

Section de l'Ingénieur

E. VIGNERON

MESURES

ÉLECTRIQUES

ESSAIS INDUSTRIELS

GAUTHIER-VILLARS

MASSON & C^{IE}

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

VIGNERON — Mesures électriques, II

1

*Ce volume est une publication de l'encyclopédie
scientifique des Aide-Mémoire : L. Isler, Secrétaire
Général, 20, boulevard de Courcelles, Paris.*

N° 288 A.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

MESURES ÉLECTRIQUES

ESSAIS INDUSTRIELS

PAR

EUG. VIGNERON

Ingénieur,

Ancien professeur à l'École supérieure d'électricité

PARIS

GAUTHIER-VILLARS

IMPRIMEUR-ÉDITEUR

Quai des Grands-Augustins, 55

MASSON et C^{ie}, ÉDITEURS,

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)

*OUVRAGES DE L'AUTEUR PARUS
DANS LA COLLECTION DE L'ENCYCLOPÉDIE*

- I. Mesures Électriques. Essais de Laboratoire.**
- II. Mesures Électriques. Essais Industriels.**

MESURES ÉLECTRIQUES

ESSAIS INDUSTRIELS

CHAPITRE PREMIER

MESURES MAGNÉTIQUES

Les progrès de l'industrie électrique ont rendu nécessaire la connaissance plus parfaite des matériaux magnétiques utilisés par les constructeurs.

Pour la mesure de la perméabilité et de l'hystérésis, deux procédés seront en présence : le premier consiste à étudier, d'une façon absolue, les échantillons ; le second consiste à comparer un échantillon à un échantillon-type ; la première méthode est beaucoup plus précise, mais la seconde, plus rapide, est plus appréciée des constructeurs.

Avant de commencer cette étude, il est nécessaire de savoir qu'une précision de 4 à 5 %, dans ces mesures, exige un soin qu'on dépassera difficilement.

Première méthode. — Ewing a indiqué, pour la mesure de la perméabilité et de l'hystérésis d'un échantillon de fer ou d'acier, une

méthode dont le principe découle de l'action d'un long barreau vertical, aimanté par un solénoïde sur un petit magnétomètre ; ce procédé a l'inconvénient d'exiger la connaissance de la valeur de la composante horizontale du magnétisme terrestre ; nous ne l'avons cité que pour mémoire. M. Rowland et M. Hopkinson ont indiqué une autre méthode basée sur l'induction. Le principe est le suivant : si on prend un barreau dont la longueur est supérieure à 500 fois le diamètre, et qu'on entoure ce barreau d'une bobine magnétisante régulièrement enroulée, on sait que le flux est constant dans la partie moyenne du barreau.

Pratiquement, pour s'affranchir de la sujétion d'un barreau démesurément long, on peut, comme M. Rowland, donner à l'éprouvette la forme d'un tore ou d'un anneau, le diamètre intérieur de cet anneau doit avoir au moins 15 à 20 centimètres et la section de cet anneau, de 5 à 10 centimètres carrés.

On peut encore employer la disposition de M. Hopkinson, qui consiste à offrir à l'éprouvette courte un chemin de grande perméabilité ; à cet effet, M. Hopkinson court-circuitait magnétiquement les extrémités de son éprouvette, à l'aide de masses de fer doux de grande section.

Le montage pour la mesure, à l'aide d'une éprouvette ayant la forme d'un tore, serait le suivant (dans le cas de l'appareil d'Hopkinson,

le montage serait le même) : on enroulerait *régulièrement* le tore T (*fig. 1*) à l'aide de fils isolés, le nombre des fils de cette bobine A et sa section se détermineront par un calcul rapide *a priori*, connaissant les constantes des organes du montage et l'ordre de grandeur de la perméabilité de l'échantillon ; on aura enroulé préalablement sur le tore même une bobine L de fils fins isolés dont les extrémités sont reliées à

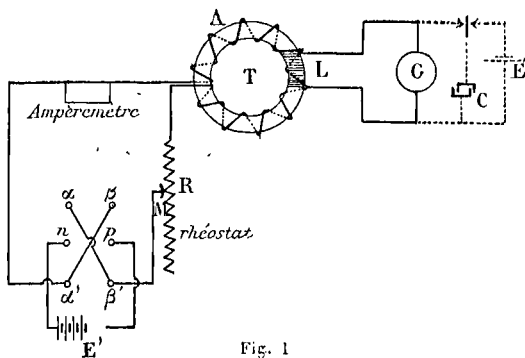


Fig. 1

un galvanomètre balistique. Soient n , le nombre de tours de fils, N , le nombre de tours de la bobine A, et l , le diamètre moyen du tore T.

On voit que A est relié à l'aide d'une résistance variable *et continue*, et par l'intermédiaire d'une clé d'inversion à trébuchement.

Soit I , la valeur du courant traversant la bobine A, on aura

$$\text{Champ magnétisant } \mathcal{H} = \frac{4\pi NI}{\pi l} = 4 \frac{NI}{l}$$

I est exprimé en unité c. g. s., c'est-à-dire que si i est la lecture en ampères, on aura $I = i \times 10^{-1}$.

A cette valeur de \mathcal{H} correspondra une valeur de l'induction \mathcal{B} telle que

$$\mathcal{B} = \mu \mathcal{H}.$$

Si I varie brusquement, \mathcal{B} va varier et devenir \mathcal{B}' , cette variation brusque provoquera dans la bobine L un courant instantané qui se déchargera dans le galvanomètre balistique, la quantité d'électricité déchargée sera en coulombs

$$q = \frac{n.S}{r} (\mathcal{B} - \mathcal{B}') 10^{-8}$$

dans laquelle S est la section en centimètres carrés du tore, r , la résistance totale de la bobine L et du galvanomètre.

Si donc K_1 est la constante du galvanomètre balistique, constante déterminée préalablement à l'aide d'une pile et d'un condensateur étalonné, et θ la déviation, on aura

$$\frac{nS(\mathcal{B} - \mathcal{B}')}{r} \times 10^{-8} = K_1 \theta$$

d'où on déduit

$$\mathcal{B} - \mathcal{B}' = \frac{K_1 \times r \times \theta}{n \times S} \times 10^8.$$

On pourra donc, en partant de $I = 0$ et en faisant augmenter I par le jeu de la résistance R de la fig. 1, jusqu'au moment où $\mathcal{B} - \mathcal{B}'$ varie très peu (en prenant les \mathcal{H} comme abscisses

et les \mathcal{B} comme ordonnées), dresser une courbe figurative de la variation de \mathcal{B} en fonction de \mathcal{H} .

On obtiendra des courbes comme celle donnée par la *fig. 2*, les flèches indiquent le sens de variation de \mathcal{H} (ou de I). Il faudra avec soin s'appliquer à faire varier I toujours dans le même

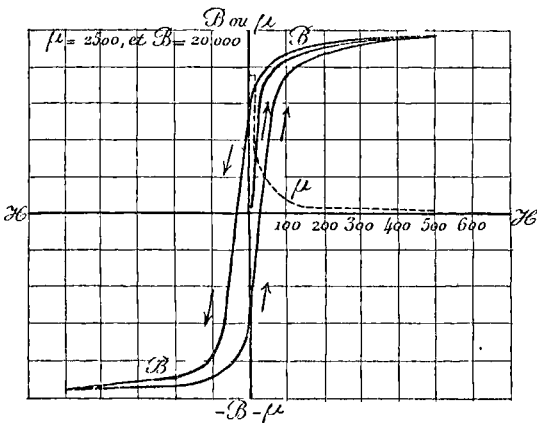


Fig. 2

sens, sans chevauchement ni hésitation, et régler le galvanomètre à l'amortissement critique.

La construction d'une courbe de ce genre donne, en même temps, l'importance de l'hystérésis; on peut même, de cette mesure, déduire l'énergie dépensée dans un centimètre cube du noyau, pendant un cycle complet d'opérations.

En effet, écrivons que le travail dépensé pour l'aimantation de l'électro-aimant est égal à

l'énergie restituée sous forme d'extra-courant, nous aurons :

$$W = \int_I^0 eI dt \quad \text{ou} \quad \int_I^0 - N.S. \frac{d\beta}{dt} I dt$$

$$\text{ou} \quad \int_I^0 - NSI d\beta ;$$

or, d'après une relation déjà établie :

$$\mathcal{H} = \frac{4NI}{l},$$

de sorte que

$$W = - \int_I^0 \frac{\mathcal{H} \times l \times S}{4} \times d\beta$$

ou encore

$$W = - \frac{lS\pi}{4\pi} \int_{II}^0 \mathcal{H} \times d\beta.$$

Or $lS\pi =$ volume du tore en centimètres cubes ; par conséquent, la dépense d'énergie par unité de volume sera :

$$W_1 = - \frac{1}{4\pi} \int_{II}^0 \mathcal{H} d\beta.$$

On doit remarquer maintenant que

$$\mathcal{B} = \mathcal{H} + 4\pi J,$$

de sorte que

$$W_1 = + \frac{1}{4\pi} \int_0^{II} \mathcal{H} d\mathcal{H} + \int_0^{II} \mathcal{H} \cdot dJ =$$

$$= \frac{\mathcal{H}^2}{8\pi} + \int_0^{II} \mathcal{H} \times dJ.$$

Le premier terme est relatif au solénoïde *seul*, le second terme est relatif au fer formant l'électro-aimant :

$$W_2 = \int_0^H \mathcal{H} \times d\mathcal{J}.$$

Ainsi donc, si on transforme la courbe figurative de \mathcal{B} en fonction de \mathcal{H} , la courbe figurative de \mathcal{J} en fonction de \mathcal{H} , à l'aide de la formule $\mathcal{B} = \mathcal{H} + 4\pi\mathcal{J}$, l'aire comprise entre les branches montantes et descendantes donnera en ergs, la valeur de l'énergie absorbée par centimètre cube de fer dans le phénomène d'hystérésis.

Pour du fer doux forgé et bien recuit, Ewing a trouvé :

B	W_2
4 000	1 230 ergs
6 000	2 200
8 000	3 500
10 000	5 000
12 000	6 720
14 000	8 650

Une critique de la méthode est celle-ci : si, à chaque lecture, on fait une erreur systématique, comme on arrive à la valeur \mathcal{B}_n en ajoutant :

$$\mathcal{B}_n = \mathcal{B}_n - \mathcal{B}_{n-1} + (\mathcal{B}_{n-1} - \mathcal{B}_{n-2}) + \dots + (\mathcal{B}_2 - \mathcal{B}_1) + (\mathcal{B}_1 - 0),$$

on aura, pour \mathcal{B}_n , une erreur systématique n fois plus considérable qu'après une seule mesure ; on peut corriger cette erreur en faisant, après la série d'opérations précédentes, varier brusquement de $+1$ à -1 , à l'aide de clé à trébuchement, successivement pour toutes les valeurs de I , primitivement considérées dans la série de mesures précédentes.

On doit faire cette mesure avec beaucoup de soin, *plusieurs opérateurs sont nécessaires*, un essai à blanc sur un échantillon identique à celui de la mesure définitive est indispensable, cet essai à blanc permet de repérer les sept à huit valeurs de I donnant des points avantageux ; de cette manière, on évite les tâtonnements dans les variations brusques de I . Il faut songer qu'avec le magnétisme rémanent, on doit s'appliquer à faire une mesure sur un échantillon vierge qui n'ait rien à connaître des états antérieurs de magnétisme traversés, car lorsqu'un échantillon aura subi une opération, il sera difficile de le faire revenir à l'état natif. La meilleure manière d'obtenir des variations brusques est de court-circuiter des parties du rhéostat à mesure R , à l'aide de cavaliers qu'on laissera tomber brusquement dans les godets de mercure.

En général, il est inutile de dépasser $\mathcal{H} = 650$, car la courbe de \mathcal{B} et celle de \mathcal{H} deviennent sensiblement asymptotique à une parallèle à l'axe des x , à partir de cette valeur.

M. Rowland avait adopté le mode opératoire précédemment décrit, M. Ewing préférant, après chaque opération, revenir au point d'aimantation correspondant à la saturation pratique.

Appareil d'Hopkinson. — L'appareil d'Hopkinson est représenté par la *fig. 3*. L'éprouvette de fer dont on veut connaître la perméabilité est un barreau cylindrique AB, elle traverse à frottement une grande masse M de fer doux. Cette masse M est évidée à sa partie centrale pour permettre de loger les bobines magné-

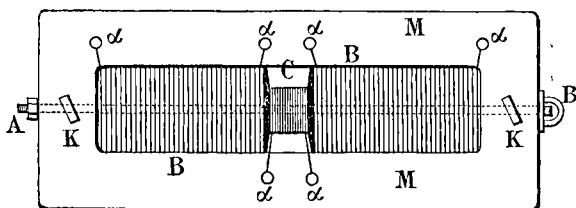


Fig. 3

santes B, la bobine C d'investigation est au milieu du barreau entre les bobines B, deux vis K serrent le barreau contre la masse M. Enfin, α , α sont les bornes de connexion des diverses bobines.

Le mode opératoire sera le même qu'avec le tore, on prend comme longueur du circuit magnétique, la longueur de la partie du barreau comprise dans l'évidement de la masse M qu'on augmente d'une longueur égale à la circonférence du barreau.

En somme, la réluctance du barreau avec la masse, ainsi que les phénomènes d'hystérésis de celle-ci rendent cette méthode moins sûre que celle du tore.

Méthode de la force portante. — Si β est l'induction magnétique, s , la section d'un barreau, on sait que la force portante en dynes est donnée par

$$f = \frac{\beta^2 \times s}{8\pi}.$$

On peut utiliser l'appareil d'Hopkinson à cette méthode, il suffit de *sectionner* le barreau en ayant soin de bien dresser les surfaces en contact, on fixera un des morceaux fortement par une vis K, et on suspendra tout l'appareil par l'autre morceau du barreau, en ayant soin d'aléser suffisamment l'ouverture qui traverse ce deuxième morceau dans la masse M; l'effort pour décoller les deux parties du barreau donnera la valeur de la force portante.

La maison Siemens et Halske construit une balance magnétique imaginée par du Bois (*fig. 4 et 5*).

Cet appareil se compose de deux gros blocs en acier C, C' (*fig. 5*), ces blocs ont leurs parties supérieures de même section et dressées avec soin.

On place l'échantillon AB dans la bobine magnétisante M et on bloque l'échantillon dans les

masses C, à l'aide de deux demi-cônes en fer vissés serrés sur C et C'.

Le fléau de cette balance se compose d'une masse DE en acier coulé, avec son couteau I. On a fait en sorte que le côté E soit plus lourd que D, afin que l'équilibre puisse être obtenu malgré

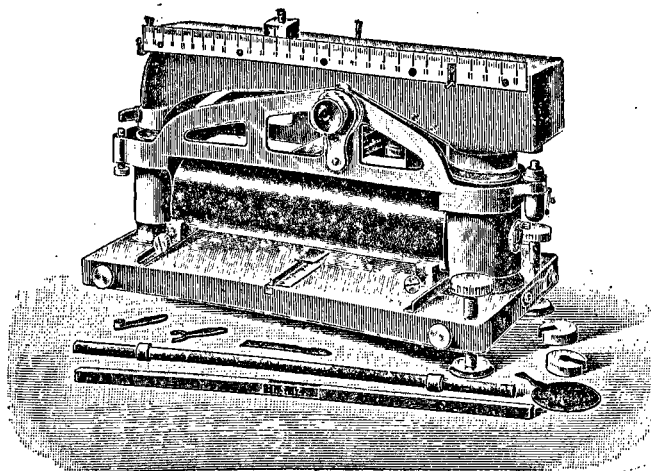


Fig. 4

l'excentration du couteau I. Entre les blocs C, se trouve une tige II supportant le couteau I.

