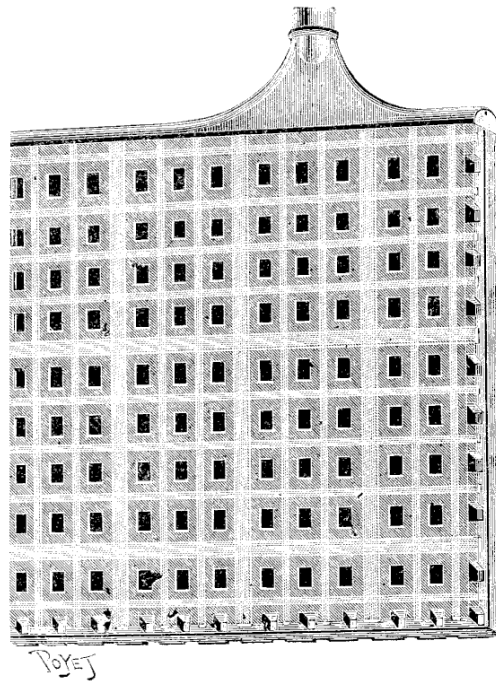


FIG. 18.

Les connexions de bac à bac sont réalisées par des lames de clinquant en cuivre rouge serrées contre les queues de connexion des plaques par des écrous de cuivre qui se vissent sur des tiges filetées; le tout est vaseliné pour prévenir l'attaque du métal par les projections d'acide.

Groupes *c*, *d* et *e* : Les éléments de ces groupes sont construits avec des plaques de même type que celles que nous venons de décrire qui ne diffèrent de celles-ci que par les dimensions.

ÉLÉMENTS DE LA SOCIÉTÉ ANONYME POUR LE TRAVAIL ÉLECTRIQUE DES MÉTAUX (groupes *a* et *b*). — Les éléments ordinaires de ce groupe appartiennent à la troisième catégorie et seront décrits plus loin; le type léger a ses plaques positives et négatives semblables; ces plaques sont de la fabrication décrite déjà à propos des éléments stationnaires et consistent en pastilles formées d'un mélange de chlorures de plomb et de zinc que l'on emprisonne dans un quadrillage coulé autour de ces pastilles; nous renverrons à la précédente description pour les détails de fabrication de ces plaques.

La Société anonyme pour le travail électrique des métaux exposait aussi des éléments ultra-légers pour traction, dont toutes les plaques étaient obtenues par empâtage d'un quadrillage en plomb antimoné. Dans ces plaques, la matière active représente environ 64 pour 100 du poids total.

Nous donnerons à titre d'exemple, d'après les constructeurs, les éléments de construction et les constantes de deux modèles correspondant aux types léger et extra-léger.

NATURE DU BAC		ÉLÉMENT LÉGER	ÉLÉMENT ULTRA-LÉGER
Dimensions extérieures du bac, en mm.	hauteur.....	270	265
	longueur.....	192	167
	largeur.....	126	137
Nombre de plaques.....	positives.....	9	9
	negatives.....	10	10
	hauteur.....	210	208
Dimensions des plaques, en mm.....	largeur.....	110	124
	épaisseur positives.....	5	3,5
	— negatives.....	4	3,5
Poids des plaques, en kg.....	positives.....	5,890	5,220
	negatives.....	5,200	5,300
Poids total de l'élément, en kg.....		16,920	16,700
Capacité à différents régimes de décharge, en ampères-heure.....	8 heures.....	217	262
	6 —.....	200	246
	4 —.....	179	221
	2 —.....	143	»

Groupe *c* : Les plaques employées dans les éléments pour l'éclairage des trains sont du même type que celles des éléments ordinaires de traction, c'est-à-dire qu'elles appartiennent à la troisième catégorie.

Groupe *d* : Les plaques des éléments destinés à l'allumage des moteurs sont du type à pastilles pour les positives et les négatives. Les bacs sont en ébonite ou en celluloïd.

Les chiffres du tableau suivant se rapportent à un élément de ce groupe monté dans un bac de celluloïd.

Dimensions extérieures du bac, en mm.....	hauteur.....	193	Poids total de l'élément, en kg.....	3,900	
	longueur.....	67			
	largeur.....	127			
Nombre de plaques.....		7	Dimensions des plaques, en mm.....	hauteur.....	135
Poids des plaques, en kg.....	positives.....	1,290		largeur.....	112
	negatives.....	1,360		épais. posit.....	5
			— neg.....	4	
			Capacité en Ah.....		38

ÉLÉMENTS DE LA SOCIÉTÉ DES VOITURES ÉLECTRIQUES ET ACCUMULATEURS BGS. — Cet élément se compose d'un grillage en plomb antimoné à ouvertures en forme de losanges, qui est empâté de matière active par les procédés habituels. Les pastilles de matière active qui remplissent les mailles du grillage ont une assez grande dimension (20 sur 20 mm) et sont percées de neuf trous de 1 mm de diamètre.

Les éléments de type courant sont montés avec des plaques positives de 4 mm d'épaisseur et des plaques négatives de 3 mm. Ces plaques se font habituellement en trois dimensions : 105 sur 105 mm; 210 sur 105 mm; 220 sur 220 mm.

Les plaques sont séparées par des feuilles d'ébonite perforée munies de quatre côtes verticales. Elles reposent sur des tasseaux de 15 mm de hauteur disposés au fond des bacs en ébonite.

Les bacs sont fermés avec un couvercle en deux pièces.

Les connexions de bac à bac sont démontables pour faciliter la sortie des plaques de chaque élément et leur nettoyage.

La figure 19 représente un élément monté dont le bac a été déchiré pour laisser voir les plaques et leur montage.

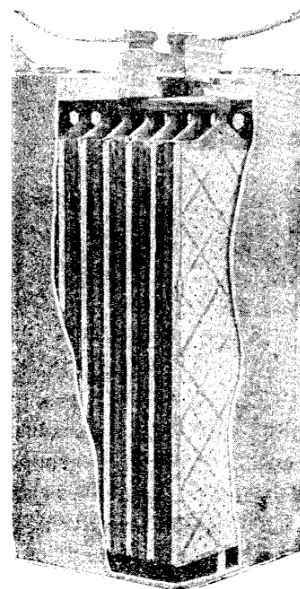


FIG. 19.

Le tableau suivant donne les variations de la capacité de ces éléments en fonction du débit.

Capacité en A.h par kg d'électrodes.	30.5	26.7	24.8	23.3	22.2	21.3	20.65	20	19.3	18.8	18.1
Débit en A. par kg d'électrodes....	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
Durée de la décharge en heures....	30.30'	17.88'	12.24'	9.21'	7.24'	6.5	5.9'	4.26'	3.62'	3.25'	3.1

Le débit peut atteindre 10 à 12 ampères par kg de plaques.

ÉLÉMENTS DE LA MAISON MICHEL PISCA (groupes *a*, *c* et *e*). — M. Michel Pisca exposait des accumulateurs légers, étudiés en vue de la traction électrique des tramways, de la propulsion des navires, de l'éclairage des trains, des usages médicaux et des expériences de laboratoire, sur lesquels nous n'avons pu malheureusement avoir des renseignements précis.

ÉLÉMENTS DE LA MAISON CHALMETON. — Aucun renseignement ne nous a été fourni sur ces éléments.

ÉLÉMENTS DE L'« ELECTRICAL POWER STORAGE Co » (groupes *a*, *b*, *c*, *d* et *e*). — Cette Société exposait de nombreux types d'éléments transportables et entre autres une batterie complète du modèle employé sur les fiacres électriques; cette batterie pèse 650 kg. Une autre batterie, du poids de 225 kg, est montée sur un tricycle à deux places pesant 725 kg sans compter les voyageurs. Il paraît que cette batterie est capable de fournir 32 kilomètres sans recharge.

ÉLÉMENTS PESCIETTO DE LA « SOCIETÀ ITALIANA DI ELETTRICITÀ GIA CRUTO » (groupes *a* et *b*). — Les plaques de ces éléments (*fig.* 20 et 21) sont de fabrication identique à celle que nous

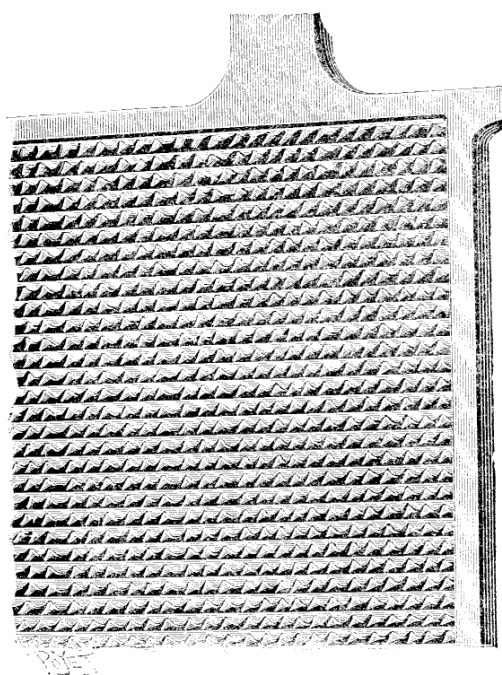


FIG. 20.

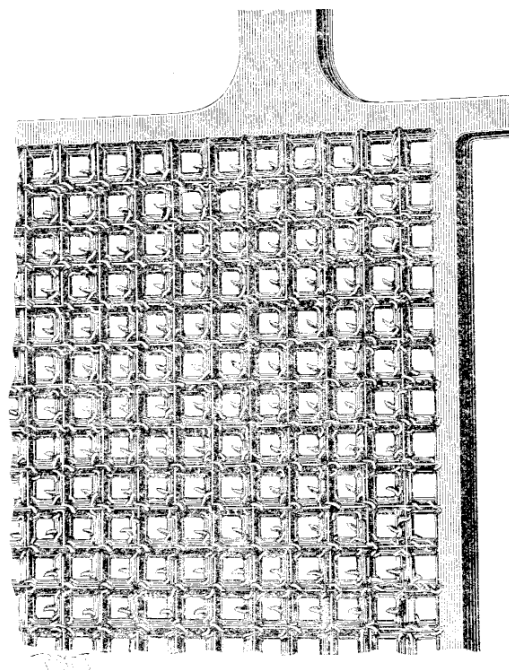


FIG. 21.

avons décrite plus haut, à propos des accumulateurs stationnaires. La disposition des plaques dans les bacs et la nature des bacs sont seules modifiées.

Dans les éléments du groupe *b*, les plaques sont séparées par des cloisons en ébonite ondulées et perforées, maintenues au milieu de l'intervalle qui sépare les plaques à l'aide de baguettes placées sur les bords verticaux des cloisons et de boutons répartis sur le reste de la surface. Les bacs sont en ébonite : deux des parois opposées sont rejetées vers l'extérieur, de façon à former deux épaulements sur lesquels les plaques viennent reposer par le prolongement latéral de leurs cadres. Le couvercle du bac est à emboîtement, c'est-à-dire qu'il s'appuie à la fois sur les parois

internes et sur les bords supérieurs des parois du bac. Ce couvercle porte trois trous dont deux latéraux servent au passage des tiges de connexion et un trou central pour l'évacuation des gaz à la charge. Ces trous sont fermés par des bagues en caoutchouc. Les bacs sont supportés par leurs épaulements dans les caisses de groupement par l'intermédiaire de cales en caoutchouc.

Voici quelques données relatives à une batterie destinée à actionner une voiture pesant 40 tonnes en ordre de marche sur un parcours de 84.560 km. Cette batterie dont un élément type figurait à l'Exposition, comporte 280 éléments pesant chacun 30 kg. Chaque élément se compose de 10 plaques négatives et de 9 plaques positives ayant les dimensions suivantes : les positives $210 \times 162 \times 6$ mm et les négatives $210 \times 162 \times 4$ mm.

ÉLÉMENTS DE LA MAISON A. HEINZ ET C^{ie} (groupes *a* et *b*). — Les éléments de ces deux groupes ont leurs deux électrodes constituées par des grillages empâtés.

L'électrode positive (*fig. 22*) est formée d'un grillage en plomb antimoné à 8 pour 100 fondu d'une seule pièce, dont l'épaisseur est de 4 mm environ; ce support porte des ouvertures rectangulaires de 2 cm sur 3 cm. La matière active, composée d'un mélange, par parties égales, de minium et de litharge, est comprimée très fortement dans les alvéoles du support; au moment de la compression, on ménage dans les pastilles un certain nombre de trous.

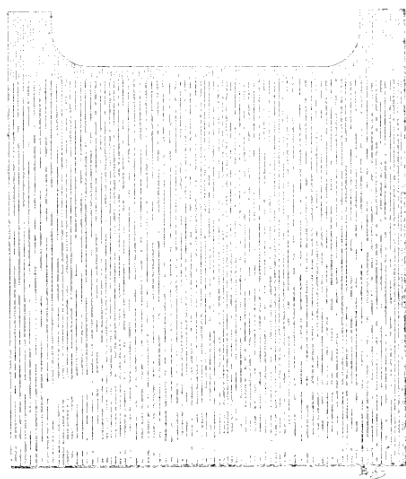


FIG. 22.