Les parties en regard de CC' et du fléau ED ont même section dressée avec le plus grand soin.

C'est à la partie supérieure du fléau que se trouve la balance romaine dont le curseur G peut se déplacer de a à b .

Pour régler l'appareil, on place un disque de 1 millimètre d'épaisseur en e , puis en appuyant avec la main sur E, on serre ce disque pendant que l'autre main amène la vis V au contact de f , puis reportant le disque en e' , on répète l'opération.

Au repos, le curseur G est amené au zéro, et c'est par le déplacement de la vis V'' qu'on assure l'équilibre. Si la bobine M est excitée, les flux

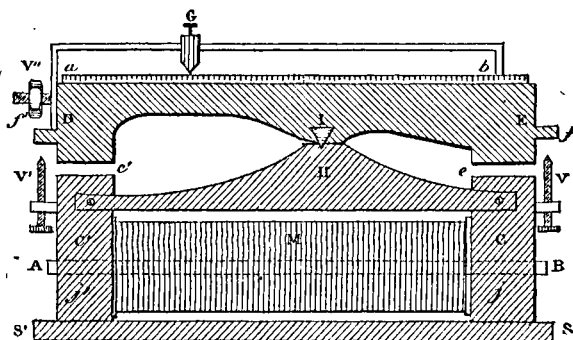


Fig. 5

en e et e' sont égaux, mais comme les bras de levier sont inégaux, les moments sont inégaux, l'équilibre est rompu ; pour le rétablir, le curseur G est déplacé d'une distance d , la valeur de β est, comme on s'en assurera facilement :

$$\beta = k\sqrt{d}.$$

Pour corriger les erreurs, dues à l'hystérésis, des masses C et C', ainsi que du fléau DE, le

constructeur fournit, pour chaque instrument, une courbe λ ; il suffit de porter, dans le tracé

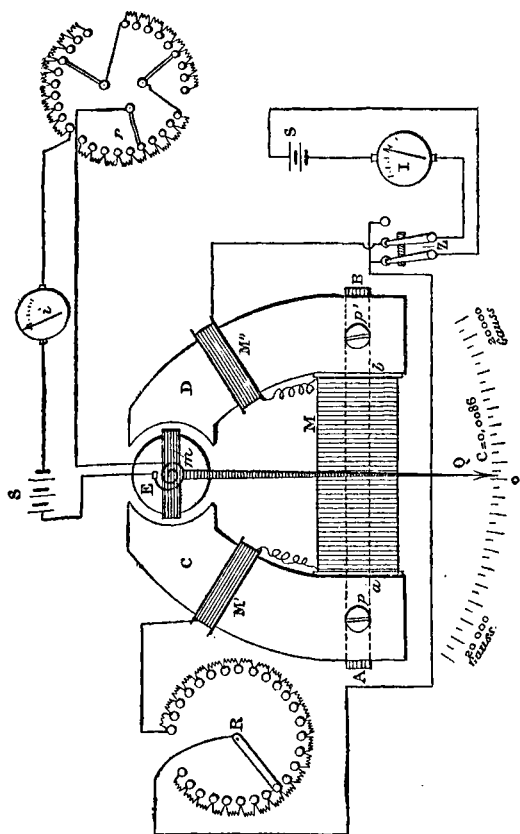


Fig. 6

de la courbe du magnétisme, les abscisses à partir de l'axe curviligne λ .

Cet instrument, cependant si simple, est très recommandable pour sa précision.

La même maison Siemens et Halske construit un perméamètre dû au docteur Hubert Kath (*fig. 6*); le principe de la méthode est le suivant :

Supposons un galvanomètre Déprez-d'Arsonval dont l'aimant serait remplacé par un électro-aimant. La bobine magnétisante est traversée par l'échantillon de dimension invariable et serré dans les pièces polaires du galvanomètre ; on comprend qu'en envoyant, dans l'équipage mobile, un courant constant, la déviation de cet équipage va repérer la valeur de \mathfrak{B} de l'électro-aimant. Nous n'insisterons pas davantage.

Perméamètre à spirale de bismuth. — Le principe est le suivant : lorsque la spirale de bismuth est traversée par un flux de force magnétique, sa résistance ohmique varie et sa variation permet de repérer le flux.

Cet appareil est construit par la maison Hartmann et Braun, il est composé d'un fil fin isolé en bismuth chimiquement pur ; ce fil est roulé en forme de spirale plate et protégé par deux disques de mica collés sur les faces de la bobine extrêmement plate, elle peut être introduite dans l'entrefer des dynamos (*fig. 7*).

La variation relative de la résistance est 5 % pour 1 000 gauss environ. Le constructeur fournit, en même temps que la spirale, une courbe qui indique cette variation (*fig. 8*).

Hystérésimètres. — Dans les ateliers, il serait impraticable de juger les tôles au point de vue magnétique, surtout au point de vue de leurs qualités hystérétiques, si besoin était de construire une courbe par point et d'intégrer. Un tel procédé serait trop long, demanderait trop d'opérateurs exercés aux mesures délicates et exigerait un temps précieux. Les appareils

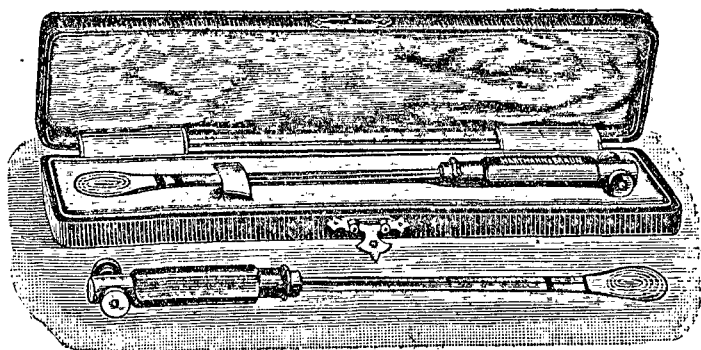


Fig. 7

appelés hystérésimètres donnent les résultats relatifs que, seuls, demande l'industrie; ils permettent de classer les tôles avec précision, de telle façon que si l'une d'elles a été étudiée à fond *une fois pour toutes*, les autres sont connues suffisamment par comparaison.

1° *Hystérésimètre d'Ewing.* — La fig. 9 donne un schéma de cet appareil. Il se compose de l'éprouvette formée de 6 à 8 tôles serrées

L'une contre l'autre, dont les dimensions respectives sont $7^{\text{cm}},5$ de long et $1^{\text{cm}},65$ de large.

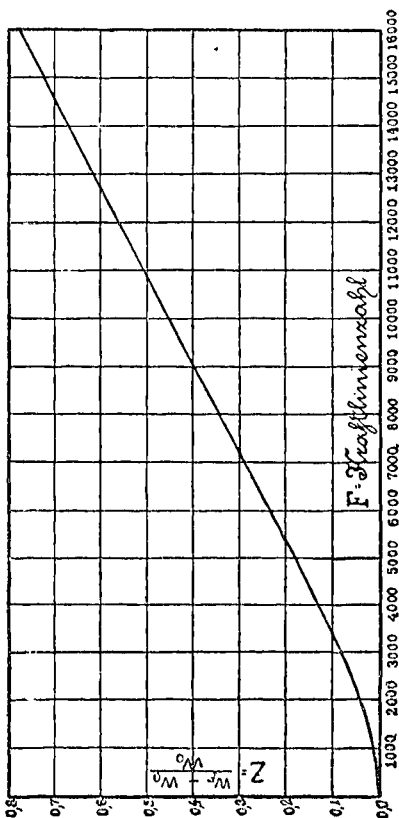


Fig. 8

Cette éprouvette est animée d'un mouvement de rotation, par l'intermédiaire d'une manivelle et d'une poulie de friction. L'induction est fournie

par un aimant recourbé, reposant par sa partie médiane sur des couteaux dont la ligne effilée passe par l'axe de rotation de l'éprouvette. Un contrepois réglable est fixé à la partie inférieure de l'aimant.

L'aimant recourbé se déplace dans la rotation de l'éprouvette, car l'action de l'échantillon soumis à l'induction magnétique sur l'aimant pro-

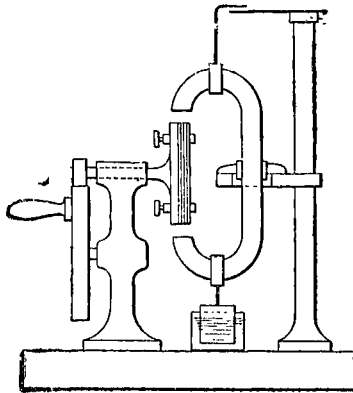


Fig. 9

voque un couple dont le moment est repéré par la déviation même de l'aimant fixé. Dans une révolution, le produit par 2π du couple de réaction de l'échantillon sur l'aimant donne le travail d'hystérésis pour une révolution, il suffit de diviser ce travail par le volume de l'éprouvette pour avoir l'énergie absorbée par centimètre cube dans le phénomène de l'hystérésis.

La vitesse de rotation de l'éprouvette doit être assez grande pour que l'aimant n'oscille pas sensiblement autour d'une position, sous l'action de sa période propre ; toutefois, la vitesse ne doit pas être assez grande pour rendre les courants de Foucault appréciables.

En appelant θ , l'angle d'inclinaison de l'aimant, la valeur du couple sera

$$C = K \sin \theta$$

et si V est le volume de l'éprouvette et W_2 , l'énergie absorbée par centimètre cube par l'hystérésis, on aura

$$W_2 = \frac{2\pi \cdot K \cdot \sin \theta}{V}.$$

Or, afin que le flux de force auquel l'échantillon est soumis soit pratiquement indépendant des constantes magnétiques de l'éprouvette, de grands entrefers ont été conservés et la résistance magnétique du bloc de tôles à l'essai est ainsi très faible par rapport à celle des entrefers ; l'aimant donne donc pour chaque échantillon une induction magnétique \mathcal{B}_0 , constante voisine de 4000 gauss. Un échantillon témoin a été étudié par les méthodes ordinaires d'intégration et la constante de Steinmetz η_0 a été ainsi déterminée. On fera, sur ce premier échantillon, une expérience et on aura

$$W'_2 = \frac{2\pi \cdot K \cdot \sin \theta'}{V'} = \eta_0 \mathcal{B}_0^{1,6};$$

et, divisant membre à membre avec celle précédemment trouvée :

$$W_2 = \frac{2\pi K \sin \theta}{V} = \eta_1 \mathcal{B}_0^{1,6},$$

on aura

$$\eta_1 = \eta_0 \frac{V' \sin \theta}{V \sin \theta'}.$$

La connaissance du coefficient η suffit pour définir magnétiquement le fer essayé.

Cet appareil sert à mesurer l'hystérésis alternative, c'est-à-dire celle à laquelle un noyau de transformateur est soumis.

2° *Hystérésimètre Blondel-Carpentier*. — Cet appareil est destiné à mesurer l'hystérésis tournante, c'est-à-dire celle à laquelle sont soumis les induits des dynamos à courant continu ; le principe sur lequel est basé cet appareil est le même que précédemment. Au lieu de faire tourner l'échantillon, on fait tourner l'aimant ; mais au point de vue théorique, tout ce qui a été dit sur l'hystérésimètre d'Ewing pourrait être répété ici. Toutefois, la réalisation de cet appareil a été des plus soignée et est digne de ses auteurs.

L'échantillon (*fig. 10*), dans l'hystérésimètre Blondel-Carpentier, affecte la forme d'anneaux plats adaptés sur un arbre vertical, à l'aide d'un support en laiton. Cet arbre a sa partie supérieure engagée dans une chape placée au milieu

d'une glace formant couvercle à l'appareil, la partie inférieure de l'axe repose sur une crapaudine. L'ensemble est porté par la partie supérieure rigide de l'instrument, de sorte que l'échantillon pourrait tourner, entraînant son

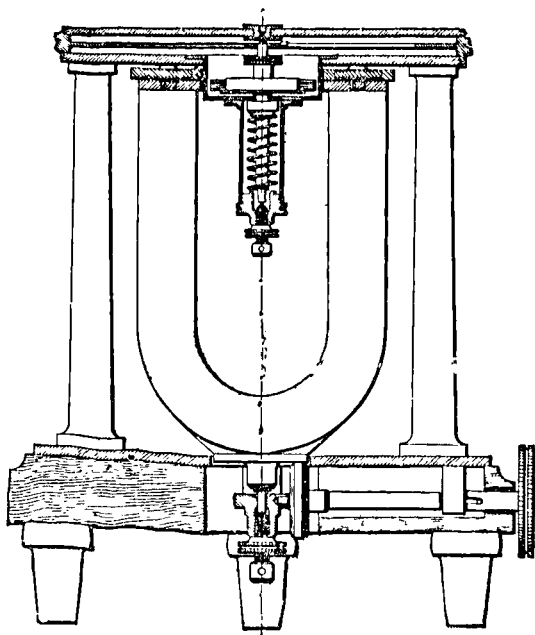


Fig. 10

axe, si un ressort hélicoïdal ne le ramenait pas constamment à sa première position. Le ressort est noyé dans de la valvoline qui sert d'huile amortissante.

La déviation des disques est repérée par une aiguille fixée à frottement sur l'arbre et se déplaçant devant un cercle divisé adhérent à la glace ; de cette façon, on peut, en tournant la glace, placer le zéro de la graduation où cela est nécessaire.

Le champ magnétique est produit par un aimant en fer à cheval à branches verticales, celui-ci repose sur une crapaudine surmontée d'un petit disque sur lequel vient s'appuyer un galet en cuir commandé par un bouton moletté et une manivelle.

L'induction maxima que l'aimant peut produire est 10 000 gauss. Pour l'essai, on découpera les tôles bien conformément au gabarit fourni par le constructeur, puis on fixera convenablement ces tôles sur l'arbre, et en remplaçant glace et aiguille, on aura un instrument prêt à fonctionner.

On fait tourner l'aimant à une vitesse suffisante *sans être exagérée*, et, en répétant le même raisonnement que pour l'appareil d'Ewing, mais en remarquant qu'ici ce sont les angles eux-mêmes et non les sinus qui sont intéressés, on aura comme résultat de la comparaison avec un échantillon-type

$$\eta_1 = \eta_0 \frac{V'}{\bar{V}} \times \frac{\theta}{\theta'}$$

L'hystérésimètre Blondel-Carpentier permet

d'apprécier les propriétés hystérétiques des fers et aciers avec une approximation pouvant atteindre 5 %; or nous avons fait remarquer que les procédés dérivés de la méthode balistique ne donnent pas plus de précision, tout en exigeant un très grand soin et un très grand travail pour les opérations, tandis qu'un bon ouvrier consciencieux peut, dans sa journée (préparation des disques à l'emporte-pièce comprise), effectuer une dizaine de mesures.

Toutefois, les hystérésimètres ne sont pas des appareils absolus, un échantillon-type et bien étudié par la méthode balistique doit être fourni avec l'appareil par le constructeur. Cet échantillon doit être vérifié tous les ans, pendant les premières années de son existence surtout.

CHAPITRE II

—

MESURE DES PUISSANCES ÉLECTRIQUES

Nous ferons d'abord un rappel de définitions :

Si une quantité dq d'électricité passe pendant le temps dt d'un point A à un potentiel V_A en un autre point B de potentiel V_B , on aura

$$\text{Travail électrique} = (V_B - V_A)dq$$

et la puissance moyenne sera donnée par la relation

$$P = (V_B - V_A) \frac{dq}{dt} = \Delta.V \times i.$$

En courant continu, il est donc simple de mesurer la puissance électrique en action entre deux points d'un circuit, on relèvera la valeur du courant en ampères et la différence de potentiel en volts, le produit donnera la puissance en watts.

Ceci n'est plus aussi facile en courant alternatif, car alors la puissance en jeu varie à toute instant.

Soit T, la durée d'une période, la différence de potentiel E et la valeur du courant I seront

exprimées en fonction du temps par deux séries de Fourier, la puissance instantanée sera donc elle-même représentée par une série de Fourier; si donc on appelle W , l'énergie électrique dépensée pendant toute la durée de la période T , on voit que la même énergie aurait été fournie pendant le même temps par une source continue dont la puissance eût été $\frac{W}{T} = P$, de sorte que si on appelle P la puissance moyenne de la distribution alternative, on aura

$$P = \frac{W}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T E.I. dt.$$

Nous allons passer en revue les diverses méthodes permettant de fournir cette valeur avec les appareils décrits dans la 1^{re} partie de cet aide-mémoire quelle que soit la forme du courant.

Méthode de M. Potier. — Soient A et B (fig. 11), les bornes d'une utilisation U à courant

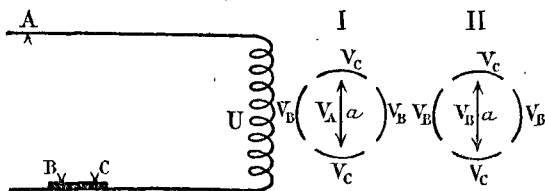


Fig. 11

alternatif de période C , soit de plus BC une résistance relativement très faible par rapport à U et sans inductance ni capacitance.

Ceci posé, joignons aux quadrants d'un électromètre symétrique S.-W. Thomson-Mascart.

$$\begin{array}{l} 1^{\text{re}} \text{ opération} \\ 2^{\text{me}} \text{ opération} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{B à une paire de quadrants} \\ \text{C à l'autre paire de quadrants} \\ \text{A à l'aiguille } a. \\ \text{B à une paire de quadrants} \\ \text{C à l'autre paire de quadrants} \\ \text{B à l'aiguille } a. \end{array} \right.$$

Nous aurons, K étant une constante que nous savons déterminer en courant continu,

1^{re} opération :

$$\theta_1 = K \frac{1}{T} \int_0^T (V_B - V_C) \left(V_A - \frac{V_B + V_C}{2} \right) dt;$$

2^{me} opération :

$$\theta_2 = K \frac{1}{T} \int_0^T (V_B - V_C) \left(V_B - \frac{V_B + V_C}{2} \right) dt;$$

ou, par différence

$$\theta_1 - \theta_2 = K \frac{1}{T} \int_0^T (V_B - V_C) (V_A - V_B) dt;$$

si r est la résistance de BC, i , le courant instantané, nous aurons :

$$\theta_1 - \theta_2 = Kr \frac{1}{T} \int_0^T i(V_A - V_B) dt$$

ou bien

$$\frac{\theta_1 - \theta_2}{K \cdot r} = P.$$

Cette méthode est très élégante, toutefois elle ne peut être utilisée pratiquement sans modification; sans entrer à fond dans la discussion, on peut remarquer que, dans le cas où V_A est très grand, on aura, dans la 1^{re} opération, trois potentiels très différents comme ordre de grandeur, tandis que, dans la 2^{me} opération, ces potentiels sont très voisins; or, règle générale, un appareil ne peut pas servir avec la même précision pour tous les ordres de grandeur des mesures *sans modification dans ses organes*.

L'auteur a indiqué, pour tourner la difficulté, de placer, entre A et B (fig. 12), le primaire d'un transformateur à *très faible réluctance* magnétique, on sait que, dans ce cas, la force électromotrice du secondaire à *vide* est décalée de 180°

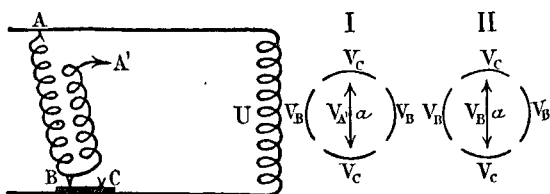


Fig. 12

sur la force électromotrice du primaire, de sorte que si n est le rapport de transformation, on aura à tout instant dans le fonctionnement à vide, B étant un pôle commun du primaire et du secondaire

$$\frac{V_B - V_{A'}}{V_A - V_B} = \frac{1}{n}$$

Or si, dans les opérations précédentes, on remplace A par A', on aura finalement

$$\theta_2 - \theta_1 = Kr \frac{I}{n} P,$$

ou bien

$$\frac{n(\theta_2 - \theta_1)}{Kr} = P.$$

L'avantage, dans ce cas, est que l'appareil pourra être réglé (ou choisi) pour les usages auxquels il sera effectivement employé. On doit insister sur ce point, le transformateur sera de réluctance extrêmement faible.

Un inconvénient pratique vient de la difficulté d'obtenir un électromètre suffisamment amorti, les lectures sont assez difficiles.

Méthode d'Ayrton et Sumpner. — Dans cette méthode, on emploie encore une résistance

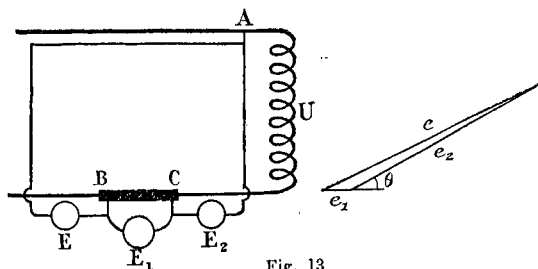


Fig. 13

r sans self ni capacité (fig. 13), et on mesure les différences de potentiel efficace :

- 1° entre A et B, soit E cette différence
- 2° " A et C // E₂ "
- 3° " C et B // E₁ "

On a constamment

$$E = E_1 + E_2,$$

ou

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2,$$

ou

$$\begin{aligned} \frac{1}{T} \int_0^T E^2 dt &= \frac{1}{T} \int_0^T E_1^2 dt + \frac{1}{T} \int_0^T E_2^2 dt + \\ &= 2r \frac{1}{T} \int_0^T i E_2 dt = 2rP. \end{aligned}$$

On a donc finalement

$$\frac{E_{eff}^2}{2r} = \frac{E_{1,eff}^2}{2r} + \frac{E_{2,eff}^2}{2r} = P.$$

Graphiquement, on aurait établi tout de suite cette relation (*fig. 13*), car on voit que (les petites lettres représentant ici les voltages efficaces) :

$$e^2 = e_1^2 + e_2^2 + 2e_1e_2 \cos \theta,$$

ou

$$\frac{e^2}{2r} = \frac{e_1^2}{2r} + \frac{e_2^2}{2r} = P.$$

Méthode de Fleming. — On dispose trois ampèremètres S_1 , S_2 , S_3 (*fig. 14*).

S_1 sur la ligne à l'arrivée.

S_2 en dérivation avec une grande résistance sans self-induction ni capacité.

S_3 sur la ligne, mais entre la dérivation et l'utilisation.

En suivant une méthode semblable à la précédente, on trouve

$$P = \frac{r}{2} (I_1^2 - I_2^2 - I_3^2).$$

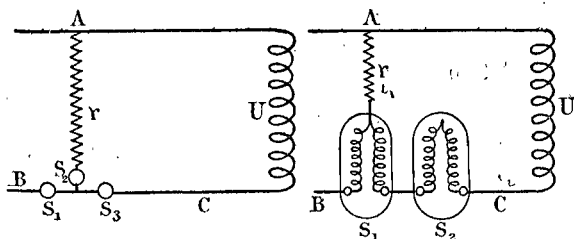


Fig. 14

Fig. 15

Méthode de Blakesley (*fig.*, 15). — On dispose les deux bobines d'un électrodynamomètre S_1 en série à l'entrée B de la ligne, puis on relie le point de jonction des deux bobines avec une grande résistance r sans self-induction ni capacité dont l'autre extrémité est à la sortie A de la ligne; à la suite de ce premier électrodynamomètre, on met en série les deux bobines d'un second électrodynamomètre S_2 .

Si i est le courant qui arrive en B,

i_1 , le courant qui traverse r ,

i_2 , le courant de l'utilisation,

on aura à tout instant l'identité :

$$i(i - i_1) - (i - i_1)^2 = (i - i_1)i_1,$$

ou

$$\frac{1}{T} \int_0^T i(i - i_1) dt - \frac{1}{T} \int_0^T (i - i_1)^2 dt = \frac{i}{r} \times$$

$$\times \frac{1}{T} \int_0^T (V_A - V_B) i_2 dt,$$

ou encore, en appelant K_1 et θ_1 , la constante et la déviation de S_1 , et K_2 et θ_2 , la constante et la déviation de S_2 :

$$(K_1 \theta_1 - K_2 \theta_2) r = P.$$

Les quatre méthodes décrites permettent de déterminer la puissance, quelles que soient les formes des séries de Fourier. En appliquant convenablement aux trois dernières méthodes, la modification tirée de l'emploi d'un transformateur à *très faible réluctance* et *fonctionnant pratiquement à vide*, on arrivera à donner une élasticité indispensable à ces méthodes.

Si on voulait faire une mesure de haute précision, on devrait avoir recours aux méthodes tirées de l'emploi des calorimètres.

Méthode du wattmètre. — Les wattmètres sont cependant universellement préférés, et avec raison, car au point de vue industriel, ils permettent de faire des opérations plus rapides. Toutefois un wattmètre doit être construit avec soin ; en effet, si T_G est la constante de temps du circuit d'utilisation et T_F , la constante de temps du circuit à fil fin, $\omega = \frac{2\pi}{T}$; si, de plus, l'appa-

reil a été étalonné à courant continu, on aura, pour terme correctif de la lecture :

$$\lambda = \frac{\sqrt{1 + T_F^2 \omega^2}}{1 + T_F \times T_G \omega^2} \quad (1).$$

(1) On s'en rendra compte facilement ainsi. Soient :

$$\begin{aligned} E &= E_0 \sin \omega t, \\ I &= I_0 \sin (\omega t - \Phi), \end{aligned}$$

la différence de potentiel et le courant instantané.

La puissance sera :

$$P = \frac{E_0 I_0}{2} \cos \Phi,$$

tandis que si i de la dérivation dans le fil est de la forme :

$$i = i_0 \sin (\omega t - \varphi),$$

on aura relevé :

$$P' = \frac{E_0 I_0}{2} \cos (\Phi - \varphi).$$

Le coefficient :

$$\frac{P}{P'} = \frac{\cos \Phi}{\cos (\Phi - \varphi)} = \lambda,$$

peut s'écrire :

$$\lambda = \frac{1}{1 + \frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi} \operatorname{tg} \Phi};$$

or :

$$\operatorname{tg} \varphi = T_F \times \omega \quad \text{et} \quad \operatorname{tg} \Phi = T_G \times \omega,$$

donc

$$\lambda = \frac{\sqrt{1 + T_F^2 \times \omega^2}}{1 + T_F \cdot T_G \omega^2}.$$

On doit donc s'appliquer à ce que T_p soit infiniment petit.

A cet effet, on construit dans l'industrie des wattmètres munis de boîtes à grandes résistances sans self-induction, ni capacité aucune, *s'il faut en croire toutefois les constructeurs*. L'emploi de ces appareils est à recommander.

Nous citerons les wattmètres de J. Carpentier, de Ganz, de Lord Kelvin, de Blondel-Labour, de Hartmann et Braun, de Siemens et Halske, de l'Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft, etc.

Mesure des puissances en courants polyphasés. — Si les n branches de la distribution étaient bien calibrées, il suffirait de mesurer la

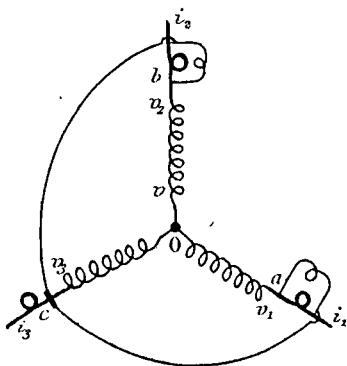


Fig. 16

puissance sur une seule branche et de multiplier le résultat obtenu par n . Il n'en est pas malheureusement ainsi.

Nous allons démontrer qu'il suffit de deux wattmètres pour mesurer la puissance totale en courant triphasé.

PREMIER CAS. — *Distribution en étoile (fig. 16).*
— On a évidemment, d'après la figure :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i_2(v_2 - v)dt + \frac{1}{T} \int_0^T i_1(v_1 - v)dt + \\ + \frac{1}{T} \int_0^T i_3(v_3 - v)dt,$$

or, on a :

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0,$$

ou :

$$i_3 = -i_1 - i_2,$$

de sorte que P prend la forme simplifiée :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i_2(v_2 - v_3)dt + \frac{1}{T} \int_0^T i_1(v_1 - v_3)dt.$$

Deux wattmètres sont seulement nécessaires, le 1^{er} aura son circuit fixe traversé par i_1 et son circuit mobile aux bornes a et c ; le 2^e aura son circuit fixe traversé par i_2 et son circuit mobile aux bornes b et c .

2^me CAS. — *Distribution en triangle (fig. 17).*
— On a évidemment, d'après la figure :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T I_1(v_2 - v_3)dt + \frac{1}{T} \int_0^T I_2(v_3 - v_1)dt + \\ + \frac{1}{T} \int_0^T I_3(v_1 - v_2)dt,$$

or on a :

$$(v_2 - v_3) + (v_3 - v_1) + (v_1 - v_2) \equiv 0$$

de sorte que P peut s'écrire :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (I_1 - I_3) (v_2 - v_3) dt + \\ + \frac{1}{T} \int_0^T (I_2 - I_3) (v_3 - v_1) dt,$$

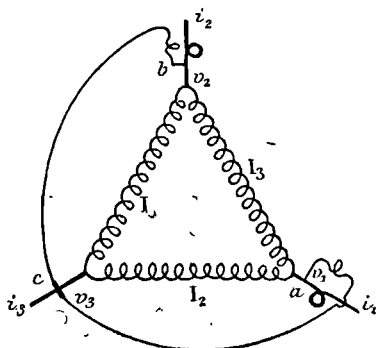


Fig. 17

ou encore :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (I_1 - I_3) (v_2 - v_3) dt + \\ + \frac{1}{T} \int_0^T (I_3 - I_2) (v_1 - v_3) dt,$$

or

$$I_1 - I_3 \equiv i_2 \\ I_3 - I_2 \equiv i_1,$$

et P devient :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i_2(v_2 - v_3)dt + \frac{1}{T} \int_0^T i_1(v_1 - v_3)dt,$$

On voit que deux wattmètres sont seulement nécessaires.

Le premier aura son circuit fixe traversé par i_1 et son circuit mobile aux bornes a et c .