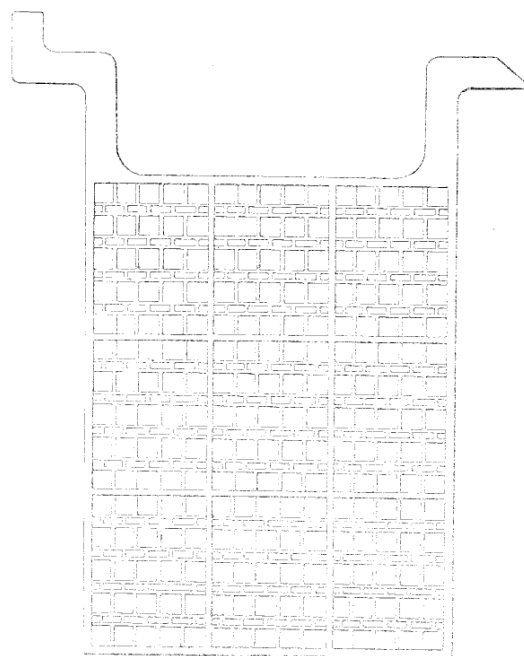


FIG. 23.

Il y a environ 170 gr de matière active par dm^2 , de sorte que le rapport du poids du support à celui de la matière active est d'environ 1,9.

Après formation, l'électrode est enroulée d'un fil d'amiante pur ou d'un mélange d'amiante et de caoutchouc. Cette enveloppe sert à assurer l'isolation des plaques en même temps qu'elle retient la matière active.

Le support de l'électrode négative (*fig. 23*) est formé par la réunion, par soudure et rivetage après leur empâtage, de deux grillages en plomb antimoné; l'ensemble forme une sorte de cage à barreaux très rapprochés, qui présente une grande surface de contact avec la matière active.

L'épaisseur de la plaque terminée est de 6 mm. Le support pèse environ 150 gr par dm^2 et contient 250 gr de matière active pour la même surface, de sorte que le rapport du poids de la matière active à celui du support est d'environ 1,67.

L'empâtage de la plaque négative est fait avec de la litharge malaxée avec une dissolution de sulfate de magnésie.

Voici, à titre d'exemple, les constantes d'un élément du groupe *b* :

Dimensions du bac en centimètres.....	longueur.....	11,2
	largeur.....	9
	hauteur.....	29,5
Poids des électrodes avec connexions en kg.....		3,800
— du bac en ébonite.....		0,500
— du liquide.....		1,300
— total de l'élément.....		5,600
Capacité à faible régime de décharge.....	150 ampères-heure	
— au régime de décharge en 10 heures.....	100	—
— — — 5 —.....	90	—
— — — 3 —.....	72	—

La figure 24 représente un élément monté.

Groupes *c*, *d* et *e* : Ces éléments sont construits avec des plaques identiques à celles que nous venons de décrire, dont les dimensions seules sont réduites. Les bacs des éléments pour

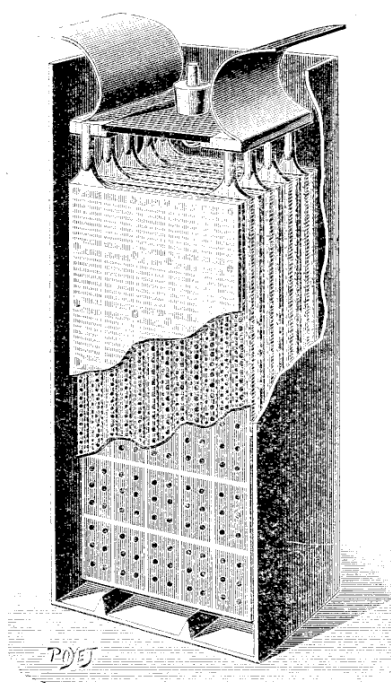


FIG. 24.

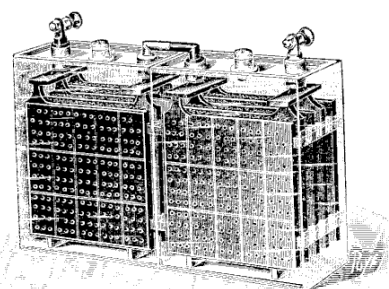


FIG. 25.

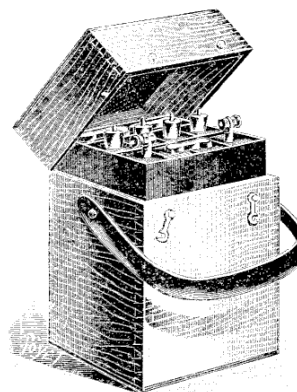


FIG. 26.

allumage de moteurs (fig. 25) (groupe *d*) sont en celluloid. La figure 26 représente une batterie médicale.

ÉLÉMENTS DE LA MAISON ALFRED DININ (groupes *c*, *d*, et *e*). — Ces éléments sont du type de l'élément Boese, qui se distingue par des pastilles de grandes dimensions, qui atteignent dans certains modèles 57 mm sur 85 mm. Ces pastilles sont obtenues en malaxant les oxydes de plomb avec de l'alcool et du brai de houille ; après quoi on chauffe pour évaporer l'alcool, puis on traite par l'acide sulfurique étendu. La formation des plaques se fait par les procédés ordinaires. La figure 27 représente une de ces plaques.

Étant donnée la grande dimension des pastilles, ces éléments conviennent plus particulièrement pour les décharges lentes ; leurs principales applications sont : l'éclairage des wagons de chemin de fer, l'allumage des moteurs et les usages médicaux.

Dans tous les types d'éléments, la plaque positive est toujours du système Boese : l'électrode négative est aussi généralement de ce type; cependant dans les éléments destinés à l'allumage des moteurs, on emploie des plaques à grilles pour les négatives, parce qu'on a reconnu que les grandes pastilles de la plaque négative ordinaire avaient tendance à se détacher de leur support par suite des trépidations.

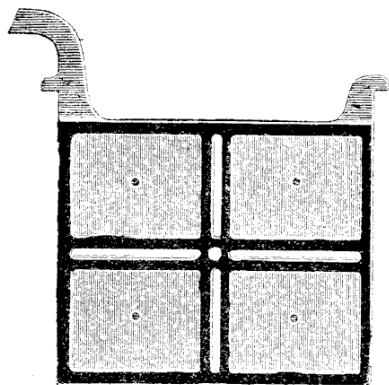


Fig. 27.

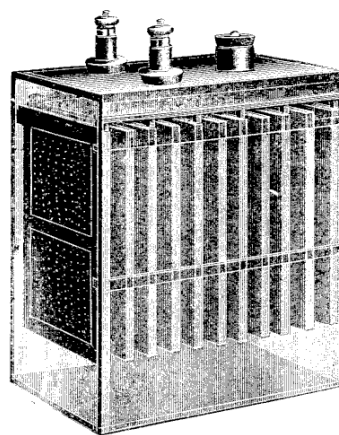


Fig. 28.

Voici, à titre d'exemple, les données relatives à un élément d'allumage de moteur à pétrole pour voitures automobiles contenant 3 kg de plaques qui peut fournir 60 ampères-heure au régime de décharge en vingt-cinq heures *fig. 28*.

Dimensions du bac en celluloïd, en cm.....	hauteur.....	18,2
	longueur.....	11,3
	largeur.....	8,2
Dimensions des plaques, en cm.....	positives.....	10 × 14 × 0,6
	négatives.....	10 × 14 × 0,4
Poids d'une plaque.....	positive.....	500 grammes.
	négative.....	375
Poids de l'élément complet.....		4,500

Les batteries employées pour l'éclairage des trains se composent de quatre caisses de quatre éléments pesant chacune 46 kg. La capacité de la batterie est de 125 ampères-heure au régime de 5 ampères.

Un type spécial dont un modèle a figuré à l'Exposition, est employé par la Compagnie du chemin de fer de P.-L.-M. La batterie comporte huit boîtes de deux éléments. Chaque élément est composé de 21 plaques (les négatives à grilles) pesant 16 kg. Le poids total d'une boîte est de 66 kg. La capacité des éléments est de 200 Ah au régime de 25 ampères. Les plaques positives de ces éléments ont une épaisseur de 7,5 mm et les négatives, 4 mm.

ÉLÉMENTS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ACCUMULATEURS « PHOENIX » (groupe *b*). — Ces éléments ne comportent pas de plaques, à moins qu'on ne considère comme telles, les nombreux cylindres de section très petite dont ils sont formés.

Chacun de ces cylindres, dont la capacité individuelle est très faible, par conséquent, est lui-même constitué par un certain nombre de cylindres élémentaires soudés bout à bout *fig. 28*.

Le cylindre élémentaire est formé *fig. 29* d'une tige de plomb antimoné recouverte par empâtage d'une enveloppe de matière active; cette tige de plomb de 2 mm de diamètre, d'une longueur de 7 cm entre les deux épaulements qu'elle porte en haut et en bas et qu'on voit sur la figure, se prolonge au delà de ces épaulements sur une longueur de 5 mm environ.

Le diamètre du cylindre empâté est de 6 mm; l'empâtage affleure l'épaulement supérieur; quant à l'épaulement inférieur, dont le diamètre est un peu plus grand, il débordé légèrement l'empâtage. C'est sur ce dernier épaulement que viennent reposer des rondelles en ébonite, qui

sont empilées de façon à recouvrir complètement toute la hauteur du cylindre. Ces rondelles sont découpées dans du tube d'ébonite de 0,3 mm d'épaisseur et elles ont une hauteur de 0,1 mm.

Les cylindres positifs et négatifs sont identiques.

Les chapelets de cylindres positifs sont soudés à une plaque : les négatifs, à une autre. Ces deux plaques sont superposées : la positive est au-dessus ; comme elles ont mêmes dimensions, puisque les cylindres sont réunis en quinconce, en alternants positif et négatif, la plaque inférieure est percée de trous pour laisser passer les cylindres de la polarité contraire à celle des cylindres qu'elle doit réunir électriquement. Chacune des plaques porte, en outre, autant de petits trous du diamètre des âmes des cylindres qu'il y a de chapelets de cylindres pour constituer l'élément.

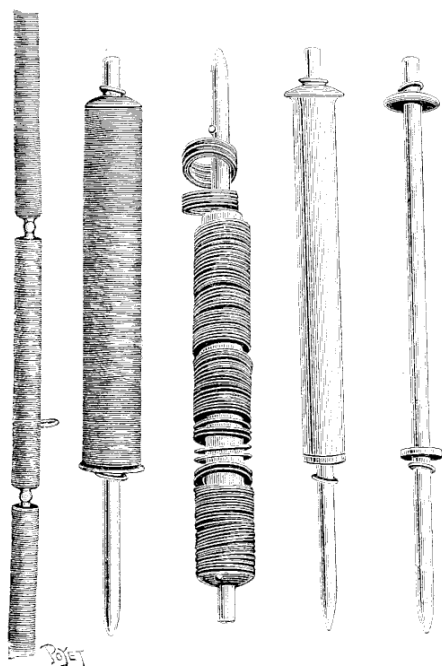


FIG. 29.

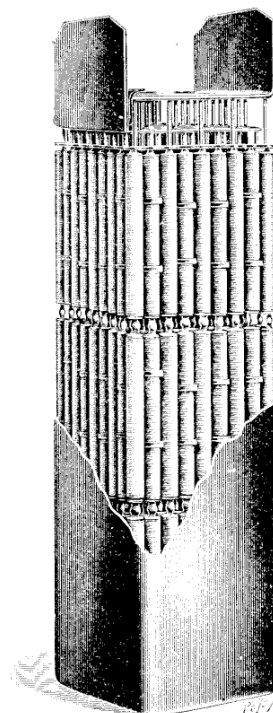


FIG. 30.

Une plaquette d'ébonite percée de trous pour laisser passer les cylindres, repose sur la partie supérieure des chapelets.

Les parties inférieures des tiges pénètrent dans les trous d'une plaquette identique qui est maintenue en place par des grains de soudure placés à l'extrémité de chaque tige.

Le bac en ébonite qui contient les électrodes ne porte pas de couvercle ; une fois l'élément monté, on coule une couche de paraffine sur l'électrolyte, et on la perce d'un trou pour l'évacuation des gaz.

La figure 30 montre un élément complet.

III. — ACCUMULATEURS AU PLOMB A POSITIVES PLANTÉ ET NÉGATIVES FAURE

Cette catégorie d'éléments était représentée à l'Exposition par plusieurs types importants. C'est dans cette catégorie que se classent la plupart des éléments à plaques en plomb doux à formation autogène : comme nous l'avons dit déjà à propos des éléments de la première catégo-

rie, les fabricants d'accumulateurs n'utilisent, en général, ce genre de plaques que pour les positives où leurs qualités particulières, telles que : la conservation de la capacité et, par suite, la durée, les régimes élevés qu'elles permettent d'atteindre en charge et en décharge, la grande robustesse, sont surtout utilisées; tandis que les plaques négatives, dont le travail est beaucoup moins pénible, peuvent sans grands inconvénients être construites comme celles de la deuxième catégorie et sont d'une fabrication moins pénible.

1^{er} Accumulateurs stationnaires. — *Éléments de la Société Tudor.* — Les plaques positives de tous ces éléments sont obtenues par moulage du plomb doux dans un moule de forme spéciale. Les plaques ainsi moulées portent un grand nombre d'ailettes transversales destinées à accroître leur surface active; ces ailettes, qui existent sur les deux faces de la plaque, sont réunies entre elles par une âme centrale conductrice. De place en place, la plaque porte des nervures longitudinales qui augmentent sa résistance mécanique et contribuent à assurer une bonne répartition du courant. Un cadre, venu de fonte avec la plaque, sert à prévenir la déformation de cette plaque en même temps qu'elle fournit un passage de faible résistance au courant pour atteindre les dérivations principales formées par les nervures; les plaques portent une queue de connexion très robuste et elles sont reliées entre elles par soudure autogène de ces queues à une barre de connexion.

Les plaques négatives sont formées d'un support en plomb antimonié présentant l'aspect d'un grillage à ouvertures rectangulaires; ce grillage est venu de fonte; il est très léger et les ouvertures sont remplies d'un mélange de minium et de litharge; une fois empâtées, les plaques sont traitées par les procédés ordinaires.

Groupe a. — Les batteries destinées à l'éclairage sont formées d'éléments montés dans des bacs en verre pour les capacités n'excédant pas 450 ampères-heure et dans des bacs en bois, doublés de plomb à l'intérieur, pour les capacités supérieures. Les plaques de ces éléments sont isolées entre elles à l'aide de tubes de verre: elles sont supportées par des dalles de verre sur lesquelles elles reposent par des épaulements placés à chacune de leurs extrémités supérieures; ces dalles, disposées contre les parois verticales des bacs, permettent aux plaques de se dilater librement dans le sens transversal, tandis que la dilatation dans le sens longitudinal peut s'effectuer sans entraves, puisque les plaques sont suspendues à une certaine distance du fond des bacs.

Groupe b. — Les éléments des batteries de secours sont montés avec les mêmes plaques que les précédents et le montage des plaques est fait d'une façon identique.

Groupe c. — Dans les batteries tampons, on cherche à réduire la résistance intérieure des éléments au minimum: aussi les plaques sont-elles légèrement plus rapprochées que dans les éléments des deux groupes précédents.

Dans les éléments de grande capacité appartenant à ces différents groupes, le serrage des plaques est obtenu à l'aide de ressorts en plomb antimonié placés latéralement.

ÉLÉMENTS DE LA MAISON ALFRED DININ. — Cette maison exposait un nouveau type de plaque à formation autogène que nous ne faisons que signaler ici, parce que ces modèles, étant de création toute récente, ne sont pas encore complètement étudiés.

ÉLÉMENTS DE LA MAISON HEINZ ET C^{ie}. — Ces éléments, dont quelques échantillons de plaques figuraient à l'Exposition, sont encore à l'étude.

ÉLÉMENTS « OMEGA » DE LA MAISON GEOFFROY ET DELORE (groupes a, b et c). — Les éléments appartenant à ces différents groupes sont identiques; ils sont étudiés pour supporter des régimes élevés de charge et de décharge.

La plaque positive est du type à formation autogène Planté. Elle est en plomb doux fondu et constituée par une âme en zigzag, de 3 mm d'épaisseur environ, qui supporte un grand nombre de petites lamelles distantes de 0,5 mm environ.

Ces lamelles, disposées verticalement et perpendiculairement au plan de la plaque, ont une épaisseur de 0,5 mm, une largeur qui varie entre 2 et 8 mm et une longueur de 20 mm; elles ont la forme d'un trapèze rectangle double qui suit les sinuosités de l'âme. Chaque série horizon-

tale de lamelles est séparée de la série suivante par un intervalle de 1 mm qui permet leur libre dilatation.

Grâce à la forme spéciale de l'âme, les deux faces de la plaque ne sont pas symétriques : les lamelles d'une face sont décalées de la moitié de leur hauteur par rapport à celles de l'autre face.

La plaque normale a une hauteur de 270 mm, une largeur de 210 mm et une épaisseur de 13 mm. Elle est divisée en six parties égales par deux nervures horizontales et deux nervures verticales ayant environ 2 mm d'épaisseur chacune. Son poids est de 3,300 kg. Sa surface apparente est 11,34 dm² et sa surface active environ dix fois supérieure.

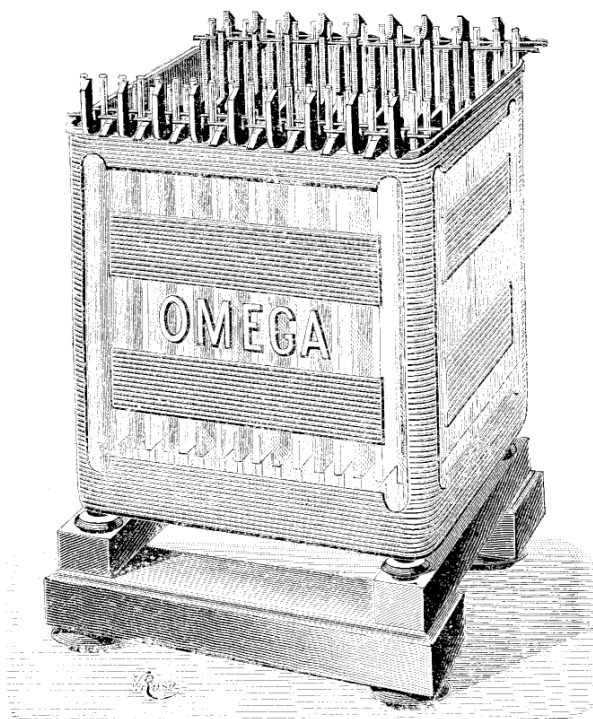


FIG. 31.

La plaque négative est constituée par un grillage en plomb doux, d'une forme très spéciale, qui présente une série d'alvéoles, les unes à ouvertures carrées de 10 mm de côté, les autres rectangulaires de 16 mm de largeur sur 3 mm de hauteur. Ces alvéoles sont empâtées de matière active qu'on réduit en plomb spongieux par le courant.

Cette plaque a 270 mm de hauteur, 210 mm de largeur et 8 mm d'épaisseur ; elle pèse environ 3 kg.

Quelle que soit leur capacité, tous les éléments sont montés avec ces deux types de plaques, dont le nombre seul varie.

Les plaques sont isolées entre elles à l'aide de tubes de verre (fig. 31) et elles sont suspendues par les queues qu'elles portent sur chaque extrémité. Dans les éléments de faible capacité, cette suspension se fait sur les bords du bac en verre ; dans les éléments montés dans des bacs de bois doublé de

plomb, les plaques sont supportées par des dalles en verre placées sur les côtés intérieurs des bacs.

Pour les éléments de grande capacité, les plaques sont montées par série de deux en dérivation dans le même bac.

Voici quelques données de construction sur ces éléments.

NATURE DU BAC		PETIT ÉLÉMENT VERRE	GRAND ÉLÉMENT BOIS DOUBLÉ DE PLOMB
Dimensions extérieures du bac.....	hauteur en mm.....	400	400
	longueur —.....	313	1195
	largeur —.....	290	320
Nombre de plaques.....	hauteur en mm.....	4 + et 5 —	19 + et 20 —
	longueur —.....	262 — 275 —	262 (+) 275 —
Dimensions des plaques.....	largeur —.....	212 + et —	212 (+) et —
	épaisseur —.....	13 + et 8 —	13 + 8 —
Poids des plaques positives, en kg.....		21,6 environ	102,6 environ
— négatives —.....		15,5 —	62 —
Poids total d'électrodes, en kg.....		37,1 —	164,6 —
— d'élément, en kg.....		74,2 —	313 —

Capacité aux différents régimes....	10 heures	268 amp.-h.	à	26.8 ampères	1273 amp.-h.	127.3 ampères.
7	—	244	—	34.8	—	1159
	—	234	—	39	—	1111
	—	224	—	44.8	—	1064
	—	188	—	62.7	—	893
	—	162	—	80	—	766
	—	132	—	132	—	627

ÉLÉMENTS DE LA COMPAGNIE FRANÇAISE DES ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES « UNION » (groupes *a, b, c*). — Les plaques positives de ces éléments *fig. 32* sont en plomb doux laminé récrouti: on

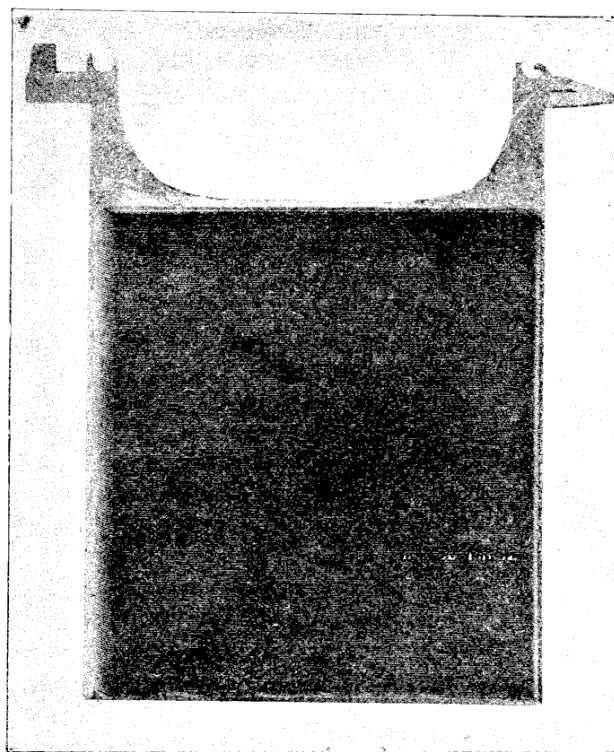


FIG. 32.

part d'un lingot de 108 mm d'épaisseur, qu'on amène par des passes successives et de sens alterné à une épaisseur variant de 4 à 8 mm. Les plaques, coupées à la dimension convenable, sont placées sur une machine, où un outil de forme spéciale *fig. 33* soulève de leur surface une série de lamelles parallèles qui restent fixées aux plaques par leurs bases: la largeur de ces lamelles, c'est-à-dire la profondeur des sillons creusés, est réglée par la position de l'outil et leur écartement, par le déplacement du chariot qui porte la plaque.

Les deux faces de la plaque sont taillées de la même façon d'une série de sillons dirigés dans le sens de la hauteur; le nombre de ces sillons par centimètre varie de 8 à 30, suivant l'application à laquelle la plaque est destinée: l'épaisseur de l'âme est également variable.

La formation des plaques est faite par le procédé Planté et aucun artifice n'est employé pour obtenir une formation rapide.

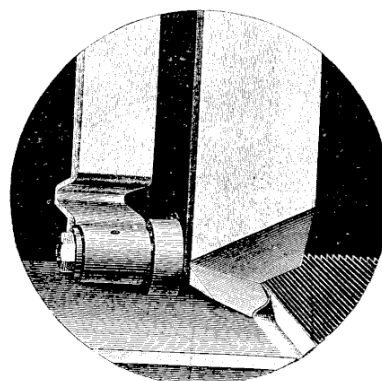


FIG. 33.

Les plaques négatives *fig. 34* sont constituées par un support empâté formé d'une série de barrettes, inclinées tantôt dans un sens, tantôt dans le sens opposé, maintenues dans un cadre et disposées entre un certain nombre de montants verticaux qui ont en même temps pour but de répartir le courant à la matière active.