Le deuxième aura son circuit fixe traversé par i_2 et son circuit mobile aux bornes de b et c .

Si on s'occupe ordinairement des réseaux triphasés, on pourra disposer, ce qui est réalisé pour les compteurs, les circuits mobiles sur un même axe.

↳ **Mesure des puissances dans les diverses branches d'une utilisation triphasée.** — Nous avons trois méthodes ⁽¹⁾, indiquées par M. A. Blondel, qui permettent de déterminer le travail dans chaque branche d'une utilisation triphasée. Deux cas sont à considérer : le montage est en étoile, le montage est en triangle.

1° *Montage en étoile.* — Cette solution peut s'appeler méthode du point neutre artificiel, elle consiste à placer (*fig. 18*) trois résistances identiques R_1, R_2, R_3 en étoile par un point commun neutre q et en dérivation sur les trois conducteurs par chacune de leur autre extrémité

(1) M. Blondel a publié une notice sur la mesure de la puissance des courants polyphasés.

libre. Dans l'une des branches, le cadre mobile c du wattmètre sera intercalé et, dans chacune des deux autres, un cadre exactement semblable c' et c'' . Si on intercale, dans le conducteur M_1N_1 , les

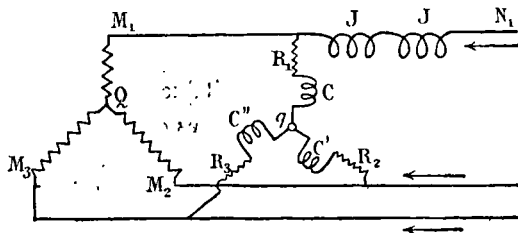


Fig. 18

bobines J à gros fil du wattmètre, on relèvera à celui-ci une déviation mesurant la puissance apportée par le conducteur M_1N_1 .

Évidemment si le point neutre de l'étoile d'utilisation est accessible, point ne sera besoin de

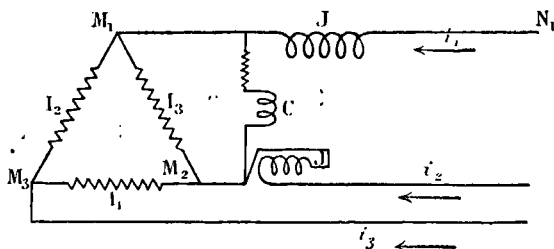


Fig. 19

ce montage, car on tombera dans un cas général.

Montage en triangle. — Supposons qu'on utilise toujours un wattmètre genre Blondel-

Labour à deux enroulements fixes. Envoyons (*fig. 19*) les courants de deux conducteurs différents dans chacune des bobines fixes en ayant soin de faire les deux connexions en sens contraire, comme l'indique le schéma, plaçons maintenant la bobine mobile en dérivation entre ces conducteurs, ce qui sera intégré dans l'appareil sera :

$$K.0 = \frac{1}{T} \int_0^T (V_1 - V_2) \frac{i_1 - i_2}{2} dt,$$

or, on a :

$$\begin{aligned} i_1 &= I_3 - I_2 \\ i_2 &= I_1 - I_3, \end{aligned}$$

et

$$i_1 - i_2 = 3I_3 - (I_1 + I_2 + I_3).$$

En supposant que I_1, I_2, I_3 , soient tels que :

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0,$$

on aura :

$$i_1 - i_2 = 3I_3$$

et

$$\frac{2}{3} K0 = \frac{1}{T} \int_0^T (V_1 - V_2) I_3 dt = P.$$

On a ainsi, dans cette hypothèse, la valeur de la puissance dans la branche difficilement accessible aux mesures.

CHAPITRE III

ETUDE DES COURANTS ALTERNATIFS

Dans l'étude des courants alternatifs, on peut se poser le problème suivant :

a) Recherche de la période d'un courant, de la période d'une différence de potentiel ;

b) Recherche du décalage entre deux fonctions périodiques électriques pouvant être un courant ou une différence de potentiel. Étude des phase-mètres ;

c) Recherche de la forme graphique d'une fonction périodique électrique et subsidiairement forme analytique d'une telle fonction. Ce problème comprend les deux autres précédents comme cas particuliers.

I. RECHERCHE DE LA PÉRIODE D'UN COURANT, DE LA PÉRIODE D'UNE DIFFÉRENCE DE POTENTIEL

Ce problème ainsi limité se présente peu : car, ou bien on se trouve à l'usine et il suffit de mesurer le nombre de \mathcal{C}/\mathcal{N} des alternateurs et le nombre des pôles ; ou bien, on se trouve dans

un lieu d'utilisation où sont installées des machines, et, alors, si ces machines sont synchrones, il suffira de mesurer leur vitesse angulaire, si ces machines sont asynchrones, on fera la même mesure *pendant leur marche à vide*, le nombre de tours et la considération du circuit inducteur suffira pour trouver facilement la fréquence. Enfin, d'une façon générale, on n'aura qu'à faire fonctionner un petit moteur synchrone en un point quelconque du réseau pour connaître la fréquence.

Nous allons indiquer brièvement quelques instruments construits à l'étranger pour effectuer ces sortes de mesures.

Fréquencemètre à diapason Stockardt. — La maison Stiebentz, de Dresde, construit un fréquencemètre se composant d'un diapason aux branches minces et larges, sur lesquelles deux masses peuvent glisser conduites à la fois dans leur déplacement par un fil commandé par une vis molletée. Un petit électro-aimant traversé par le courant à l'étude entretient ce diapason qui n'entre en vibration que lorsque sa période correspond à celle du courant.

Fréquencemètre R. Kempf. — La maison Hartmann et Braun construit cet appareil dont le principe est le suivant :

Si on place un électro-aimant traversé par un courant alternatif devant une lame vibrante, cet électro-aimant ne pourra mettre la lame en

vibration qu'autant que le rapport du nombre des vibrations par seconde de la lame au nombre des alternances sera un nombre entier. De sorte que, si on a une série de lames accordées pour les alternances comprises entre a et b , il suffira de présenter successivement, à chacune des lames, l'électro-aimant jusqu'à ce que celui-ci en ait mis une en vibration.

Fréquencemètre Ricardo-Arno. — Le montage est celui de la *fig. 20*.

Sur une dérivation du réseau, composée d'une résistance variable et étalonnée R , sans self ni capacité, et d'un condensateur de capacité C , on

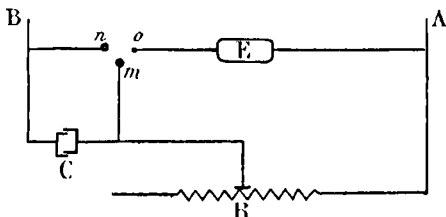


Fig. 20

branche un électromètre successivement aux bornes de toute la dérivation, puis de la résistance seule, on fait varier la résistance de façon que la deuxième lecture soit moitié de la première, alors on a

$$\frac{E_1}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} = \frac{\left(\frac{E_1}{2}\right)}{R}$$

d'où

$$\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} = 2R$$

ou

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1}{CR}$$

et

$$\frac{1}{T} = 2\pi \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{CR}$$

II. MESURE DES DIFFÉRENCES DE PHASES ET PHASEMÈTRES

Blakesley avait proposé une méthode pour mesurer la différence de phases de deux courants de même période *supposés régis par la loi sinusoïdale*.

Soient :

$$\begin{aligned} i_1 &= I_1 \sin \omega t \\ i_2 &= I_2 \sin (\omega t - \varphi). \end{aligned}$$

Prenons trois électrodynamomètres, dans les deux bobines du premier, faisons passer le courant i_1 , dans les deux bobines du deuxième, faisons passer le courant i_2 ; enfin faisons traverser la bobine fixe du troisième par i_1 , cependant que la bobine mobile sera parcourue par i_2 ,

nous aurons, θ_1 , θ_2 et θ_3 étant les déviations lues :

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_1 = K_1 \frac{I_1^2}{2} \\ \theta_2 = K_2 \frac{I_2^2}{2} \\ \theta_3 = K_3 \frac{I_1 I_2}{2} \cos \varphi. \end{array} \right.$$

de sorte que $\cos \varphi = \frac{\theta_3}{K_3} \times \sqrt{\frac{K_1 K_2}{\theta_1 \theta_2}}$.

On pourrait, avec un ampèremètre, un voltmètre électrostatique et un wattmètre mesurer la différence de phase d'un courant sur la différence de potentiel, le procédé est suffisamment simple pour qu'il soit utile de le décrire plus longuement.

Les phasemètres sont des appareils destinés à donner *par une seule lecture*, la valeur d'une fonction simple et définie du facteur de puissance. Ces appareils ne sont guère utilisés qu'en Allemagne. Nous ne donnerons aucune appréciation sur leur précision et pour cause, on peut douter, en effet, de l'exactitude d'appareils qui peuvent amener eux-mêmes des perturbations dans la forme des courants.

Phasemètre Hartmann et Braun (fig. 21).

— Le phasemètre construit par Hartmann et Braun a été étudié par M. Bruger. Le champ fixe est obtenu par deux grosses bobines parcourues par le courant principal. Entre ces deux bobines

et sur pivot sont disposées à *angle droit* deux petites bobines dont l'une en série avec une grosse bobine sans réactance est parcourue par une dérivation i_1 aux bornes de l'utilisation, tandis que l'autre cadre en série avec une forte

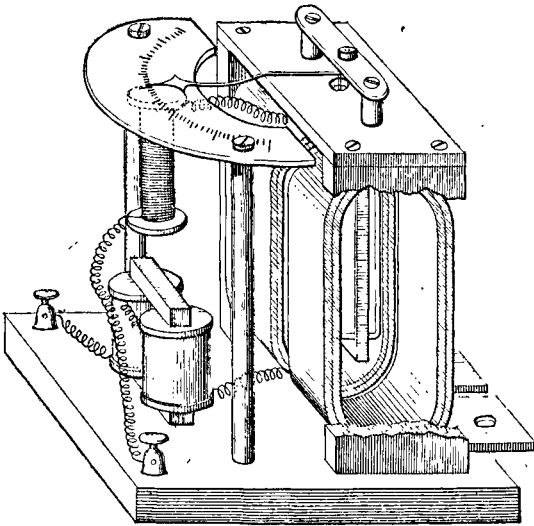


Fig. 21

bobine de self est parcourue également par une dérivation i_2 aux bornes de l'utilisation. On règle les résistances de façon que les valeurs efficaces de i_1 et de i_2 soient les mêmes.

Pratiquement i_2 a sur i_1 un retard de $\frac{\pi}{2}$, l'ensemble des deux petites bobines montées sur l'axe constitue donc un champ tournant; l'équi-

page prendra une orientation telle qu'au moment des maxima du champ de direction fixe, le champ tournant soit parallèle à ce champ. A ce moment, l'orientation du champ tournant fait avec les cadres des angles φ et $\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)$ égaux à la différence de phase ou à son complément. Un index placé solidairement sur l'axe des deux petites bobines orthogonales permettra de repérer cet angle.

Phasemètre du professeur Ricardo-Arno (*fig. 22*). — Cet appareil se compose d'un électrodynamomètre ordinaire dont la bobine fixe A_1 est parcourue par un des deux courants étudiés I_1 et la bobine mobile A_2 est parcourue par l'autre courant. A côté de cet électrodynamomètre s'en trouve un second d'une espèce particulière, deux bobines orthogonales sont fixes B_1 en série avec A_1 , B_2 en série avec A_2 , l'équipage mobile est formé de deux petits cadres fermés sur eux-mêmes (ou un tambour d'aluminium) et suspendu par un ressort de torsion. Quand les courants passent, chaque équipage mobile est soumis à un couple.

Le premier couple est mesuré par l'angle θ_1 de torsion.

Le deuxième couple est mesuré par l'angle θ_2 de torsion, on a :

$$\begin{aligned}\theta_1 &= K_1 I_{1eff} \times I_{2eff} \times \cos \varphi \\ \theta_2 &= K_2 I_{1eff} \times I_{2eff} \times \sin \varphi\end{aligned}$$

en divisant membre à membre, on a

$$\lg \varphi = \frac{0_2}{0_1} \times \frac{K_1}{K_2}.$$

Le deuxième électrodynamomètre qui permet d'évaluer $\sin \varphi$, peut, quand il s'agit d'un courant principal et d'une dérivation sans décalage

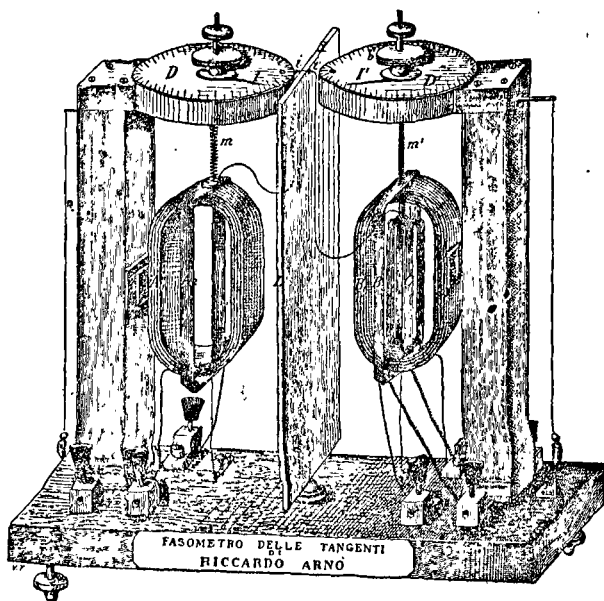


Fig. 22

sur la différence de potentiel, être considéré comme un ampèremètre de courant de watté.

Entre les deux électrodynamomètres se trouvent une feuille de cuivre ou de laiton servant d'écran aux flux alternatifs.

Phasemètre Siemens et Halske (*fig. 23*).

— Un disque de tôle, monté sur un axe tournant dans des crapaudines en saphir, et maintenu par un ressort spiral r en bronze est entouré de deux bobines ; la première bobine

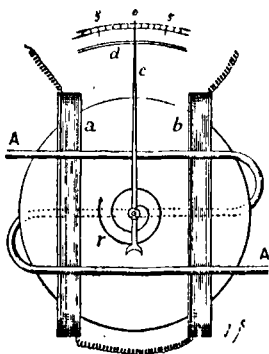


Fig. 23

réduite à un ruban A de cuivre de section appropriée est traversée par le courant principal, la seconde, composée de deux bobines en série a, b est en dérivation sur l'utilisation par l'intermédiaire d'une résistance sans self-induction ni capacité.

On a ainsi un champ tournant, et si une déviation du disque proportionnelle au couple se produit, on a

$$\theta = KI \sin \varphi$$

Cette déviation est repérée par une aiguille.

C'est, en somme, un ampèremètre à courant dévatté ; le sens de la déviation indique si le courant est en avance ou en retard.

Cet appareil a été combiné par Dolivo-Dobrowolski.

III. OSCILLOGRAPHES, RHÉOGRAPHE,
ONDOGRAPHE

La connaissance de la forme des courants alternatifs est de la plus haute importance, car elle permet d'apporter des modifications dans la construction d'appareils générateurs et d'utilisation.

Les premiers essais furent des relevés par points successifs, ils sont de plus en plus abandonnés pour les méthodes directes donnant le tracé continu des courbes.

Oscillographes. — Les oscillographes sont ainsi définis par M. A. Blondel qui a étudié avec beaucoup de succès cette question : galvanomètres à oscillations extrêmement rapides par rapport à celles du courant, dépassant plusieurs milliers de périodes propres par seconde et susceptibles d'être réglés à l'amortissement critique.