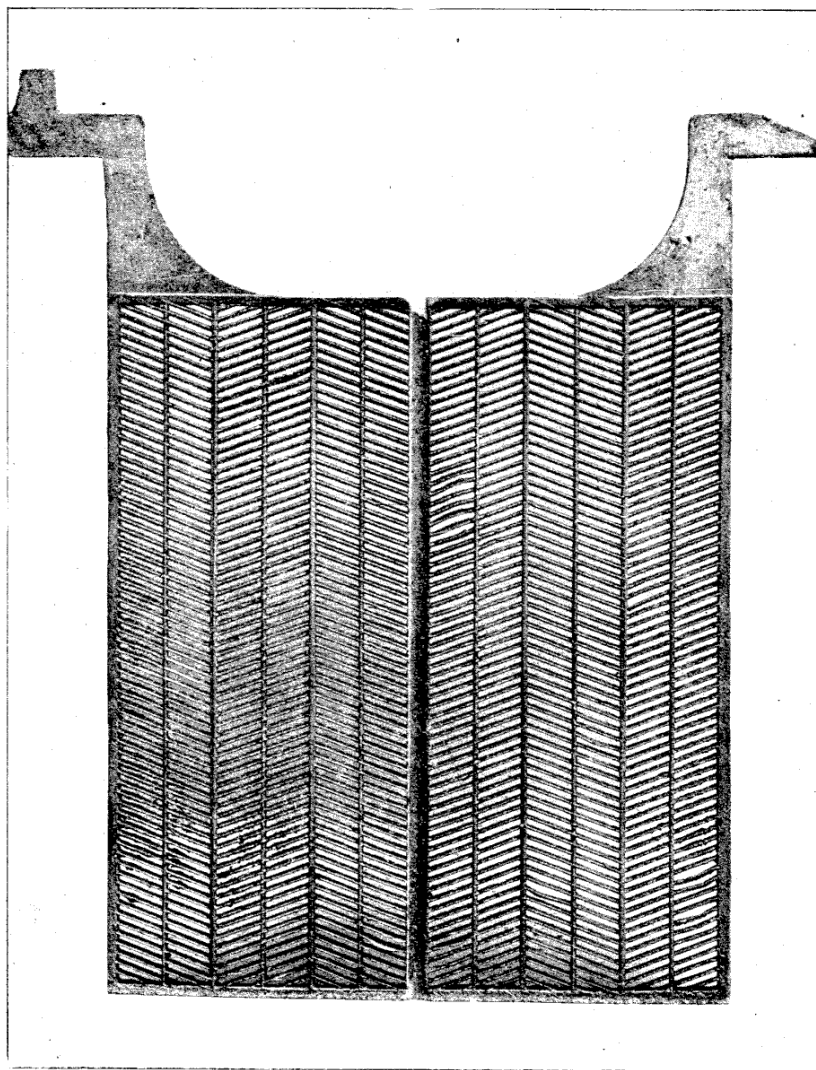


Fig. 34.

Les plaques négatives et positives sont pourvues de deux queues coudées d'équerre à leur extrémité, comme on peut voir sur les figures. La queue destinée à recevoir la connexion porte un talon à sa partie supérieure: sur ce talon est soudée la barre de connexion.

Le montage se fait dans des bacs de verre pour les éléments dont la capacité n'est pas supérieure à 310 ampères-heure au régime de décharge en trois heures. Les plaques reposent sur les bords du vase par l'extrémité de leurs queues.

L'isolement des plaques est assuré par des tubes de verre. Pour maintenir ces tubes dans une position verticale, ceux placés au milieu de l'élément sont engagés dans une rainure creusée dans la barrette verticale médiane des plaques négatives; les tubes latéraux sont soutenus à leur

partie supérieure par des griffes placées sur les queues des plaques positives ; ces derniers tubes reposent sur des supports en plomb antimoné, tandis que les tubes du milieu sont serrés, à leur extrémité supérieure, entre deux baguettes en verre que réunit un cavalier en plomb.

L'ensemble des plaques ainsi isolées est fortement serré par un ressort en plomb antimoné qui s'appuie d'un côté sur la paroi du bac et de l'autre sur la plaque négative extrême par l'intermédiaire d'un tube de verre.

Ces dispositifs sont représentés par les figures 35 à 37.

Les plaques négatives extrêmes ont une épaisseur moitié moindre que les autres.

Dans les éléments de grande capacité, le bac est en bois doublé de plomb et les plaques reposent par l'épaulement de leurs queues sur deux dalles de verre très épaisses placées dans le

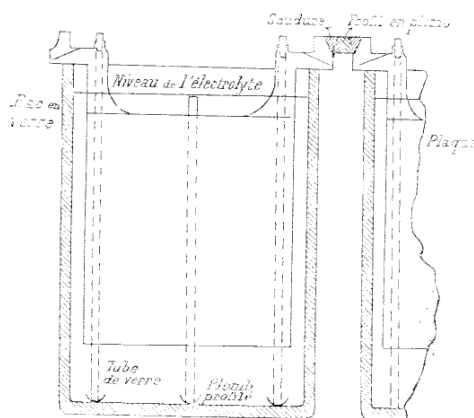


FIG. 35.

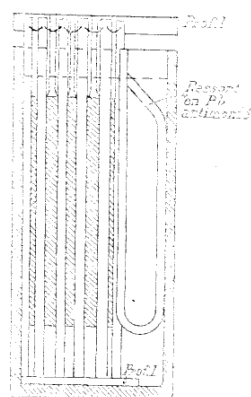


FIG. 36.

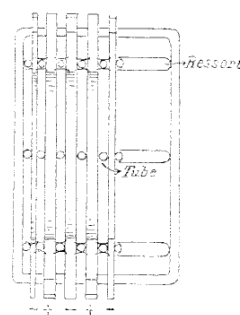


FIG. 37.

bac et légèrement inclinées à leur partie supérieure vers le milieu du bac. Ces dalles ont une hauteur supérieure à la hauteur intérieure du bac et elles reposent dans la rainure extrême d'un support en plomb ; une autre rainure de cette même pièce sert de guide aux tubes de verre extrêmes qui séparent les plaques (Voir fig. 34 à 36).

Les barres de connexion en plomb ont une section en forme de trapèze plein pour les petits éléments ; pour les grands modèles, le trapèze est évidé à sa partie inférieure.

Les batteries tampons sont montées avec les mêmes plaques et de la même façon que les batteries des deux autres groupes ; le nombre et la largeur des ailettes peuvent seuls varier.

Le tableau suivant indique la variation de la capacité avec la rapidité de décharge.

Décharge en	1 heure :	6.7 ampères-heure par décimètre carré de plaque positive.			
—	2	7.6	—	—	—
—	3	7.8	—	—	—
—	4	8 »	—	—	—
—	5	8.6	—	—	—
—	7	9.8	—	—	—
—	10	10.6	—	—	—

ÉLÉMENTS DE LA « SOCIETÀ ITALIANA DI ELETTRICITÀ GIA CRUTO ». — Cette maison, qui est concessionnaire des brevets Majert pour l'Italie, exposait des éléments de ce type dont les plaques positives sont identiques à celles construites par la Compagnie Française des accumulateurs « Union », que nous avons décrites plus haut. Les plaques négatives sont du type « Pescetto », que nous avons également décrites dans les éléments de la deuxième catégorie.

ÉLÉMENTS DE LA « THE CHLORIDE ELECTRICAL STORAGE SYNDICATE ». — Les plaques positives de ces éléments se composent d'une grille, venue de fonte, en plomb antimoné. Le coulage est fait

sous pression, à l'air comprimé, et les moules sont disposés de façon à ménager une série de trous ronds destinés à recevoir des noyaux de plomb. Ces noyaux sont faits avec des bandes de plomb doux de 6 mm de largeur environ, qui sont gaufrées et coupées de longueur par une machine spéciale; après quoi ces bandes sont roulées sur elles-mêmes. Les pièces ainsi obtenues sont placées à la main dans les trous du cadre. Quand les plaques sont complètement remplies, elles sont passées à la presse hydraulique pour assurer les contacts électriques des noyaux avec le cadre-support. La formation des plaques ainsi préparées est faite par les procédés ordinaires de formation autogène, en employant des plaques négatives neutres.

Les plaques négatives sont du type Faure. Elles sont formées par l'assemblage, à l'aide d'un support coulé, d'une série de pastilles en chlorure double de plomb et de zinc. Pour fabri-

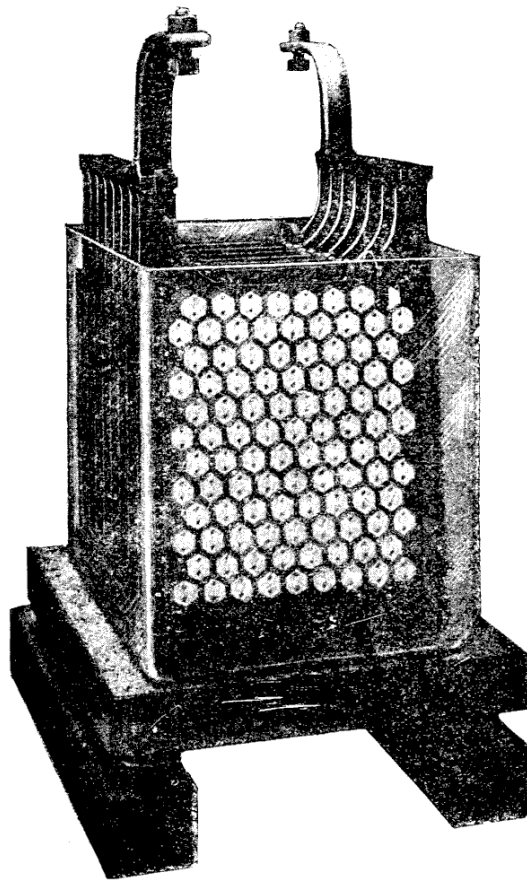


FIG. 38.

Groupes *a*, *b* et *c*: Les éléments de ces trois groupes sont montés avec les plaques que nous venons de décrire.

Les plaques sont supportées, dans les bacs, par des dalles de verre, sur lesquelles elles s'appuient par des épaulements venus de fonte en dessous des queues de connexion.

Voici quelques données sur les éléments de cette fabrication:

Dimensions des plaques en cm.....	positives.....	27 × 23,5 × 0,8
	negatives.....	27,6 × 23,5 × 0,5
Plaques positives.....	poids de la matière active.....	2 125 gr.
	— du cadre.....	2 098 —
Plaques négatives.....	poids de la matière active.....	1 072 —
	— du cadre.....	1 394 —

quer ces pastilles, on part de la litharge, que l'on dissout dans l'acide acétique; puis on précipite par l'acide chlorhydrique. Le chlorure de plomb ainsi obtenu est alors fondu avec une petite quantité de zinc; puis le mélange est coulé dans des moules de forme hexagonale. Les pastilles sont ensuite disposées dans la partie inférieure d'un moule dont la partie supérieure est fixée au piston d'une presse hydraulique. Quand le moule est rempli, on le ferme et on introduit sous pression du plomb antimoné fondu qui remplit les interstices laissés entre les pastilles. Une fois que les plaques ont été démontées, elles sont placées dans les bacs de réduction qui contiennent des feuilles de zinc. Le chlorure de plomb des pastilles est réduit et les pastilles sont transformées en plomb spongieux pur. Après lavage, les plaques sont passées au bain d'hydrogène pour enlever toute trace de chlore.

Les connexions des plaques entre elles sont obtenues en engageant les angles supérieurs des plaques terminées (positives ou négatives) dans un moule de forme spéciale, dans lequel on coule du plomb.

La figure 38 représente un élément monté dans un bac de verre qui laisse voir une plaque négative.

ÉLÉMENTS DE L'« ACCUMULATOREN-FABRIK AKTIENGESellschaft ». — Les plaques positives de ces éléments (*fig. 39*) se composent d'un quadrillage coulé en plomb doux, formé par l'assemblage dans un cadre d'un nombre considérable de fines nervures, disposées verticalement, très rapprochées les unes des autres, onze environ par cm. La section de ces nervures est triangulaire; le sommet du triangle se trouve à la surface de la plaque et la base au milieu. Les plaques n'ont pas d'âme continue; des nervures horizontales bien plus espacées, environ 5 mm de plus que les précédentes, ont pour but d'assurer la rigidité. Les plaques possèdent deux queues.

Ces plaques sont formées par le procédé Planté.

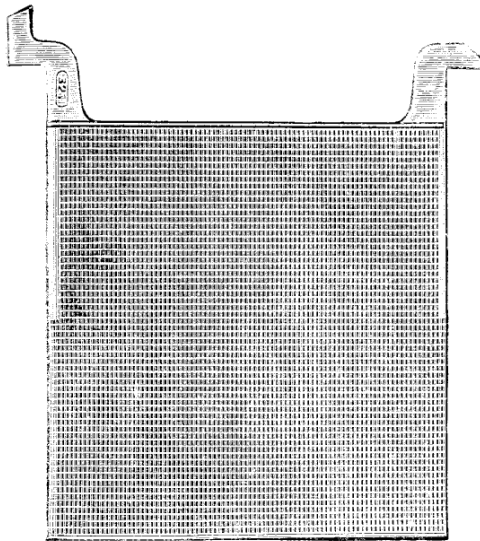


FIG. 39.

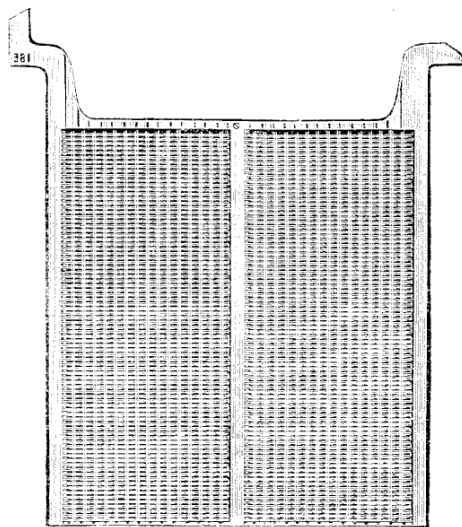


FIG. 40.

Les plaques négatives (*fig. 40*) sont formées par l'empâtage d'une grille à alvéoles rectangulaires; cette grille est un plomb antimoné coulé et les alvéoles sont disposées de telle sorte que le plus grand côté du rectangle est dans le sens horizontal.

Groupes *a*, *b* et *c* : Les éléments de ces trois groupes sont tous montés avec les plaques que nous venons de décrire. Pour les éléments de faible capacité, le bac est en verre et les plaques viennent reposer sur les bords de ce bac par l'épaulement de leurs queues. Dans les bacs en bois, doublés de plomb, qui sont employés pour les éléments de grande capacité, les plaques reposent sur deux dalles de verre qui émergent de l'électrolyte, pour éviter que la matière active en suspension ne vienne se déposer sur les bords et créer des courts-circuits entre les plaques par les queues qui s'appuient sur ces bords.

Voici quelques données de construction et constantes sur ces éléments.

		PAC VERRE	BAC BOIS DOUBLÉ DE PLOMB
Dimensions extérieures du bac.....	hauteur en mm.....	305	600
	longueur en mm.....	215	465
	largeur en mm.....	245	325
Nombre de plaques.....		10 — et 11 —	44 — et 45 —
Poids total de l'élément en kg	sans acide.....	41	210
	avec —	63	298
	10 « heures.....	242 amp.-h.	1197 amp.-h.
Capacités à différents régimes.....	7 « —	222 —	1160 —
	3 « —	202 —	1093 —
	3 « —	180 —	891 —
	2 « —	157 —	729 —
	1 « —	123 —	610 —

Cette Société exposait un élément capable de fournir 50 000 ampères-heure au régime de 5 000 ampères et 25 000 ampères-heure, au régime de 25 000 ampères, c'est-à-dire pour une décharge en une heure. Cet élément se compose de 20 plaques positives et de 21 négatives supportées par des dalles de verre ; les plaques sont séparées par des tubes de verre. Le bac de cet élément est de forme cubique et a 2 mètres de longueur aux arêtes.

2° Accumulateurs amovibles. — ÉLÉMENTS DE LA SOCIÉTÉ TUDOR (groupes *a*, *b*). — Les plaques positives de ces éléments (*fig. 41*) sont semblables à celles des éléments stationnaires : elles sont en plomb doux fondu et divisées dans le sens de la hauteur par une série de cloisons d'épaisseurs différentes, qui sectionnent les plaques en un certain nombre de parties égales et assurent la répartition du courant.

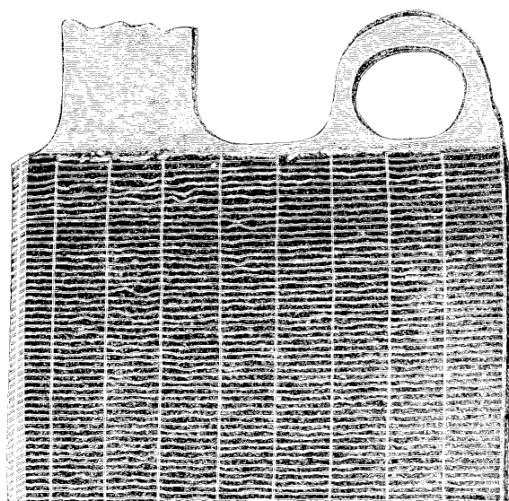


FIG. 41.

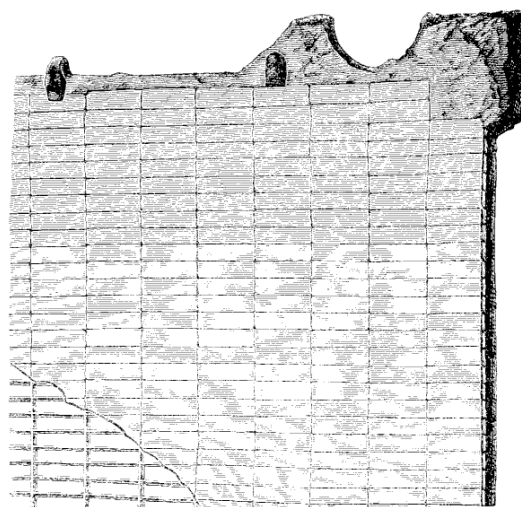


FIG. 42.

Les plaques sont encadrées ; la traverse supérieure du cadre porte, au milieu, la queue de connexion qui est très robuste et, de chaque côté, une projection percée d'un trou central.

Les deux angles inférieurs des plaques sont coupés de façon à former de chaque côté une encoche rectangulaire.

Les plaques négatives (*fig. 42*) sont constituées par un grillage très fin qui sert de support à la matière active. Les plaques sont encadrées et la partie supérieure du cadre porte une série de saillies, destinées à loger les isolants qui servent à séparer les plaques ; à chaque angle supérieur des cadres est disposée une queue de connexion ; ces queues font saillie sur les côtés latéraux et les barres de connexion des plaques négatives sont soudées sur cette saillie. Enfin, à leur partie inférieure, les plaques négatives portent deux autres projections latérales, sur lesquelles sont soudées deux lames de plomb.

Le montage de ces éléments est tout à fait spécial ; il a été étudié pour n'entraver en rien la dilatation des plaques positives.

Les plaques négatives soudées entre elles, comme nous venons de le voir, constituent un seul bloc, qui repose sur une saillie placée au fond du bac. On intercale, dans ce bloc, les positives réunies entre elles par les queues centrales et on glisse une barre d'ébonite dans chacune des deux séries d'anneaux que portent ces plaques. Les plaques positives viennent donc reposer sur les négatives et sont complètement libres à leur partie inférieure.

L'isolement des plaques entre elles est assuré par des tiges de verre et l'ensemble des plaques est placé dans un bac en ébonite.

Voici, à titre d'exemple, des données de construction sur un élément de 120 Ah, de ce type.

<i>Plaques positives.</i>	
Nombre	5
Dimensions, en cm :	
Hauteur	18
Largeur	16
Épaisseur	0,8
Poids, en kg	1,8
Poids approximatif du cadre, en kg	0,3
Section du cadre, en mm ²	10
— de la queue de connexion, en mm ²	12
Surface apparente, en dm ²	3,8
<i>Plaques négatives.</i>	
Nombre	6
Dimensions, en cm :	
Hauteur	18
Largeur	16
Épaisseur	0,3
Poids, en kg	1,16
Poids approximatif du cadre, en kg	0,3
— de la matière active en kg	0,86
Section du cadre, en mm ² , haut.	7
— — — bas et côtés	5
Ecartement des plaques, en mm	3.
<i>Bac et connexions.</i>	
Dimensions extérieures, en cm :	
Hauteur	27,5
Longueur	48,5
Largeur	43,5
Poids du bac, en kg	1,99
<i>Electrolyte.</i>	
Poids, en kg	3
Volume approximatif, en dm ³	2,5
Densité :	
Fin de charge	1,2
Fin de décharge	1,18
Poids total de l'élément complet	21,5

Groupes *c*, *d* et *e* : La Société Tudor exposait aussi des éléments appartenant à ces groupes, qui ne présentent aucune particularité spéciale. Cependant, dans les petits éléments pour laboratoires, comportant une plaque positive et deux plaques négatives, la plaque positive est de l'ancien modèle empâté sur plomb doux.

ÉLÉMENTS MIXTES DES SOCIÉTÉS DE L'ACCUMULATEUR BLOT ET DE L'ACCUMULATEUR FULMEN groupe *b*. — Les plaques positives sont de construction identique à celles que nous avons décrites, à propos de l'élément Blot amovible et les plaques négatives en tout semblables à celles de l'élément Fulmen.

Les plaques positives sont réunies, comme dans l'élément Blot, par une traverse en plomb antimonié qui pénètre dans les encoches des queues et y est soudée.

L'ensemble des plaques repose sur un cadre en ébonite placé au fond du bac.

Les plaques sont isolées par des lames d'ébonite perforées et ondulées.

Le bac est en ébonite, renforcé par des nervures situées sur les faces latérales, et fermé par une plaque d'ébonite percée de trois trous.

Les éléments sont réunis entre eux par des lames de clinquant, serrées sur les queues de connexion par des écrous qui vissent sur des tiges taraudées. Après montage, le tout est vaseliné.

ÉLÉMENTS DE LA COMPAGNIE FRANÇAISE DES ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES « UNION » groupe *a*.

— Ces éléments sont montés avec des plaques semblables à celles que nous avons décrites plus haut. Cependant les plaques négatives, qui sont destinées à être soumises à des trépidations, ont leurs cadres divisés par de fortes barrettes verticales, en deux ou trois parties, suivant la grandeur de la plaque. Chacun des compartiments ainsi formés est divisé par de petites barrettes verticales à section en losange; d'autres lamelles horizontales servent, avec les barrettes ci-dessus, à constituer les alvéoles où est maintenue la matière active. Après empâtage, les

lamelles horizontales sont rabattues de façon à sertir les pastilles. Les plaques sont placées dans des bacs en ébonite, munis sur leurs faces de baguettes en caoutchouc souple.

Les plaques sont maintenues par des guides d'ébonite et séparées par des tubes de verre ou des peignes en ébonite. Les plaques positives, réunies par les guides en ébonite, reposent sur les négatives, qui elles-mêmes appuient sur le fond du bac.

Les connexions des plaques sont à l'extérieur des bacs.

Les éléments constituant la batterie sont contenus dans des caisses en bois, revêtues d'un isolant spécial; les bacs reposent sur des cales de caoutchouc, fixées sous leurs fonds et viennent s'appuyer sur des tasseaux en verre placés sur le fond des caisses.

Voici, à titre d'exemple, quelques données de fonctionnement sur ces éléments :

Décharges en 15 minutes.....	3,25 Ah par dm ²	1,15 Ah par kg de poids total.
— 30 —	4,25 —	1,35 —
— 45 —	5,00 —	1,85 —
— 1 heure.....	5,50 —	2,15 —

ÉLÉMENTS DE LA SOCIÉTÉ DU TRAVAIL ÉLECTRIQUE DES MÉTAUX (groupe *b*). — La figure 43 représente une portion de la plaque positive de cet élément. On voit qu'elle est constituée par

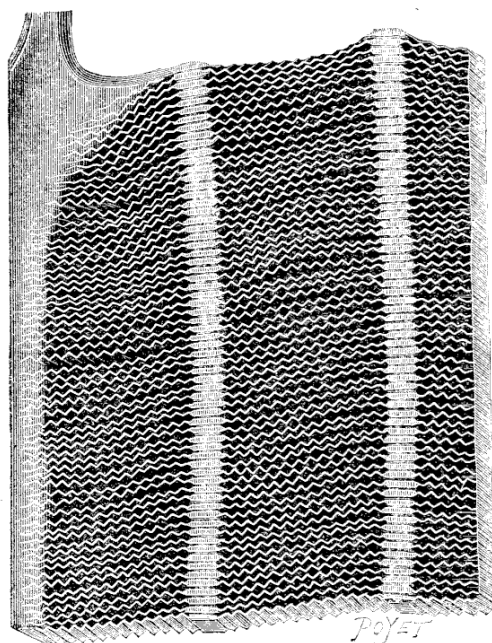


FIG. 43.

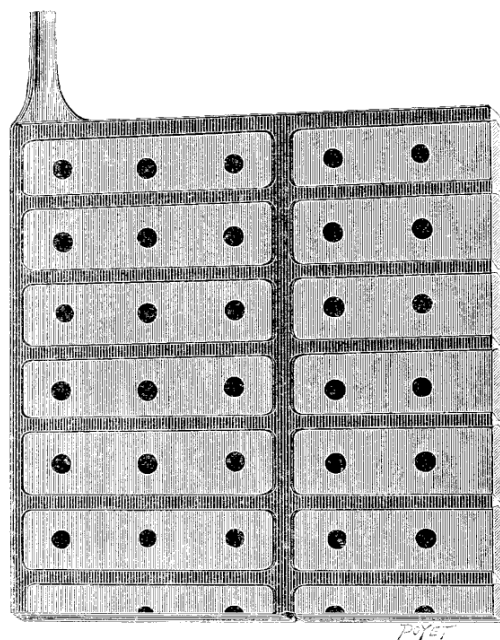


FIG. 44.

la superposition de rubans de plomb ondulés. Ces rubans en plomb, de 0,5 mm d'épaisseur et d'une largeur de 8 mm, sont enfilés sur deux tiges de plomb qui divisent la plaque en trois parties égales dans le sens de sa largeur. A l'endroit où les tiges de plomb traversent les rubans, ceux-ci sont renforcés, sur une longueur de 6 mm environ, par de petites pièces de plomb qui servent en même temps à maintenir un écartement convenable entre les rubans successifs. Sur le bord de la plaque opposée à la queue de connexion, chaque ruban porte encore un renforcement analogue, et tous ceux-ci sont soudés ensemble de façon à constituer un des montants de la plaque; sur le côté de la queue, les rubans sont noyés dans une soudure bien plus forte, d'environ 4 à 5 mm de largeur, qui forme le second montant. Enfin l'ensemble des rubans est maintenu serré dans l'intervalle entre ces deux montants par de légères soudures qui fixent chaque extrémité des deux tiges dont nous avons parlé plus haut aux rubans supérieur et inférieur.