La théorie des oscillographes est la généralisation de l'élégante théorie de la synchronisation. Il faut, pour que le résultat désiré soit obtenu, que non seulement les oscillations du galvanomètre-oscillographe soient synchroniques, mais encore qu'elles restent à chaque instant proportionnelles au courant à mesurer.

Reprenons l'équation des galvanomètres (1^{er} volume des *Mesures électriques*, p. 33 et sui-

vantes), en remarquant que le moment M d'impulsion est GI (I étant le courant à relever) :

$$(1) \quad K \frac{d^2\theta}{dt^2} + A \frac{d\theta}{dt} + B\theta = GI,$$

il faut que

$$(2) \quad \theta = \lambda I,$$

λ étant une constante, donc on a :

$$K \frac{d^2\theta}{dt^2} + A \frac{d\theta}{dt} + (B - \lambda G) \theta = 0$$

ou encore :

$$(3) \quad K \frac{d^2I}{dt^2} + A \frac{dI}{dt} + (B - \lambda G) I = 0;$$

or, on sait que si on résout l'équation différentielle :

$$K \frac{d^2x}{dt^2} + A \frac{dx}{dt} + (B - \lambda G) x = 0,$$

la solution générale est (1^{er} volume des *Mesures électriques*, p. 34 et suivantes) :

$$x = x_0 + e^{-\frac{A}{2K} t} \left\{ \nu' \sin \frac{\sqrt{4KB - A^2}}{2K} t + \mu' \cos \frac{\sqrt{4KB - A^2}}{2K} t \right\},$$

de sorte que, pour que la fonction I absolument quelconque développée en série de Fourier puisse satisfaire à (3), il faudrait que

$$(4) \quad \left\{ \begin{array}{l} K = 0 \\ A = 0 \\ B - \lambda G = 0 \end{array} \right\},$$

En réalité, il est impossible de rendre nul K , moment d'inertie de l'appareil, ainsi que A , coefficient d'amortissement ; mais on s'approchera suffisamment de la vérité en prenant $B - \lambda G = 0$ avec K et A infiniment petit par rapport à B ; le second membre de l'équation (3) sera pour toute valeur de t , un infiniment petit ; autrement dit, I pourra être considéré comme satisfaisant sensiblement à l'équation (1) ; on sait que si T est la durée d'une oscillation du galvanomètre livré à lui-même, on a

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{B}{K} - \frac{A^2}{4K^2}}} = \frac{1}{n}$$

n' étant le nombre des oscillations par seconde.

Or K étant très petit, le dénominateur sera très grand, donc T sera très petit et n sera très grand ; ce nombre atteint un et même plusieurs milliers d'unités.

La solution générale (1) est, par conséquent, $f(t)$ étant une certaine série de Fourier (si I est une série de Fourier) :

$$0 = e^{-\frac{K}{2K} t} \left[\nu' \sin \frac{\sqrt{4KB - A^2}}{2K} t \right. \\ \left. + \mu' \cos \frac{\sqrt{4KB - A^2}}{2K} t \right] + f(t)$$

Le premier terme est évanouissant lorsque t croît, quant au second, il diffère très peu, dans l'espèce, de I .

Toutefois, si on utilise l'appareil (suivant une description qu'on trouvera plus loin), on s'aperçoit qu'avec un galvanomètre oscillographe non réglé, il existe à chaque brusquerie de la fonction l'une série de petites rides sur la courbe. Il est facile de se rendre compte de ce phénomène. En effet, supposons le galvanomètre oscillographe non apériodique ; dans ces conditions, si le moment des actions extérieures (dues ici au courant I) est bien continu, l'oscillation propre de l'appareil ne se fera pas sentir ; mais qu'une discontinuité surviennent ? — une discontinuité du moment des forces peut être considérée comme équivalente à l'adjonction d'une percussion à ce moment restant fonction continue, cette percussion mettra en jeu immédiatement les oscillations propres de l'appareil. En conséquence, il faudra régler l'appareil pour l'apériodicité critique (*Mesures électriques*, 1^{er} vol., p. 41).

En réalité, comme M. A Blondel le fait remarquer, « il est préférable de se tenir un peu au dessous de la valeur critique, un petit défaut d'amortissement entraîne une moindre déformation qu'un excès d'amortissement (1). Un défaut d'amortissement donnera bien des rides, mais avec un bon oscillographe dans lequel *le nombre des oscillations propres dépasse cinquante fois la fréquence*, ces rides sont si rap-

(1) *Loc. cit.*

prochées qu'elles forment de courtes houppes triangulaires faciles à reconnaître et qu'il suffit de remplacer par leur ligne médiane pour obtenir le tracé vrai cherché ».

Nous ne pouvons pas développer davantage, dans un aide-mémoire, la théorie établie par M. Blondel sur les oscillographes, nous nous contenterons de reproduire les conclusions de ce travail :

« 1° L'instrument doit avoir une période d'oscillation propre très courte par rapport à celle des oscillations électriques. En particulier, pour les courants alternatifs ordinaires ayant une fréquence comprise entre 40 et 100 périodes par seconde, un bon oscillographe doit vibrer avec une fréquence au moins 50 fois plus grande, c'est-à-dire 5000 périodes par seconde.

« 2° L'amortissement doit être réglé à une valeur aussi voisine que possible de l'apériodicité critique toutes les fois que les oscillations électriques ne sont pas bien continues, ou que les variations brusques ne sont pas supprimées par un artifice de convention. L'auteur (M. Blondel) a montré la nécessité de réaliser cet amortissement en plongeant les équipages mobiles dans des liquides visqueux, baumes ou huiles (vaseline, ricin, baume de Canada) choisis empiriquement et auxquels on donna la température convenable.

« 3° La self-induction propre doit être assez faible pour ne pas altérer la loi de variations du courant mesuré ;

« 4° les phénomènes d'hystérésis et les courants de Foucault dans l'appareil doivent être négligeables.

« 5° La sensibilité doit être suffisante, ce qui entraîne l'emploi de parties mobiles excessivement petites ».

M. A. Blondel a étudié trois sortes d'équipage mobile, l'oscillographe à suspension bifilaire, l'oscillographe à barreau mobile dans un champ et l'oscillographe à plaque vibrante ; avec ce

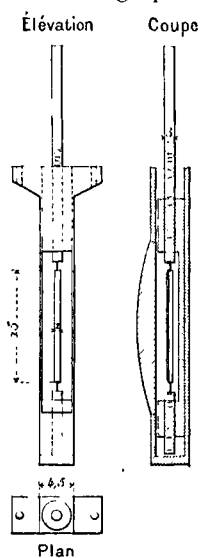


Fig. 21

dernier dispositif, M. Blondel est arrivé à obtenir un galvanomètre dont la fréquence propre est de 40 000 à 50 000 périodes par seconde. Sauf la partie mobile, nous décrivons ici l'oscillographe à barreau mobile.

Une palette de fer doux extrêmement fine oscille entre deux pivots (*fig. 24*), la palette portant son miroir est plongée dans une boîte ayant une lentille sur une de ses faces et contenant un liquide très épais (baume de Canada, ricin ou huile de vaseline) destiné à obtenir l'amortissement critique ou l'état voisin.

Cette boîte est placée entre les pôles d'un élec-

tro-aimant réglable, tandis que deux bobines parcourues par le courant alternatif entourent la palette en fer doux, le barreau reçoit donc un mouvement d'orientation en concordance avec le courant à analyser.

M. Blondel donne, au point éclairant, un déplacement vertical *uniforme* en faisant tourner devant une fente verticale illuminée par un projecteur un disque de grand diamètre percé

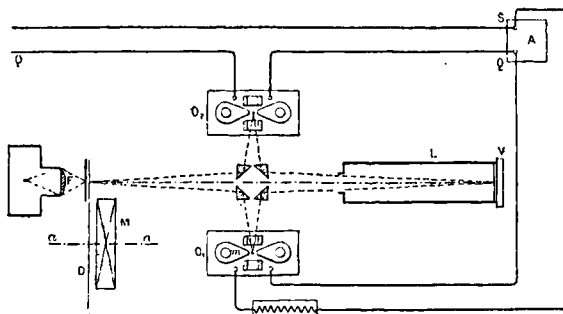


Fig. 25

de fentes radiales, le disque est entraîné par un moteur synchrone au courant alternatif étudié, les effets dus à chaque fente se superposent et forment sur un écran une image continue. A la place de l'écran, on peut placer une plaque photographique.

Quand on veut étudier les formes relatives des courbes, différence de potentiel et courant, on dispose d'un double oscillographe, les *fig. 25*

et 26 indiquent clairement le montage et la disposition de l'appareil.

La *fig. 27* donne les courbes périodiques d'un

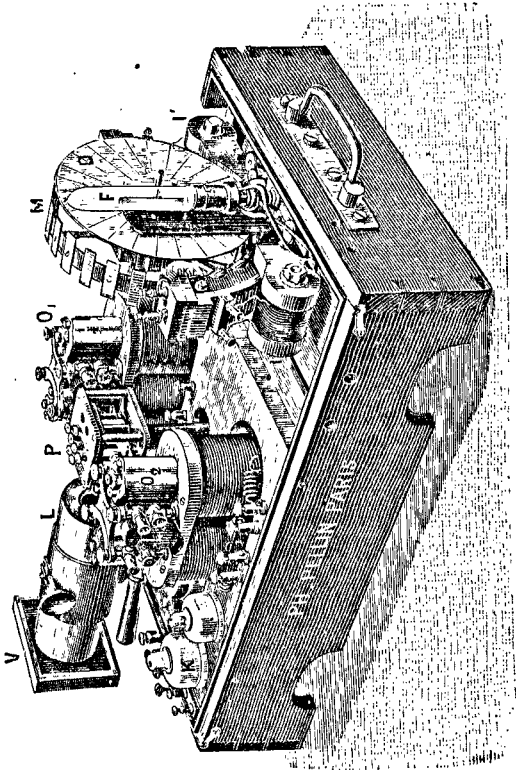


Fig. 26

arc à courant alternatif sur circuit inductif
entre crayons homogènes. Pour se rendre

compte de la précision à attendre d'un oscillographe, on peut relever une courbe simplifiée très brusquée d'un courant obtenu à l'aide d'une

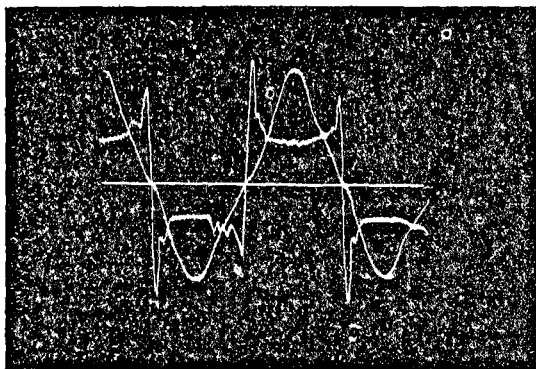


Fig. 27

force électromotrice constante, en coupant et rétablissant périodiquement le circuit à des in-

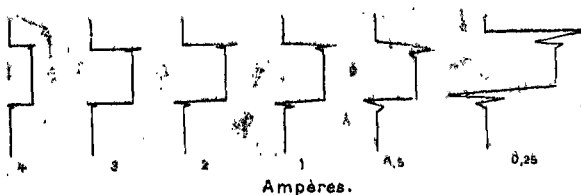


Fig. 28

tervalles réguliers de $\frac{1}{50}$ de seconde, si les courants que l'on étudie sont d'environ 50 périodes; de cette façon, on pourra agir sur l'excitation de

l'électro-aimant jusqu'au moment où la courbe sera bien fidèle. Les *fig. 28* et *29* donnent le

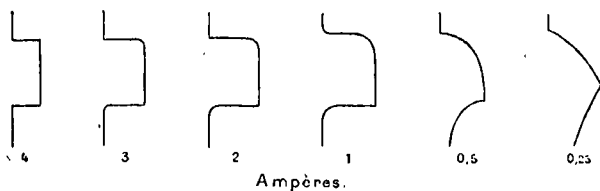


Fig. 29

relevé d'une série d'expériences faites par M. Blondel.

Oscillographe Duddell. — Cet appareil se compose d'un galvanomètre oscillant (*fig. 30*) composé d'un aimant de fer doux excité à saturation par les bobines qui l'enveloppent, l'équipage mobile se compose d'une bande très mince et très étroite en bronze phosphoreux qui se replie pour passer sur une poulie P et dont les deux extrémités aboutissent à des bornes isolées *s* et *s'* à la partie inférieure de l'anneau (*fig. 31*) ; un petit miroir M très léger est collé sur les branches de la bande de bronze. Le cadre est réduit à une spire, sa self est négligeable et son action suffisante à cause de la grande aimantation de l'électro. En réalité, le galvanomètre contient deux équipages, l'un destiné à relever la différence de potentiel, l'autre, le courant. Un miroir fixe placé entre les deux miroirs des équipages est destiné à

donner l'axe des x . Une cage vitrée contenant

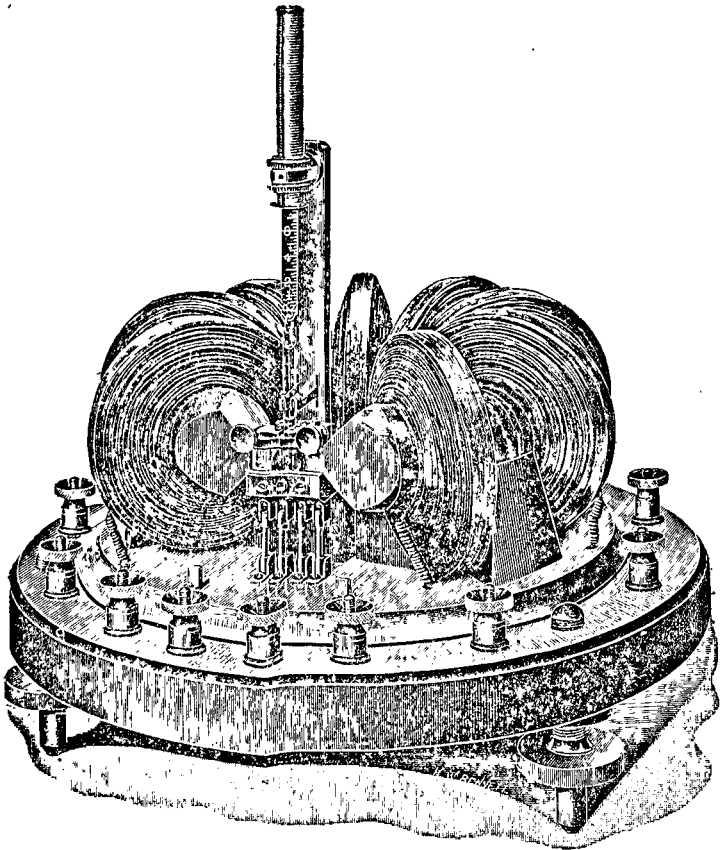


Fig. 30

l'huile de vaseline amortissante enveloppe le

tout. La fréquence propre de l'appareil est 1 000 oscillations par seconde.