La figure 44 est un fragment de la plaque négative, qui est identique à celle des éléments

de la deuxième catégorie. L'ensemble des plaques repose sur un tasseau placé au fond du bac qui est aussi en ébonite.

Voici, à titre d'exemple, quelques données de construction sur un élément de 120 A.h. de ce type.

<i>Plaques positives.</i>	
Nombre	7
Dimensions en cm :	
Hauteur	20,2
Largeur	12,2
Épaisseur	0,8
Poids, en kg	1,11
Poids approximatif des montants, en kg	0,15
Section approximative des montants, en mm ²	30
— — de la queue de connexion, en mm ²	30
<i>Plaques négatives.</i>	
Nombre	8
Dimensions, en cm :	
Hauteur	20,2
Largeur	12,2
Épaisseur	0,4
Poids, en kg	0,5
Poids approximatif du cadre, en kg	0,25
Section approximative du cadre en mm ²	14
— — de la queue de connexion, en mm ²	22
Poids de la matière active, en kg	0,25
Ecartement des plaques, en mm	4
<i>Bac et connexions.</i>	
Dimensions extérieures, en cm :	
Hauteur	20
Longueur	13,7
Largeur	18,5
<i>Electrolyte.</i>	
Poids, en kg	1,9
Volume approximatif, en dm ³	4,7
Densité :	
Fin de charge	1,22
Fin de décharge	1,16
Poids total de l'élément complet, en kg	19,1

ÉLÉMENTS DE LA « THE CHLORIDE ELECTRICAL STORAGE SYNDICATE » (groupes *a*, *b*, *c*, *d* et *e*). — Ces éléments sont construits avec des plaques semblables à celles des éléments stationnaires. Nous n'avons pu recueillir de renseignements sur leur montage.

ÉLÉMENTS DE L'« ACCUMULATOREN-FABRIK AKTIENGESellschaft » (groupes *a* et *b*). — Ces éléments sont montés avec les plaques décrites plus haut; voici les constantes d'un élément du groupe *b*, monté en bac d'ébonite :

Dimensions du bac, encombrement compris les connexions en cm...	hauteur	37,7
	longueur	10,9
	largeur	18,6
Nombre de plaques	positives	3
	négatives	4
Poids total en kg	de l'élément monté	29,5
	de l'acide	3,2
	5 heures	139 Ah
Capacités à différents régimes	4 —	120 —
	3 —	108 —
	2 —	86 —
	1 —	63 —

Groupes *c*, *d* et *e* : Dans ces éléments, les plaques négatives sont constituées par une grille à barreaux inclinés; les positives sont semblables aux précédentes.

Les données suivantes se rapportent à un élément destiné à l'éclairage des trains :

Dimensions extérieures de l'élément	hauteur en mm	275
	longueur —	120
	largeur —	150
Nombre de plaques	3 — et 4 —	6

Dimensions des plaques.....	hauteur en mm.....	190
	largeur —.....	160
	épaisseur —.....	11 $\frac{1}{2}$ 6 (—)
Poids des plaques positives, en kg.....		7,95
— — — négatives —.....		4,40
— total d'électrodes.....		12,35
— d'acide sulfurique ($d = 1.18$).....		3,54
— total de l'élément.....		20, »
Capacités aux différents régimes.....	10 heures.....	111 amp.-h. à 11 ampères
	7,5 —.....	100 — 13,5 —
	5 —.....	91 — 18 —
	3 —.....	78 — 26 —
Intensités maxima de charge, en ampères.....		30 —

IV. — ACCUMULATEURS AU PLOMB A PLAQUES A OXYDES RAPPORTÉS SUBISSANT ULTÉRIEUREMENT LA FORMATION PLANTÉ

L'apparition de ce type d'accumulateurs marque le retour timide aux méthodes de Planté ; c'est ce procédé qui a tout d'abord été appliqué par les fabricants qui, ne voulant pas perdre le bénéfice de la rapidité du procédé Faure, cherchaient néanmoins à réaliser des plaques durables. Plusieurs manufactures d'accumulateurs, qui avaient employé ce modèle de plaques, ont ensuite adopté la plaque à formation autogène sans empâtage préalable. Néanmoins certains autres fabricants ont continué ce procédé de fabrication qui permet d'obtenir des plaques d'une capacité spécifique légèrement supérieure à celle des plaques à formation autogène, tout au moins au début.

1^o Accumulateurs stationnaires. — ÉLÉMENTS DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ « PULVIS » (groupes *a*, *b* et *c*). — Les plaques positives et négatives de ces éléments sont de construction identique.

Le support de la matière active est en plomb doux et constitué par des rubans indépendants placés dans le sens horizontal et réunies à leurs deux extrémités par des connexions effectuées à la soudure autogène dans des lingotières. Ces rubans sont distants de quelques millimètres de façon à ne pas entraver leur dilatation et à permettre la circulation de l'électrolyte à travers la plaque.

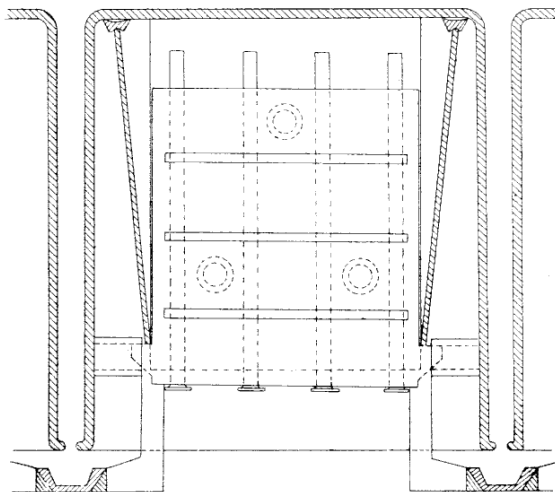


FIG. 43.

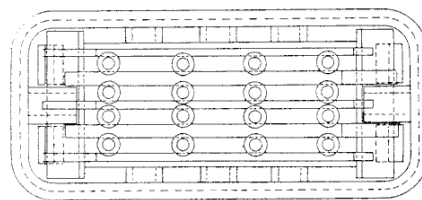


FIG. 46.

Le ruban élémentaire est obtenu par filage sous pression à travers des filières de forme convenable ; il se compose d'une âme pourvue, sur ses deux faces, de saillies dont la forme varie suivant l'application à laquelle la plaque est destinée. Pour les plaques positives, ces saillies ont une forme trapézoïdale ou triangulaire et sont très rapprochées de façon à augmenter la surface ; pour les négatives, les saillies, en forme de queue d'aronde, sont plus espacées et la proportion de matière active dans ces plaques est plus forte que dans les positives.

La matière active employée est du plomb pulvérisé mélangé de pierre ponce pour le rendre plus perméable.

Les plaques sont suspendues par des saillies venues de fonte avec le cadre sur des dalles en verre (*fig. 45 et 46*), et l'isolation des plaques entre elles obtenue par des tubes de verre qui reposent, à leur partie inférieure, dans des rainures guides et sont maintenus à leur partie supérieure entre deux règles de verre.

Jusqu'à 500 ampères-heure, les éléments sont montés dans des bacs de verre : au delà on emploie des récipients en bois doublé de plomb.

ÉLÉMENTS DE LA SOCIÉTÉ ÉLECTRIQUE DU NORD. — Les plaques positives (*fig. 47*) se com-

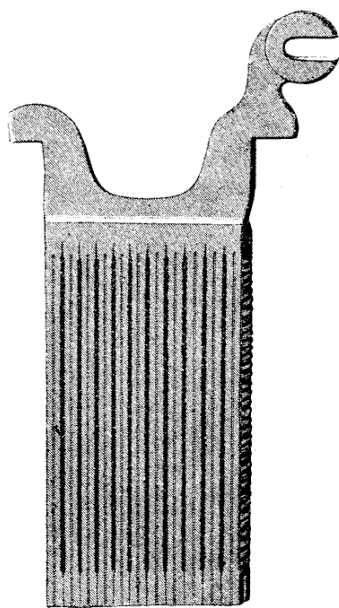


FIG. 47.



FIG. 48.

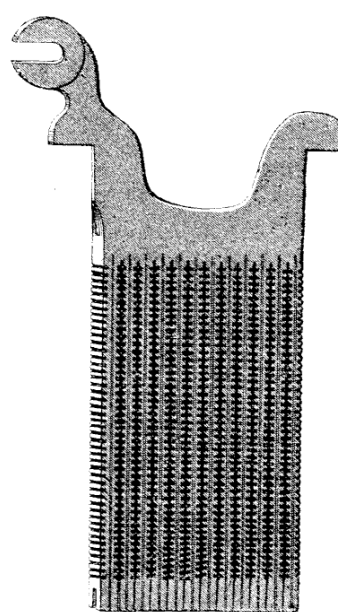


FIG. 49.

posent de lamelles en plomb doux coulé (*fig. 48*) présentant à leur surface des cavités rectangulaires destinées à retenir la matière active ; ces lamelles sont réunies par la tête de la plaque, de façon que leur plus petite épaisseur se trouve dans le sens de largeur de la plaque.

Les plaques négatives (*fig. 49*) sont de construction identique ; seule la forme des cavités que portent les lamelles est modifiée.

Il n'existe que deux types de plaques ; le petit modèle est celui que nous venons de décrire ; le grand modèle est formé par la superposition de deux rangées de lamelles (*fig. 50*).

ÉLÉMENTS DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE DE NANCY, SYSTÈME POLLAK (groupes *a*, *b* et *c*). — Les électrodes de ces éléments se composent des plaques en plomb doux qui sont obtenues par un laminoir de construction spéciale.

A la sortie du laminoir, les bandes de plomb présentent l'aspect des figures 51 et 52, c'est-à-dire qu'elles sont hérissées d'aspérités régulières et traversées en longueur et en largeur par des arêtes.

Ces bandes sont découpées aux dimensions des plaques et on y soude les queues de connexion et les appendices destinées à les suspendre dans les bacs (*fig. 53*).

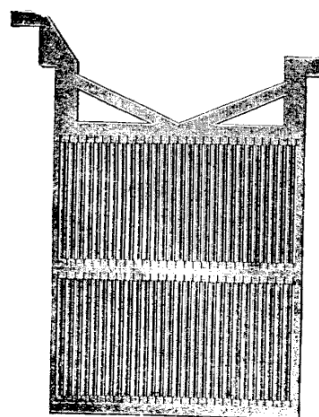


FIG. 50.

On tartine ensuite les plaques avec des sels de plomb jusqu'à remplir les cavités de la plaque; on réduit les sels par électrolyse et on comprime sur les plaques le plomb poreux ainsi obtenu.

Les plaques sont ensuite formées par les procédés ordinaires. Les plaques positives ont une âme de 1,5 mm et les négatives une âme de 0,5 mm.

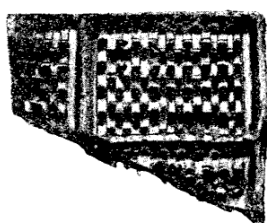


FIG. 31.

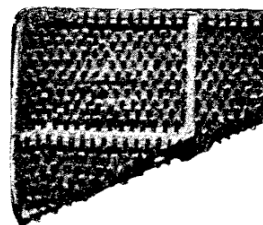


FIG. 32.

Dans les plaques des éléments du groupe *a*, destinés aux charges et décharges ordinaires, le nombre d'aspérités de la feuille de plomb est moins grand que dans les plaques des groupes *b* et *c*, où la décharge doit pouvoir être effectuée rapidement. C'est la seule différence que présentent les divers types d'éléments.

Les éléments petits et moyens sont montés dans des bacs en verre et les grands dans des bacs en bois doublé de plomb.