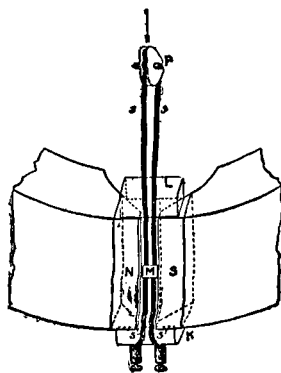


Fig. 31

Oscillographe Hess-Braun. — M. Hess avait indiqué ⁽¹⁾, en 1894, un principe que M. F. Braun a repris depuis. M. F. Braun a utilisé la propriété des rayons cathodiques d'être déviés par un champ ma-

gnétique pour obtenir, dans un tube à rayons cathodiques, une représentation de la forme du courant traversant un solénoïde placé dans le voisinage du tube, nous ne nous étendrons pas davantage sur ce point.

Rhéographe de M. Abraham. — Si, dans un galvanomètre dont l'équation de mouvement propre est

$$(1) \quad K \frac{d^2\theta}{dt^2} + A \frac{d\theta}{dt} + B\theta = 0,$$

on lance un courant i déduit du courant I par

(1) A. HESS. — *Sur une application des rayons cathodiques à l'état des champs magnétiques.* Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXIX, p. 57.

de plus, le circuit comprenant D et le galvanomètre C est en dérivation sur la résistance sans

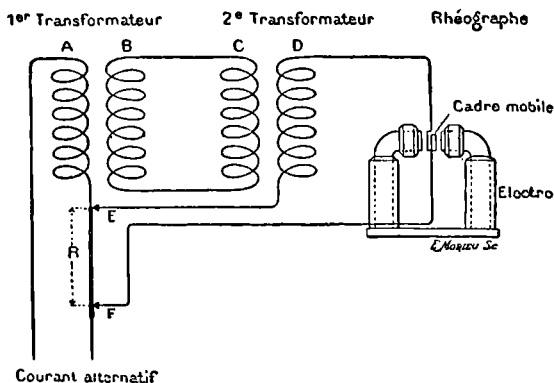


Fig. 32

self R, il passe dans le galvanomètre un courant de la forme

$$i = K' \frac{d^2 I}{dt^2} + A' \frac{dI}{dt} + B' I.$$

Or, il faut que

$$\frac{K'}{K} = \frac{A'}{A} = \frac{B'}{B}.$$

Ceci est obtenu sur un courant-type résultant d'une force électromotrice constante coupée et rétablie périodiquement à des intervalles réguliers de $\frac{1}{50}$ de seconde ou, plus exactement, à des intervalles de temps correspondant à une période; on touche et modifie la résistance R et les bobines A, B, C, D, jusqu'au moment où on

obtient des rectangles nets sur l'image ; lorsque ce résultat est atteint l'appareil est réglé.

M. Abraham a choisi pour galvanomètre rhéographe, un galvanomètre dont le cadre mobile et très restreint se meut dans un champ de 4 à 5 000 unités. Le cadre mobile a une faible inertie, mais le couple directeur B n'est plus infiniment petit comme avec l'oscillographe. La durée de l'oscillation propre est de quelques dixièmes de seconde.

M. A. Blondel a proposé, *avec beaucoup de raison*, d'employer l'oscillographe avec les tables de compensation proposées par M. Abraham.

En réalité, les deux méthodes sont à préconiser et donnent, avec le concours d'*opérateurs soigneux*, des résultats intéressants ; il serait à désirer qu'ils soient utilisés plus souvent, car la meilleure méthode pour progresser est *encore* celle qui consiste à critiquer les résultats obtenus : *à savoir exactement ce qu'on produit, en un mot.*

Ondographe de M. E. Hospitalier. — L'appareil imaginé par M. Hospitalier répond au même but que l'oscillographe et le rhéographe ; il présente une précision moins grande que ses deux aînés, mais il a sur eux l'*immense avantage* qu'il est d'une manutention moins délicate, c'est un véritable appareil industriel, il est destiné à rendre à l'industrie électrique les plus grands services, il doit être recommandé.

Principe. — Le principe réduit à sa plus simple expression est celui-ci : supposons un coupleur rotatif muni de balais en communication avec un condensateur, supposons que pendant nT (T étant la période), le coupleur fasse $(n - 1)$ tour et qu'à chaque tour les balais soient mis en communication (fig. 33) :

Une 1^{re} Fois avec deux points entre lesquels se passe le phénomène périodique, une 2^{me} Fois avec un appareil oscillant amorti enregistreur.

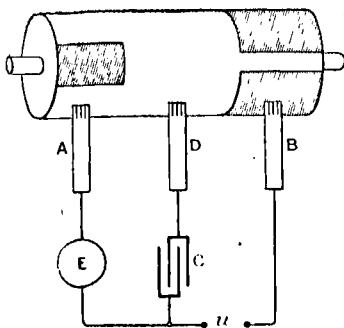


Fig. 33

Dans ces conditions, la décharge dans l'appareil oscillant aura lieu dans des intervalles de temps égaux chacun à $T + \frac{T}{n-1}$, de sorte que si, dans l'intervalle, $nT = (n-1) \left[T + \frac{T}{n-1} \right]$, la forme de la courbe ne change pas et que l'*inertie* et l'*amortissement* du galvanomètre soient réglés convenablement, on tracera sur le cylindre rota-

tif enregistreur une courbe représentative de la fonction périodique. Si l'appareil oscillant est un voltmètre ou un ampèremètre, on pourra tracer les courbes des différences de potentiel ou d'intensité ; en prenant un wattmètre dont le circuit fixe soit traversé constamment par le courant et dont les bornes de l'équipage mobile seraient en communication avec les touches du coupleur, on pourra tracer les courbes de puissance, etc.

En prenant deux appareils enregistreurs, on pourra tracer les courbes de différence de potentiel et de courant et, par un report convenable (qui pourra se réduire à deux calques), on aura le retard des deux phénomènes périodiques.

Il sera utile, pour éviter les déformations, de prendre des aiguilles aussi longues que possible.

Nous laissons à l'auteur lui-même de cet intéressant appareil le soin de le décrire plus amplement (d'après *l'Industrie électrique* du 10 juillet 1901).

« L'ondographe a pour objet d'inscrire ou d'enregistrer *directement*, à l'encre, sur une bande de papier les courbes représentatives d'un phénomène électrique périodiquement et rapidement variables, forces électromotrices, intensités, différences de potentiel, puissance, etc.).

« Il est basé, en principe, sur une combinaison de la méthode par points successifs de M. Joubert, de la méthode stroboscopique et des appareils enregistreurs électriques.

« Il se compose essentiellement :

« 1° D'un *moteur synchrone* à courants alternatifs simples actionné directement, ou après transformation convenable, par la source électrique dont on veut obtenir le tracé des variations périodiques des éléments.

« 2° D'un *train d'engrenages* ayant pour objet d'imprimer à un coupleur ou commutateur une vitesse angulaire telle que, lorsque le moteur a effectué un certain nombre de tours, ce commutateur en effectue un nombre égal (ou un multiple) *augmenté* ou *diminué* de 1. Il est préférable pour que l'inscription de la courbe se trace dans le même sens que l'écoulement du temps, que le coupleur tourne moins vite que le moteur. Ce retard ou cette avance, essentiel au système, évite d'imprimer une rotation réelle aux balais du moteur.

« 3° D'un *coupleur* ou commutateur automatique formé d'un noyau cylindrique en matière isolante portant un tube de cuivre ou de laiton convenablement découpé contre lequel appuient *trois* balais. Cet ensemble a pour objet de mettre un condensateur successivement en connexion avec : *a*) deux points des circuits où se passe le phénomène périodiquement variable à enregistrer ; *b*) un appareil de mesure. Dans la première opération, le condensateur se charge ; il se décharge dans l'appareil de mesure à la seconde opération. Pour le tracé de la puissance, le cou-

pleur se réduit à une simple barre conductrice fermant périodiquement le circuit une fois par tour sur la bobine à fil fin de l'enregistreur par l'intermédiaire de deux balais.

4° D'un *condensateur* dont la capacité peut être constante ou variée à volonté par des fiches, afin de régler la sensibilité de l'appareil.

5° D'un *appareil de mesure* approprié au phénomène à inscrire.

« Dans tous les cas, l'équipage mobile de l'appareil enregistreur reçoit une série d'impulsions dont la fréquence est égale à celle du courant à enregistrer. Il présente une inertie et un amortissement calculés pour que la position du cadre mobile à chaque instant corresponde à celle que lui ferait prendre le courant moyen correspondant à la quantité d'électricité qui le traverse pendant une période.

6° D'un *enregistreur* cylindrique ou continu commandé directement à la vitesse convenable par le moteur synchrone. L'enregistrement peut être quelconque : à la plume, à la roulette, au papier chimique, au papier fumé, etc. Le papier peut être monté sur un cylindre tournant, se dérouler sur des rouleaux, ou se déplacer longitudinalement dans le sens des génératrices d'un cylindre ayant pour axe celui de l'appareil de mesure et pour rayon la distance de la plume à l'axe.

« Dans le modèle définitif actuellement en

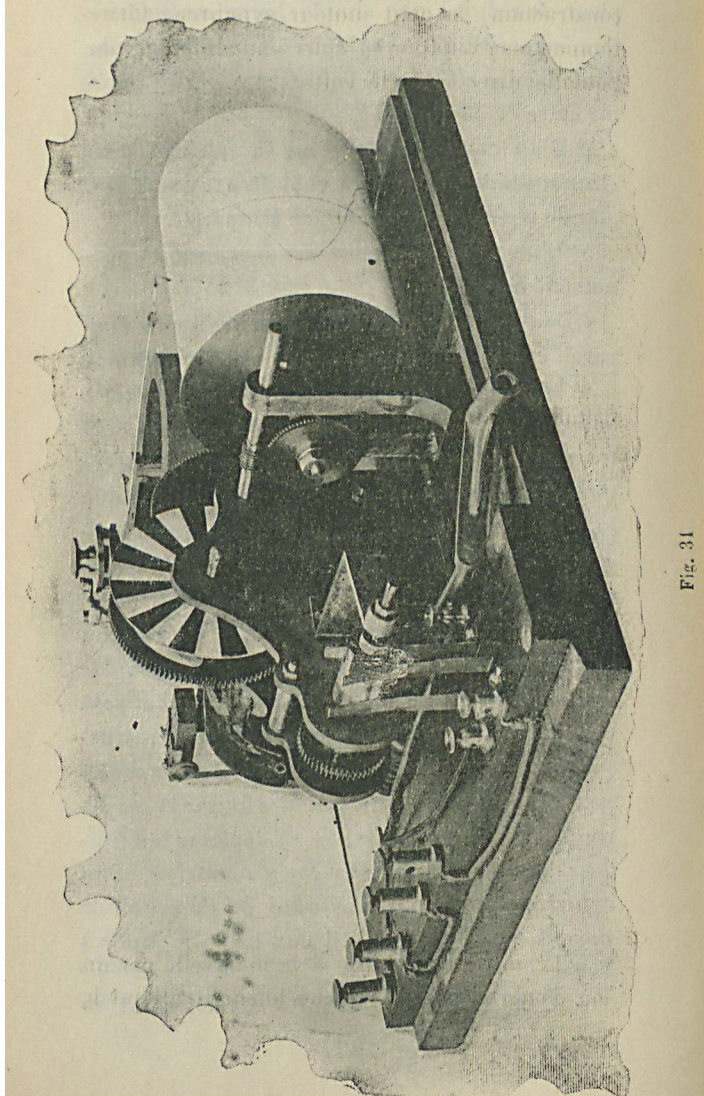


Fig. 34

construction, le petit moteur synchrone fonctionne sans excitation et sous une différence de potentiel directe de 110 volts.

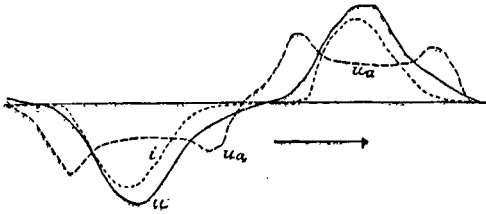


Fig. 35

« La figure représente le premier appareil d'étude construit (fig. 34).

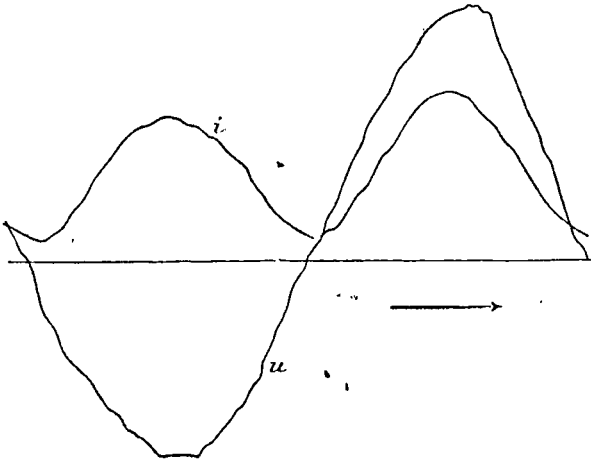


Fig. 36

« Le moteur est lancé à la manivelle par un jeu d'engrenage et accroché lorsqu'il atteint le

synchronisme, en utilisant l'effet stroboscopique, d'arrêt apparent d'un disque portant un nombre convenable de secteurs alternativement blancs et noirs. Après l'accrochage, la manivelle se dégage automatiquement, par un dispositif analogue à celui de la manivelle d'un moteur d'automobile.

« Le moteur commande le commutateur par un jeu convenable d'engrenages combiné de telle façon que, lorsque le moteur a fait n tours, correspondant à n périodes, le commutateur fasse

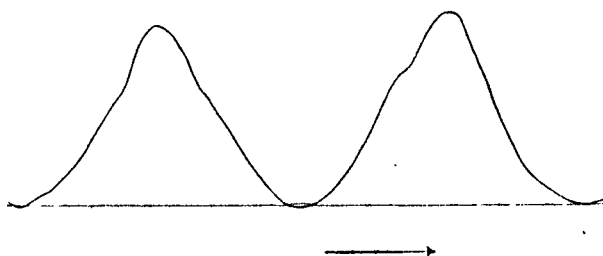


Fig. 37

$(n - 1)$ tours seulement, avec un glissement régulier et uniforme. Le commutateur, monté sur un cylindre en ébonite, ne présente rien de spécial, pas plus que les trois balais qui viennent s'y appliquer.

« Le condensateur peut être quelconque, en papier paraffiné ou en mica, et sa capacité n'a pas besoin d'être exactement connue : il suffit qu'elle reste constante pendant une expérience.

« L'enregistreur est du type bien connu de M. Meylan à aimant normal, ce qui nous dispense de le décrire. Nous dirons seulement à ce sujet que la grande sensibilité de cet appareil, et l'amortissement que lui assure l'intensité du

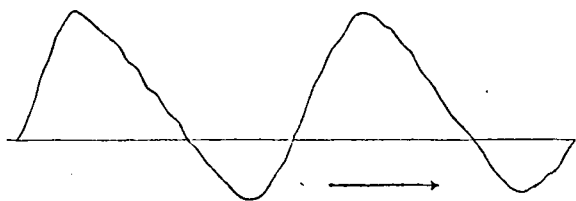


Fig. 38

champ magnétique de son aimant ont permis de réaliser l'ondographe dans les conditions les plus simples, en dispensant de l'emploi de tout amortisseur spécial ».

Pour terminer cette description, nous donnons quelques courbes relevées à l'ondographe (*fig. 35 à 38*).

CHAPITRE IV

—

MESURES MÉCANIQUES ET DIVERSES

Mesure de la vitesse. — Pour mesurer la vitesse de rotation d'un arbre de machine thermique, électrique ou autre, on emploie les *compte-tours* et les tachymètres.

Un compte-tours est un appareil qui indique à l'aide d'une aiguille ou à l'aide de chiffres mobiles le nombre de tours d'un arbre de machine. Il est nécessaire de mesurer le temps pendant lequel se fait la mesure ; comme des glissements sont à craindre, on doit assujettir le pointeau du compte-tours aussi solidement que possible à l'arbre de la machine.

Pour rendre plus rapide la mesure des vitesses, on peut faire usage d'appareils dits tachymètres, dans lesquels la position de l'aiguille est réglée par le déplacement d'un mobile qui s'écarte de l'axe d'autant plus que la vitesse est plus grande. Ces appareils doivent être fréquemment étalonnés.

Quand on veut mesurer la vitesse d'un arbre avec précision, on emploie les méthodes stroboscopiques. Supposons centré et fixé sur l'arbre de la machine un disque de carton noir de 15 à 20 centimètres de rayon muni près de sa péri-

phérie d'une ouverture d'un centimètre de côté ; si un deuxième disque de même diamètre et en tout semblable au précédent est commandé par l'arbre de la machine et fait $(n + 1)$ tours pendant que le précédent fait n tours, il est clair que les ouvertures de ces deux disques ne pourront devenir en juxtaposition que tous les n tours de l'arbre ; il suffit donc de relever par un éclairage convenable cette juxtaposition pour connaître, aidé des indications d'un chronomètre, les vitesses de l'arbre du moteur pendant l'unité de temps.

Essai d'une installation à vapeur. — Beaucoup d'usines électriques (on pourrait dire la plupart) marchent à la vapeur, il est nécessaire de connaître :

1° La valeur intrinsèque des chaudières, soit leur production de *vapeur sèche* par kilogramme de charbon d'un nombre de calories défini (1) ;

2° La valeur de la partie thermique de la machine à vapeur, soit le poids de *vapeur sèche* correspondant à un cheval-heure indiqué aux cylindres de la machine à vapeur ;

3° Le rendement mécanique de la machine à vapeur, c'est-à-dire le rapport entre les chevaux

(1) Prendre, pour les essais, des briquettes marines d'Anzin ou de Vicogne et Nœux ; par kilogramme, on compte sur 8200 calories environ, on pourra d'ailleurs prélever un échantillon du charbon et mesurer le nombre de calories par kilogramme après les essais,

effectifs à la poulie (ou à l'arbre dans le cas d'accouplement direct) et les chevaux indiqués aux cylindres ;

· 4° Les constantes des organismes électriques ; nous étudierons cette partie dans les chapitres suivants.

Essai de chaudière. — Il faut mesurer l'eau consommée ; la première idée est d'employer un compteur, malheureusement la précision des compteurs d'eau est très éloignée de la précision des mesures électriques. Il est préférable de prendre une grande bêche contenant deux mètres cubes, par exemple, et de disposer au-dessus une estrade sur laquelle reposent debout deux à trois tonneaux *tarés* ; des bâtons-bondes permettent de vider les tonneaux dans la bêche. Les pompes alimentaires puisent l'eau dans les bêches. On commence à mesurer l'eau au début de l'opération et il suffira de s'appliquer à ce que les chaudières et la bêche aient le même plein, à la fin de l'opération pour déduire l'eau vaporisée pendant l'expérience.

Pour le charbon, on pèsera le charbon employé *du commencement à la fin de l'opération*, en exigeant que les feux et l'épaisseur de la couche de charbon soient les mêmes *à la fin comme au commencement de l'opération*.

On ne pourra, dans des essais de réception, refuser au chaudronnier constructeur de chaudières, de préparer l'opération et de fournir les

chauffeurs. Bien entendu, le client ou l'expert devra surveiller les opérations.

Pour la mesure de l'eau, si on fait à la fois la réception des générateurs à vapeur, on préposera à la mesure des quantités d'eau un agent du fournisseur des chaudières et un agent du constructeur des machines à vapeur ; les intérêts de ces deux parties étant, en l'espèce, opposés, la surveillance du client réceptionnaire (ou de l'expert) en sera soulagée.

Il sera nécessaire de tenir compte des pertes par purges ou petites fuites fortuites ; les premières seront relevées une ou plusieurs fois pendant l'opération ; il sera tenu compte des deuxièmes en recueillant les fuites dans des baquets convenablement disposés.

On doit faire durer les essais *au moins* six à huit heures sans compter l'heure de fonctionnement à blanc avant l'opération.

On a proposé beaucoup de méthodes pour mesurer la quantité d'eau entraînée, toutes les méthodes sont ou trop peu sûres ou trop délicates pour être exécutées correctement dans des essais complexes où l'attention de l'expert ne doit pas être retenue *spécialement* sur un point au détriment de la surveillance d'ensemble.

Nous donnons à titre de renseignements les procès-verbaux d'essais de vaporisation sur des chaudières *Niclausse* très employées dans divers pays.

RÉSULTATS DES ESSAIS DES 30 ET 31 MARS 1898

(Usine de la Ville de Paris à Colombes)

GÉNÉRATEURS. — Timbre : 12 kilogrammes. Surface de chauffe : 1720 mètres carrés.

	Désignation	Essais du 30	Essais du 31
1.	Durée de l'essai	6 heures	6 heures
2.	Numéros des chaudières	15 et 16	11 et 12
3.	Pression moyenne en kilogramme par centimètre carré	7 500	7 500
4.	Température, eau alimentation	27°C	23°C
5.	Eau évaporée (température précédente)	52 800 lit	42 374 lit
6.	Poids de l'eau vaporisée (température précédente)	52 616 kg	42 269 kg
7.	Eau vaporisée (température de l'eau d'alimentation ramenée à 0°)	50 453 lit	40 533 lit
8.	Poids de l'eau vaporisée (même condition que le 7)	50 455 kg	40 533 kg

9. Charbon brûlé (tout venant)	5 220 ^{kg}	4 375 ^{kg}
10. Surface totale de grille des deux chaudières	7,44 ^{m²}	7,44 ^{m²}
11. Surface totale de chauffe des deux chaudières	264,6 ^{m²}	264,6 ^{m²}
12. Rapport des surfaces précédentes (10° et 11°)	35,56	35,56
13. Charbon brûlé par heure, par mètre carré de surface de grille.	117 ^{kg}	98 ^{kg}
14. Poids d'eau vaporisée par kilogramme de charbon	10, 08	9, 66
15. Poids d'eau vaporisé par { Eau d'alimentation ramenée à 0°.	9, 66	9, 26
kilogramme de charbon. { Eau et vapeur ramenées à 100°	11, 160	10, 750
16. Poids de l'eau vaporisée { Dans les conditions de l'essai	33,14 ^{kg}	26,63 ^{kg}
par heure et par mètre { La température de l'eau d'alimentation		
carré de surface de chauffe. { ramenée à 0°	31, 77	25, 53
17. Poids de l'eau vaporisée { Dans les conditions de l'essai	1178, 7	946, 8
par heure et par mètre { La température de l'eau d'alimentation		
carré de surface de chauffe. { ramenée à 0°	1130	908

Il ressort de ce qui précède que, pendant six heures, deux générateurs ont vaporisé une moyenne de $\frac{50445 + 40325}{2} = 45484$ kilogrammes d'eau ramenée à 0°, soit, pour un générateur et pendant 1 heure $\frac{45485}{2 \times 6} = 3790$ kilogrammes.

Essai de la machine à vapeur. — Pour déterminer le travail produit par la vapeur elle-même, on se sert de l'appareil classique l'*indicateur de Watt* réalisé dans divers pays par les constructeurs (*fig. 39*). Cet appareil se compose d'un petit corps de pompe A que l'on ajuste par une prise spéciale de vapeur sur le cylindre de la machine à vapeur. Dans l'intérieur de ce corps de pompe se meut un piston *p* dont la partie inférieure est soumise à la pression de la vapeur tandis que la partie supérieure est contrebalancée par un ressort taré *avant et après une expérience*, le mouvement du piston est amplifié par un système de deux leviers. Un cylindre E, à axe vertical, est animé d'un mouvement de rotation alternatif correspondant au mouvement de va-et-vient du piston de la machine. Sur ce cylindre est enroulé un papier sur lequel on peut appuyer le stylet B. Dans ces conditions, on voit que le stylet décrira une courbe dont les abscisses seront proportionnelles aux variations de volume de vapeur dans le cylindre de la machine, tandis

que les ordonnées seront proportionnelles aux déplacements du piston p , c'est-à-dire proportionnelles aux pressions de la vapeur.

La *fig. 39* représente un indicateur Richards muni de son réducteur de course R. Pour les machines à très grande vitesse, l'indicateur Thompson est préférable; cet indicateur ne diffère pas,

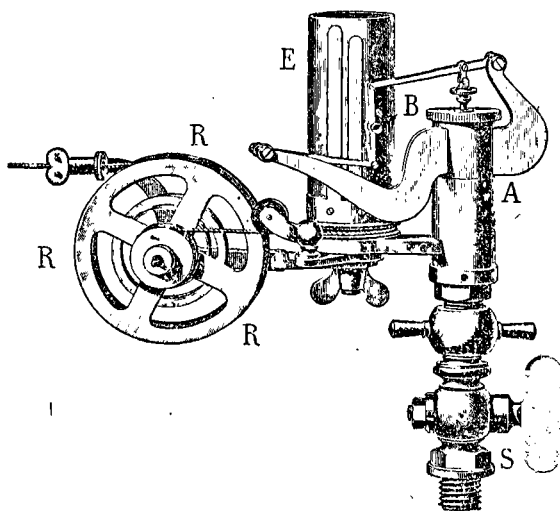


Fig. 39

en principe, des autres indicateurs, seulement la faible masse des parties en mouvement évite les déviations qu'on observe avec les indicateurs lourds sur la ligne vraie de la détente et les ondulations qu'on relève sur le diagramme.

Pour utiliser les appareils de Watt à la mesure

des puissances indiquées d'une machine à vapeur, il faut se munir d'un nombre d'appareils de Watt égal à 2 fois le nombre des cylindres de la machine à vapeur ; il est évident que les ressorts des indicateurs sont choisis dans la collection qui accompagne chaque appareil parmi ceux dont la tare est en rapport avec la tension maxima en jeu dans le cylindre. Il est clair que les indicateurs de Watt ajustés aux cylindres de haute pression et de basse pression d'une machine compound seront *extérieurement identiques*, mais que leur ressort différeront suivant qu'ils seront utilisés à la haute et à la basse pression.

Pour faire un essai, on trace d'abord la ligne des abscisses en appuyant sur le bouton B pendant que la vapeur n'est pas en A, mais que E est en mouvement ; puis on ouvre le robinet S de façon à introduire la vapeur dans A, en appuyant alors sur B, le stylet trace le diagramme sur du papier préparé au blanc de zinc. Il est nécessaire de prendre les diagrammes *en même temps* à tous les indicateurs de Watt. Pour un même cylindre, un seul réducteur de course suffit.

Il est nécessaire de prendre de nombreux diagrammes et de les faire planimétrer par plusieurs opérateurs.

Nous rappelons que le travail indiqué par la détente sur une face du cylindre est donné à chaque cycle par

$$\int p.dv$$

où p est la pression de la vapeur et v , le volume que celle-ci occupe dans le cylindre ; de sorte que la surface des diagrammes est proportionnelle au travail de détente de la vapeur par cycle. Il est donc facile, connaissant la *vitesse* de la machine, la *course* du piston et ses *dimensions*, de déduire la puissance à laquelle travaille la machine. Des précautions sont à prendre, nous les conseillerons succinctement :

1° Plonger, avant de fixer l'indicateur, son cylindre A dans l'eau bouillante.

2° Purger longuement le cylindre A avant chaque relevé.

3° Veiller à ce que la pointe du stilet B ne se fausse ni ne devie pendant l'opération.

Il sera bon de mesurer la dépense d'huile de cylindre et l'huile à mouvement employée dans l'opération.

On ne peut pas refuser évidemment au constructeur de préparer l'essai et de faire conduire sa machine par ses mécaniciens.

Il sera nécessaire, dans bien des cas, d'effectuer des essais de régularité, nous donnons, à titre de renseignement, un *programme d'essais de régularité effectués* sur une machine de 750-1250 chevaux d'une usine de tramways (1).

(1) *Essais de régularité.* — La marche devra être parfaitement régulière dans toutes les conditions de charge correspondant aux différentes puissances indi-

Mesure d'une puissance hydraulique. — Un électricien peut se trouver en présence d'une puissance hydraulique à mesurer, particulièrement dans les deux cas suivants :

a) Pour dresser un avant-projet ou un projet d'utilisation de chute.

b) Pour mesurer le rendement d'une turbine installée.

Dans le premier cas, on établira la valeur du dé-

quées ci-dessus, sans aucune fatigue d'aucun organe pour les plus fortes charges.

La détente devra être réglée par le régulateur de vitesse depuis l'admission 0 jusqu'à l'admission correspondant au moins à 50 centièmes du volume du petit cylindre.

La puissance maxima devra être d'au moins 1250 chevaux indiqués; elle devra pouvoir être soutenue d'une manière continue sans inconvénient pour aucun organe ni pour le fonctionnement général.

L'action de ce régulateur, combinée avec celle du volant devra être suffisamment prompte et efficace pour empêcher tout emballement de la machine au moment d'une complète et subite décharge depuis la charge maxima jusqu'à vide; le dispositif de sécurité indépendant du régulateur ordinaire devra couper l'arrivée de vapeur aussitôt que la vitesse dépassera de plus de 10 % la valeur normale pour laquelle la machine est construite, c'est-à-dire 105 tours par minute.

En cas de brusque décharge, le nombre de tours maximum pendant la période de régularisation ne devra pas dépasser de plus de 6 % la vitesse normale, c'est-à-dire 101 tours par minute.

La machine devra pouvoir marcher à vide avec la vanne d'admission entièrement ouverte et une fois le régime établi, le nombre de tours à vide ne devra pas

bit, si la rivière n'est pas trop large, à l'aide d'un déversoir semblable au modèle représenté par la *fig. 40*. Il suffit de prendre un assemblage solide de planches ayant assez de largeur et assez de longueur, de faire une entaille dans cet assemblage. On taillera le fond et les deux côtés de cette entaille appelée « déversoir », en biseau du côté d'aval jusqu'à 3 millimètres environ en amont de la planche, la crête du déversoir sera conservée parfaitement unie. On fixera, dans le lit du cours d'eau, à une distance de 1^m,50 à 2 mètres en amont du déversoir, un poteau, le sommet de ce poteau étant *au même niveau* que la crête du déversoir. A l'aide d'une équerre, on mesurera la hauteur de l'eau au-dessus de la crête du déversoir, soient *H*, cette hauteur et *L*, la largeur du déversoir, nous aurons, suivant la formule de Poncelet et de Lesbros (*Q* étant le débit en litres par seconde) :

$$Q = \alpha L H \sqrt{2g \cdot H},$$

dépasser de plus de 2 0/0 celui correspondant à la puissance de 800 chevaux indiqués, c'est-à-dire 97 tours par minute.