Le montage des éléments est toujours fait, de telle sorte que chaque plaque puisse se dilater dans tous les sens: à cet effet, à la plaque proprement dite sont soudées deux oreilles (*fig. 33, 35*): l'une A sert à relier la plaque et aussi à la supporter; l'autre, B, ne sert qu'à ce dernier office. Pour cela, dans chacune des deux oreilles, est pratiquée une mortaise dans laquelle on introduit un petit cavalier en plomb, C, muni de deux pointes qui viennent se placer dans l'intérieur des tubes D. Ces tubes supportent donc les plaques en même temps qu'ils les isolent: ils reposent par

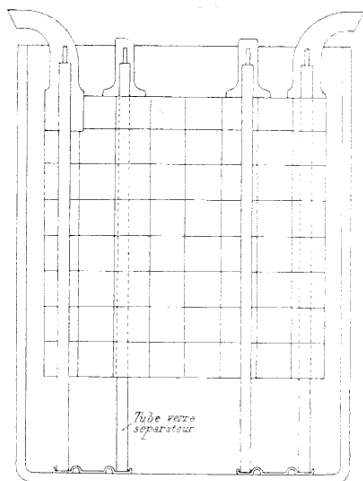


FIG. 33.



FIG. 34.



FIG. 35.

leur extrémité inférieure dans de petites rigoles en plomb, E. Le calage de l'ensemble des plaques composant un élément est obtenu à l'aide des ressorts en plomb dur, F, constitués par des lames à section demi-ronde.

Dans les éléments de grande dimension, les électrodes comportent deux ou quatre plaques. Les électrodes à deux plaques sont formées par la réunion des deux plaques par une bande de plomb à leur partie supérieure; la suspension ainsi que l'isolation des électrodes sont réalisées comme dans les petits éléments. Quand l'électrode est à quatre plaques, la réunion des plaques

se fait par une bande prismatique de plomb servant de collecteur de courant de chaque côté de laquelle les quatre plaques sont symétriquement disposées et reliées à cette bande par un de leurs angles supérieurs. La suspension des plaques supérieures se fait, comme celle des plaques simples, par des tubes de verre qui reposent dans une rainure pratiquée dans une saillie de la paroi du récipient et s'engagent par leur partie supérieure dans de forts appendices soudés à l'électrode; les plaques inférieures sont supportées par des dalles de verre. L'isolement est toujours obtenu avec des tubes de verre maintenus par des pinces. La figure 56 représente schématiquement ce montage dans le cas de l'électrode à quatre places.

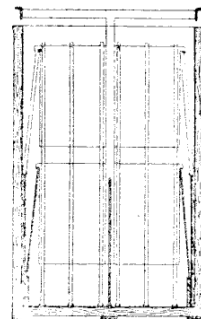


FIG. 56.

ÉLÉMENTS DE L'« ACCUMULATEUR-WERKE SYSTEM POLLAK ». — Les éléments exposés par cette Compagnie sont identiques aux précédents.

ÉLÉMENTS DE LA MAISON HEINZ ET C^{ie} (groupes *a*, *b*, *c*). — L'électrode positive (fig. 57) de ces éléments se compose d'un support en plomb doux portant sur chaque face des rainures verticales distantes de 0,8 mm environ et ayant une hauteur de 3 mm. L'âme centrale du support a 3 mm d'épaisseur.

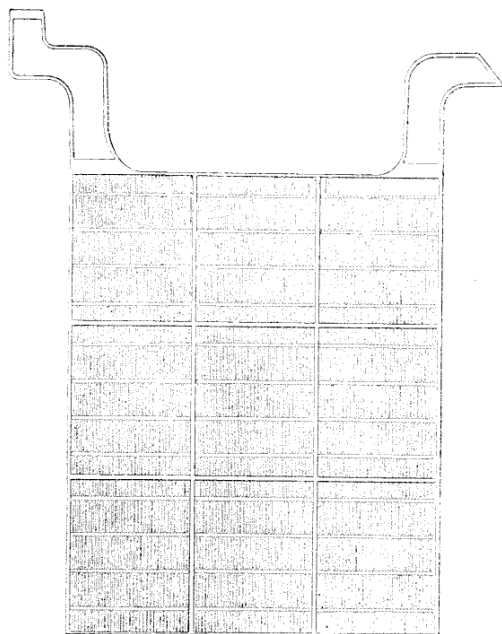


FIG. 57.

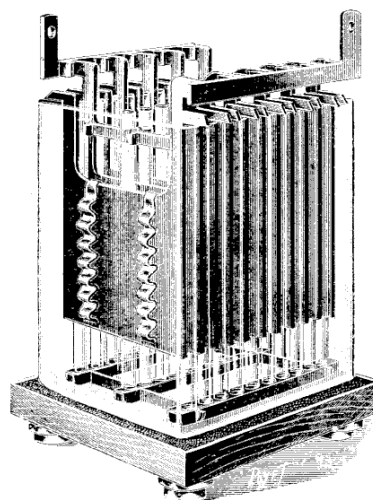


FIG. 58.

puis passés dans une solution acidulée chaude, qui produit à la surface du plomb une légère attaque et forme des rugosités destinées à la fois à augmenter la surface et à retenir l'empâtage.

L'électrode négative est identique à celle décrite dans les accumulateurs de la deuxième catégorie, sauf que l'épaisseur est de 8 mm.

La figure 58 représente un de ces éléments monté dans un bac de verre.

Voici les constantes d'un élément de ce type monté dans un bac en bois doublé de plomb.

Dimensions du bac en cm.....	hauteur.....	36
	longueur.....	50
	largeur.....	10

Poids en kg.....	électrodes.....	87
	électrolytes.....	40
	brut total.....	150
Régime de charge normale.....	80 ampères	
Capacité de charge en 6 heures.....	500 ampères-heure	
— 3 —	440 —	

2° **Accumulateurs amovibles.** — ÉLÉMENTS DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE DE NANCY SYSTÈME POLLAK (groupes *a, b, c, d, e*). — Les plaques de ces éléments sont de construction identique à celle des accumulateurs fixes; on augmente seulement la capacité spécifique en réduisant l'épaisseur des plaques.

Les bacs se font soit en ébonite (groupes *a, b* et *c*), soit en celluloid (groupes *d* et *e*). Le montage est le même dans les deux cas.

Les plaques reposent sur un chevalet à trois nervures A (*fig. 59* et *60*) en bois dur. Un cavalier en plomb antimonieux, soudé à la partie inférieure de la plaque, prévient les déplacements latéraux. L'isolement des plaques est obtenu par des feuilles d'ébonite perforée portant des nervures.

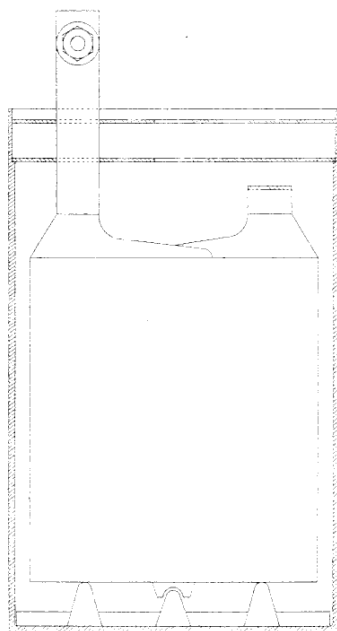


FIG. 59.

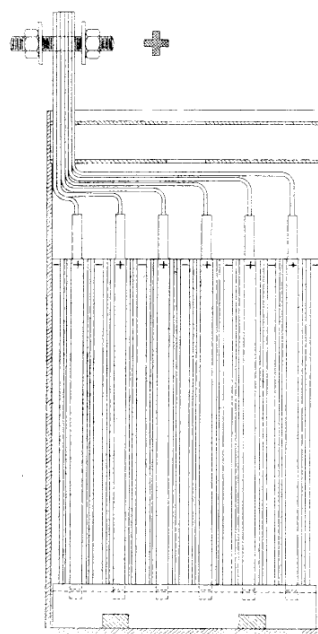


FIG. 60.

A la partie supérieure de chacune des plaques est soudée une lame mince en plomb; ces connexions, pour les plaques de même polarité, sont assemblées à l'extérieur du bac au moyen d'un boulon en bronze, qui serre en même temps l'extrémité du câble souple reliant entre eux deux éléments.

La fermeture du bac est assurée par un faux couvercle, puis par un second couvercle, superposé au premier, de même matière que le bac. L'écartement entre les deux couvercles est maintenu par une lame faisant ressort.

Les deux couvercles portent, outre les ouvertures pour le passage des queues de connexion, une ouverture circulaire pour le dégagement des gaz; l'ouverture du couvercle supérieur est fermée par un bouchon en caoutchouc percé d'un trou.

V. — ACCUMULATEURS DIVERS

Cette catégorie d'accumulateurs n'était représentée que par deux types exposés tous deux par MM. Commelin et Viau, dont nous allons donner une description rapide.

Accumulateurs au cadmium. — Cet élément se compose d'une plaque positive à oxyde rapporté d'un type spécial et d'une plaque négative sur laquelle se produit le dépôt de cadmium.

L'électrode positive a été construite en vue de réduire le poids au minimum. Elle est constituée par un quadrillage en ébonite (*fig. 61*) sur lequel est rivé au plomb un cadre conducteur également en plomb (*fig. 62*). Ce quadrillage est empâté par les procédés ordinaires, après quoi la matière active est réduite en plomb spongieux qui est ensuite peroxydé. On constitue ainsi une électrode très légère.

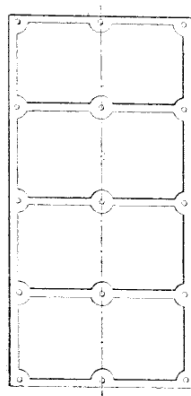


FIG. 61.

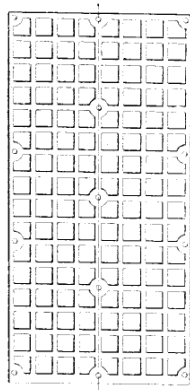


FIG. 62.

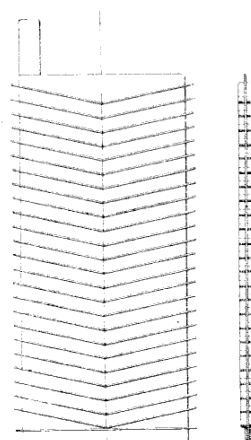


FIG. 63.

L'électrode négative (*fig. 63*) se compose d'une feuille en matière isolante généralement en celluloïd, que l'on recouvre complètement avec une feuille de plomb de 0,25 mm d'épaisseur repliée sur elle-même. Sur la plaque ainsi constituée, on enfle une série de bagues obtenues par découpage d'une encoche centrale de largeur égale à l'épaisseur de la plaque dans une feuille mince de celluloïd de forme rectangulaire ayant 10 mm environ de largeur sur une longueur un peu supérieure à celle de la plaque. Les bagues, placées de 8 en 8 mm, sont disposées obliquement par rapport au plan de la plaque, de façon à former des ailettes dirigées vers la partie supérieure et à constituer ainsi autant d'augets sur chacune de ses faces. Ces augets sont destinés à favoriser le dégagement des bulles gazeuses en même temps qu'à maintenir les parcelles du dépôt de cadmium qui peuvent se détacher de la plaque.

Les bords latéraux et le bord inférieur de la plaque de plomb sont enduits d'un vernis destiné à empêcher le dépôt de cadmium de se former sur les bords de la plaque et prévenir ainsi la formation du dépôt arborescent qui tend à se produire sur les arêtes.

Les plaques négatives ainsi préparées sont recouvertes par électrolyse dans une solution de sulfate de cadmium d'un dépôt de cadmium métallique d'un grain très fin.

Pendant la décharge, l'électrode positive se comporte comme dans les éléments au plomb, c'est-à-dire que le peroxyde de plomb est réduit, tandis que, sur la négative, le cadmium est dissous et se transforme en sulfate de cadmium qui entre en dissolution dans l'électrolyte. Pendant la charge suivante, la plaque positive est peroxydée et le dépôt de cadmium est obtenu sur la plaque négative par la dissociation électrolytique du sulfate de cadmium en dissolution dans l'électrolyte.

Les plaques sont séparées entre elles par une feuille de celluloid perforée, placée contre l'électrode positive et qui vient s'appuyer sur les bords des ailettes de la plaque négative.

La force électromotrice est de 2.30 volts quand l'élément est chargé.

Voici quelques données sur un élément de ce type :

ÉLÉMENT DE 80 AMPÈRES-HEURE

<i>Plaques positives</i>		
Nombre de plaques.....	5	
Dimensions en cm.....	hauteur.....	21
	largeur.....	10,5
	épaisseur.....	0,5
Poids du cadre ébonite.....	22	grammes
— conducteur plomb.....	100	—
— de la matière active.....	308	—
Total.....	430	grammes
<i>Plaques négatives</i>		
Nombre de plaques.....	5	
Dimensions en cm.....	hauteur.....	22
	largeur.....	10,5
	épaisseur avec dépôt.....	0,25
— sans dépôt.....	0,15	
<i>Poids approximatif total de l'élément</i>		
5 plaques positives.....	2 150	grammes
5 plaques négatives.....	1 175	—
Electrolyte environ.....	1 800	—
Bac et connexions, environ.....	500	—
Total.....	5 643	grammes
Poids feuille de plomb de 2,5 mm et son support.....	170	grammes
— augets celluloid.....	15	—
— papier parcheminé.....	2	—
— cadmium déposé.....	52	—
Total.....	239	grammes
Poids des séparations des plaques.....	12	grammes
<i>Electrolyte</i>		
Volume.....	1 550	cm ³
Poids approximatif.....	1 800	grammes

Accumulateurs à gaz. — Ce nouvel accumulateur est un voltamètre à dépôt métallique au lieu d'être uniquement un voltamètre à gaz ; il peut aussi être considéré comme une cuve électrolytique, sans anode soluble, dans laquelle on utiliserait, pour produire le courant secondaire, la différence de potentiel créée par les actions chimiques moléculaires que provoque le passage des courants. Pendant la charge de l'élément, à l'électrode négative ou cathode, qui constitue le pôle positif de l'accumulateur, on obtient un dépôt de métal, tandis qu'à l'électrode positive ou anode, on a un dégagement d'oxygène que l'on recueille dans un récipient approprié.

L'anode se compose d'un cylindre creux en charbon C (fig. 64), qui communique avec un récipient R à l'aide du tube S.

La cathode est constituée par un cylindre en plomb antimoné P qui entoure l'anode.

Le vase V, qui contient l'électrolyte, du sulfate de cadmium, est hermétiquement fermé et en communication par le tube à robinet T avec le récipient R.

Voici, d'après MM. Commelin et Viau, le mécanisme des réactions :

Quand on charge l'élément, il se dépose du cadmium sur la cathode P, tandis que l'oxygène qui se dégage à l'anode C s'accumule dans la partie supérieure du vase V, d'où il se rend dans le récipient R par le tube T et se répand par l'autre tube S à l'intérieur de l'anode.

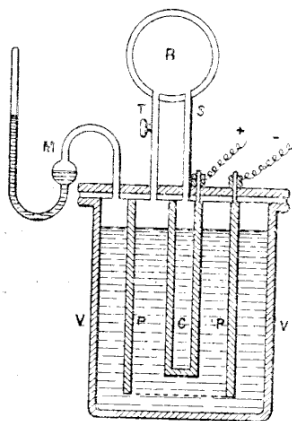


FIG. 64.

Quand la pression indiquée par le manomètre M est de 1 kg, l'appareil est chargé, et il est inutile d'attendre qu'elle s'élève plus haut.

Pour décharger, on ferme le robinet T et on réunit les deux pôles par une résistance convenable. Le dépôt de cadmium se dissout alors pour passer à l'état de sulfate; l'hydrogène libéré par cette réaction se porte sur le cylindre poreux C, où il rencontre l'oxygène libre et s'y combine pour former de l'eau. Ce phénomène se poursuit jusqu'à dissolution complète du dépôt.

La force électromotrice de l'élément est de 1,3 volt. Le débit peut atteindre 0,30 ampère par dm^2 de surface de cathode.

Dans l'élément industriel (fig. 65), l'anode unique est remplacée par une série de petits tubes de charbon qui sont tous en communication avec une même chambre. Les vases extérieurs sont également réunis entre eux, de telle sorte qu'il n'y a qu'un récipient à gaz pour une batterie.

La cathode se compose d'augets ou nacelles en celluloïd, disposées les unes au-dessus des autres, et au fond desquelles se trouve une lamelle de plomb de même longueur que la nacelle, et dont l'extré-

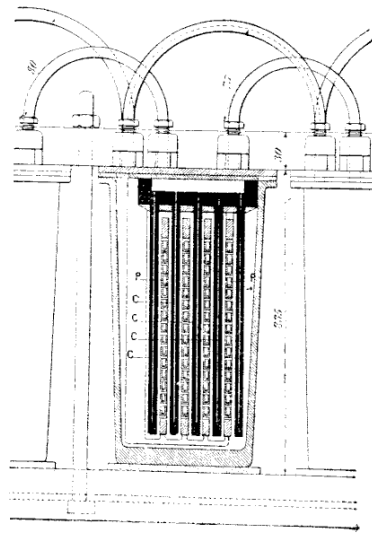


FIG. 65.

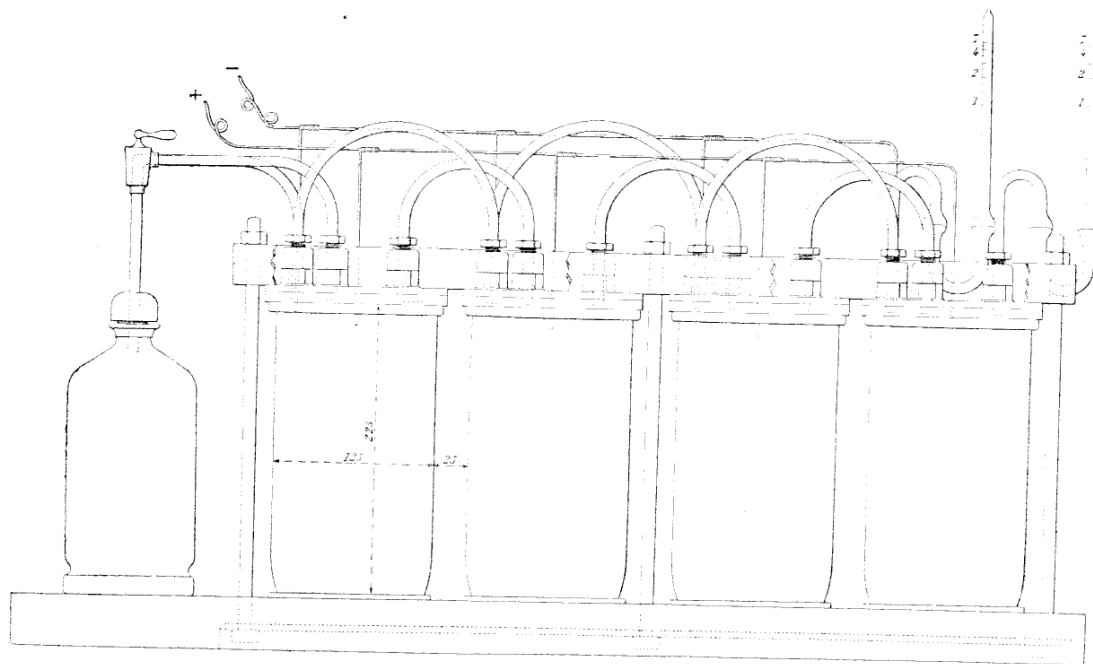


FIG. 66.

mité est réunie par une soudure autogène au conducteur négatif. Le dépôt de cadmium se fait sur les lamelles de plomb.

La figure 66 montre en élévation une batterie de quatre éléments.

TABLE DES MATIÈRES

TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Généralités	
-------------------	--

I. — TRANSFORMATEURS INSTANTANÉS

Classification	4
----------------------	---

Transformateurs homomorphiques

<i>Courant continu en courant continu.</i>	
Survolteurs	5
Régulatrices. Compensatrices	6
Transformateurs de MM. Legros et Meynier	7
<i>Courants alternatifs simples en courants alternatifs simples.</i>	
Transformateurs (proprement dits)	8
Proportions des transformateurs	8
Transformateurs Schneider et C ^{ie}	9
— de la Société alsacienne de constructions mécaniques	14
— des ateliers d'Oerlikon	14
— Farcot	13
— de la Compagnie générale électrique de Nancy	16
— Ganz et C ^{ie}	17
— Packard	19
Autotransformateurs	20
<i>Courants alternatifs polyphasés en courants alternatifs diphasés.</i>	
Transformateurs diphasés	21
— triphasés	21
— Schneider et C ^{ie}	21
— Ganz et C ^{ie}	21
— Grammont (système Routin)	24
— Ateliers d'Oerlikon	23
— Compagnie internationale d'Électricité, de Liège	26
— Société industrielle d'Électricité, procédés Westinghouse	27
— Société anonyme d'Électricité, ci-devant Lameyer	29
— régulateurs	30
— hexaphasés	30
Survolteur triphasé de la Société alsacienne de Constructions mécaniques	31
Régulateurs d'induction de la Compagnie française Thomson-Houston	32
Poids et rendements des transformateurs à courants alternatifs	33

Transformateurs hétéromorphiques

TRANSFORMATEURS INDIRECTS	35
TRANSFORMATEURS DIRECTS	36
<i>Courants alternatifs simples en courants redressés.</i>	
Redresseurs	36
Redresseurs mécaniques. Redresseurs électrolytiques	36

<i>Courant continu en courants alternatifs dissymétriques.</i>	
Bobines d'induction.....	36
Bobines. Types divers.....	36
Interrupteurs.....	38
Interrupteurs secs.....	38
— à liquide. Interrupteur turbine	42
— électrolytiques.....	43
— Wehnelt	43
— Simon ou Caldwell	44
<i>Courants alternatifs simples en courant continu.</i>	
Généralités.....	45
<i>Courants polyphasés en courant continu.</i>	
Permutatrices	45
Permutatrice à balais fixes	46
— à balais tournants.....	46
Commutatrices ou convertisseurs.....	47
Société d'applications industrielles.....	47
Société alsacienne de Constructions mécaniques.....	47
Réglage des commutatrices.....	49
Tableau des éléments de construction et de fonctionnement des commutatrices.....	50

Transformateurs divers

<i>Déphaseurs</i>	51
<i>Polyphaseurs.....</i>	51
<i>Transformateurs de fréquence.....</i>	51
<i>Transformateurs de haute fréquence.....</i>	52

II. — TRANSFORMATEURS DIFFÉRÉS OU ACCUMULATEURS

Considérations générales sur les accumulateurs.....	53
Classification.....	53
Accumulateurs stationnaires.....	54
— amovibles.....	54

I. — Accumulateurs au plomb à formation autogène

Elément Blot à navettes.....	55
Eléments de la maison Chalmeton.....	57

II. — Accumulateurs au plomb à oxydes rapportés

<i>1° Accumulateurs stationnaires</i>	58
Eléments de la Société anonyme pour le travail des métaux.....	58
— de la maison Michel Pisca.....	58
— — Chalmeton.....	59
— — Gourd et Dubois.....	59
— de la « the Electrical Power Storage ».....	60
— de la Société anonyme d'éclairage et d'application électriques d'Arras.....	60
— de la maison Wüste et Rupprecht.....	61
— Pescetto	61
— de la Société anonyme suisse des Accumulateurs Tribelhorn.....	62
<i>2° Accumulateurs amovibles.....</i>	63
Eléments de la Société nouvelle de l'accumulateur Fulmen	63
— — anonyme pour le travail des métaux.....	64
— — des voitures électriques et accumulateurs BGS.....	65
— de la maison Michel Pisca	66
— de la maison Chalmeton.....	66
— de « l'Electrical Power Storage Co ».....	66
— de la maison A. Heinz et Co.....	67
— — Alfred Dinin	68
— de la Société française des Accumulateurs « Phoenix ».....	69

III. — Accumulateurs au plomb à positives Planté et négatives Faure

1 ^{re} Accumulateurs stationnaires.....	71
Eléments de la Société Tudor.....	71
— de la maison Alfred Dinin.....	71
— — Heinz et C ^{ie}	71
— « Oméga », de la maison Geoffroy et Delore.....	71
— de la Compagnie française des Accumulateurs « Union ».....	73
— de la « Società italiana di Elettricità Grato ».....	73
— de la « Chloride Electrical Storage Syndicate ».....	73
— de l'« Accumulatoren Fabrik ».....	74
2 ^{re} Accumulateurs amovibles.....	78
Eléments de la Société Tudor.....	78
— mixtes Blot et Fulmen.....	79
— de la Compagnie française « Union ».....	79
— de la Société du Travail électrique des métaux.....	80
— de la « Chloride Electrical Storage Syndicate ».....	81
— de l'« Accumulatoren Fabrik ».....	81

IV. — Accumulateurs au plomb à oxydes rapportés subissant ultérieurement la formation Planté

1 ^{re} Accumulateurs stationnaires.....	82
Eléments de la Compagnie Pulvis.....	82
— de la Société électrique du Nord.....	83
— de la Compagnie générale de Nancy, système Pollak.....	83
— de l'« Accumulatoren Werke Pollak ».....	83
— de la maison Heinz et C ^{ie}	83
2 ^{re} Accumulateurs amovibles.....	86
Eléments de la Compagnie générale électrique de Nancy.....	86

V. — Accumulateurs divers

Accumulateurs au cadmium.....	87
Accumulateurs à gaz.....	88