À charge constante, et pour toutes les valeurs de cette charge comprise entre la puissance nulle et la puissance de 800 chevaux indiqués, l'écart entre les valeurs extrêmes de la vitesse angulaire durant un tour ne devra pas dépasser 0,50 0/0 de la vitesse moyenne durant le tour.

Ces diverses conditions de régularité devront être obtenues aussi bien durant la marche à condensation que durant la marche à échappement libre.

où α a une valeur de 0,41 à 0,39 environ. On se sert ordinairement de tables que nous reproduisons ci-dessous :

Épaisseur d'eau H de la lame déversante (en centimètres) Largeur du réservoir : 1 mètre	Débit en litres à la seconde	Épaisseur d'eau H de la lame déversante (en centimètres) Largeur du déversoir : 1 mètre	Débit en litres à la seconde	Épaisseur d'eau H de la lame déversante (en centimètres) Largeur du déversoir : 1 mètre	Débit en litres à la seconde
5	20	26	226	52	639
6	26	28	253	54	676
7	32	30	280	56	713
8	40	32	309	58	753
9	47	34	338	60	791
10	56	36	368	62	831
12	72	38	399	64	871
14	92	40	431	66	912
16	111	42	463	68	954
18	132	44	497	70	998
20	154	46	531	75	1 105
22	176	48	567	80	1 215
24	202	50	603	100	1 705

Quand la rivière est trop large pour permettre de créer un déversoir provisoire ou que des cas d'espèce vous en empêchent, le problème est plus délicat, il sera utile de mesurer la vitesse avec un flotteur, assez loin du bord, des herbes et des remous ; on recommencera plusieurs fois cette expérience puis on relèvera le profil de la tranche d'eau, avec ces données, on déduira le débit approché de la rivière au point considéré.

L'opérateur risquerait bien des déboires en se

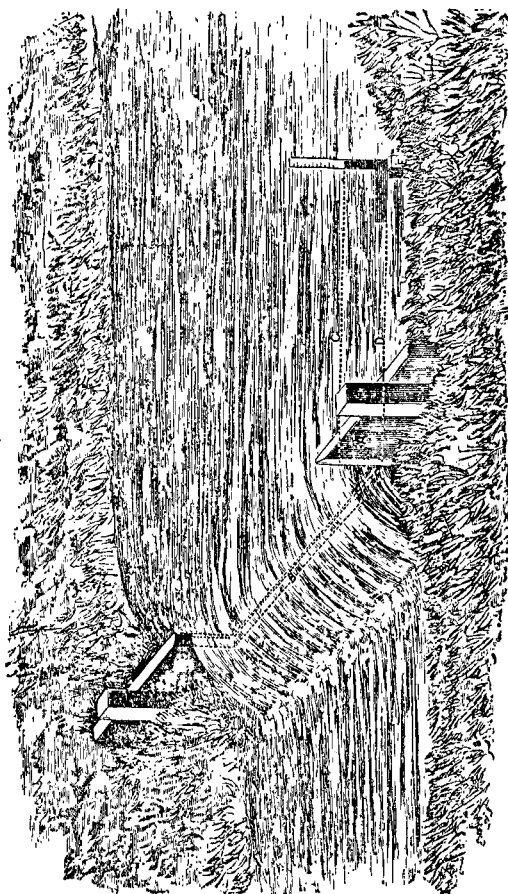


Fig. 40

contentant d'un jaugeage, car toute rivière a un

régime, fonction de la saison et des conditions météorologiques antérieures, il faut étudier un débit au moins une année. Le plus simple, si on opère en France, sera de s'adresser à l'Ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées de la région qui doit posséder en ses archives l'histoire de chaque ruisseau ; il faudra toutefois contrôler, car ces mesures faites par des subalternes prêtent souvent le flanc à la critique.

Pour mesurer la différence de hauteur, on devra, pour un projet définitif, faire les opérations ordinaires sur le terrain ; pour un avant-projet, surtout lorsque la différence de niveau sera importante, et la distance des points amont et aval très grande, on pourra employer un baromètre métallique dont le cadran aura au moins 10 à 15 centimètres de diamètre (1) ; il faudra avoir soin de placer, entre les deux points amont et aval, un baromètre enregistreur Richard servant de témoin pendant l'opération.

Si H est la différence de niveau en mètres, Q , le débit en litres au plus bas étage, la puissance à l'arbre des turbines pourra être prise, *pratiquement*, au nombre P donné par la formule

$$P = \frac{Q \cdot H}{100} .$$

b) Dans le deuxième cas, on pourra mesurer

(1) Avec de tels baromètres, on mesure les différences de niveaux à moins d'un mètre près.

le débit dans le canal de fuite ou dans le canal

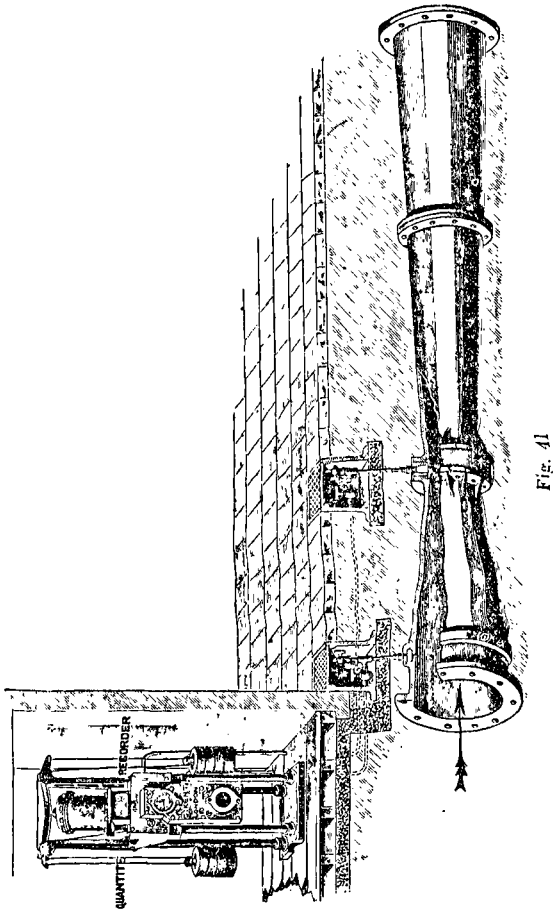


Fig. 41

d'amenée comme il a été dit ci-dessus. Si on

veut, à poste fixe, avoir un moyen de contrôle et de mesure de débit de l'eau arrivant à la turbine, on peut recommander l'emploi du compteur Ventury (1), qui fonctionne sans mécanisme et est très employé en Amérique (fig. 41). Le principe de ce compteur est le suivant : si on intercale en un point d'un tuyau de section S une portion rétrécie de section s , raccordée avec les deux parties du gros tuyau par un ajustage tronconique très continu n'entraînant pas de perte de charge ni de remous appréciable.

Si v est la vitesse dans le tube rétréci, p , la charge piézométrique dans le même tube ; si V est la vitesse dans le gros tube, P , la charge piézométrique dans ce même gros tube, nous aurons, d'après le théorème de Bernouilli (δ étant la densité du liquide) :

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\delta} = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\delta}$$

or, nous avons :

$$Q = V \times S = v \times s,$$

ce qui transforme la formule précédente de la manière suivante :

$$\frac{Q^2}{2g} \left\{ \frac{1}{s^2} - \frac{1}{S^2} \right\} = \frac{1}{\delta} (P - p),$$

(1) VENTURY, physicien italien du XIX^e siècle — Cet appareil est fabriqué en Europe par G. Kent, 198, High Holborn, London, W. C.

d'où

$$Q = K \sqrt{P - p}.$$

Il suffit donc de mesurer les colonnes piézométriques dans la section courante et dans la section réduite pour avoir le débit. L'instrument sera taré par une expérience (1) ; si on dispose des flotteurs sur les colonnes piézométriques, on pourra avoir un compteur *enregistreur*.

Il suffira donc de disposer un étranglement (il devra être *très modéré* et raccordé sans brusquerie) en tête de la conduite forcée pour installer facilement une mesure continue du débit. Cette méthode peut servir à l'évaluation des fournitures d'eau potable dans un réservoir de municipalité ou de collectivité consommante quelconque. Le compteur Ventury est très exact, il est très développé en Amérique, à New-Jersey U. S. A. principalement.

Ce compteur permet de transmettre électriquement à distance les indications du cadran.

Mesure des puissances à la poulie. — Nous ne parlerons qu'à titre d'indications des dynamomètres de transmissions permettant de mesurer directement l'effort transmis par une

(1) Ordinairement les conduites forcées sont précédées d'un canal bien cimenté et propre de section régulière, il est donc facile de déterminer dans ces canaux la vitesse moyenne de déplacement de l'eau et, par suite, le débit. Cette expérience demande un peu de soin.

courroie à une poulie de machine commandée. Nous signalerons au point de vue historique, le modèle de von Heffner-Altenek.

D'après les travaux des ingénieurs Thurston et Dwelshauvers-Dery, les pertes énergétiques dues aux frottements dans une machine à vapeur seraient *sensiblement* constante, quelle que soit la charge ; autrement dit, pour avoir le rendement mécanique à une charge quelconque, il suffirait de mesurer la puissance indiquée P à cette

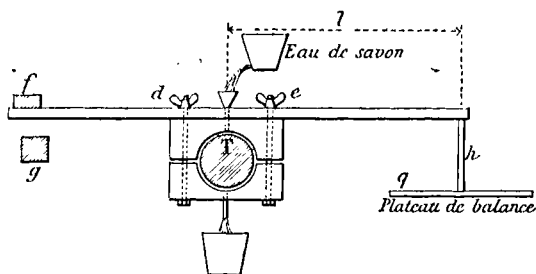


Fig. 42

charge et la puissance indiquée P_v à vide, le rendement mécanique η sera donné sensiblement par la formule.

$$\frac{P - P_v}{P} = \eta.$$

Prony a indiqué une méthode de mesure par le frein ; cette méthode est théoriquement générale pour toutes les échelles de grandeur, toutefois elle exige des précautions très grandes lorsque les puissances à mesurer deviennent impor-

tantes, pour des machines de puissance supérieure à 10^{kw} , nous ne la conseillerons pas; d'ailleurs, à partir de cette puissance, on peut évaluer le rendement d'une dynamo quelconque par des procédés électriques.

Soit T (*fig. 42*), la poulie calée sur l'arbre à laquelle on a appliqué un frein *équilibré*; ce frein peut être plus ou moins serré sur la poulie à l'aide des boulons à oreille *d* et *e* (1); l'eau savonneuse coule par le haut et se répand sur la poulie grâce aux entailles en pattes d'araignée pratiquées à l'intérieur du frein, on voit sur la figure que le frein a une course limitée en chaque sens et ne peut prendre un mouvement de rotation dangereux pour les opérateurs; si P est l'effort sur le plateau de balance, *l*, la longueur du bras de levier, le couple sera (si le centre de gravité du frein est sur l'axe de rotation, ce dont on pourra s'assurer préalablement à l'aide d'un poids *f* convenable)

$$P \times l.$$

La puissance en chevaux pour une vitesse de rotation de *n* tours à la seconde sera

$$C = \frac{P \times l \times n \times 2\pi}{75}.$$

(1) Il sera bon de serrer avec précaution, car les opérations sont délicates sous ce rapport; on se trouvera bien de placer des fusibles sur le circuit d'induit et un interrupteur à portée de la main en cas de calage.

Pour les petits moteurs, on remplacera le frein par une corde dont une extrémité est fixée à une balance dynamométrique et l'autre supportant un petit disque sur lequel on peut fixer des tares en plomb (1).

Dynamomètres de torsion. — La méthode

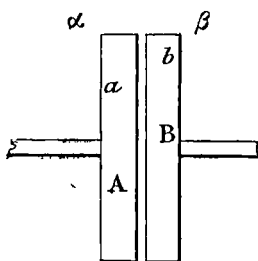


Fig. 43

s suivante est la plus précise. Prenons deux plateaux d'un accouplement Raffard très souple (fig. 43), l'angle de torsion relatif des deux plateaux dépendra de l'effort d'entraînement, on pourra préalablement

à vide tarer cet accouplement.

Ceci posé, plaçons deux contacts électriques a et b sur chaque plateau ; chaque fois que a touchera α , un petit électro-aimant commandant un style fonctionnera et marquera une encoche α sur le papier enroulé autour d'un tambour rotatif enregistreur, de même, lorsque b tou-

(1) Pour les freins ordinaires, il faut que la surface frottante de la poulie T exprimée en mètres carrés soit reliée à la puissance à absorber par la relation

$$S \geq \frac{P}{500} \text{ (lubrification à l'eau légèrement savonneuse)}$$

et

$$S \geq \frac{P}{0} \text{ (pour les petits moteurs, sans lubrification).}$$

chera β , si on enregistre (*fig. 44*, courbe I) parallèlement sur le papier les vibrations d'un diapason dont on connaisse la note, on aura tous les éléments pour calculer le couple d'entraînement.

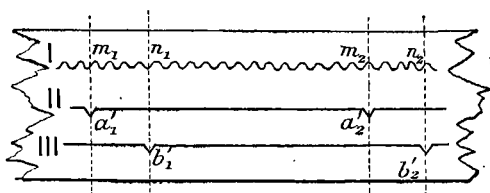


Fig. 44

Ainsi l'angle que font les rayons de plateau passant par a et b est donné sur la figure par le rapport.

$$2\pi \frac{\text{nombre de vibrations entre } m_1 \text{ et } n_1}{\text{nombre de vibrations entre } m_1 \text{ et } m_2}.$$

La vitesse sera déduite du nombre de vibrations comprises entre m_1 et m_2 .

Cette méthode bien disposée permettra de faire des relevés de couples d'entraînement avec beaucoup d'exactitude.

CHAPITRE V

—

MACHINES GÉNÉRATRICES ET MOTRICES A COURANT CONTINU

Les mesures qui peuvent être effectuées sur des machines à courant continu (moteur ou générateur) sont les suivantes :

- a) Détermination de courbes caractéristiques représentatives des variations des divers éléments d'une dynamo ;
- b) Mesures des résistances ohmiques de l'inducteur ou de l'induit ;
- c) Mesures des isolements des diverses parties entre elles ;
- d) Essai de fonctionnement de 10 heures à pleine charge pour vérifier la manière de se comporter des divers organes (échauffement) ;
- e) Essai de rendement et séparation des pertes.

a) **Caractéristiques.** — La première caractéristique que nous indiquerons est la caractéristique à circuit ouvert ; elle s'obtient en faisant tourner la machine à vitesse constante en portant les forces électromotrices en ordonnées et les ampères-tours d'excitation en abscisses ; cette

courbe permet de se rendre compte si les inducteurs ont été bien calculés ; quand on fera varier l'excitation, on aura soin de faire varier *dans le même sens*, on tracera ainsi une courbe montante et descendante.

La deuxième caractéristique intéressante est celle du *fonctionnement en charge*. Pour les dynamos série, elle s'obtient de la manière suivante : la machine tournant à vitesse constante, on porte en ordonnées les différences de potentiel aux bornes et en abscisses les intensités dans le circuit extérieur, la courbe présente alors la forme OA donnée par la *fig. 45* ; si on trace une droite OK telle que la tangente trigonométrique de l'angle qu'elle forme avec l'axe des x soit égale à la résistance totale de l'inducteur et de l'induit,

pour une même valeur de l'intensité I , on aura, pour

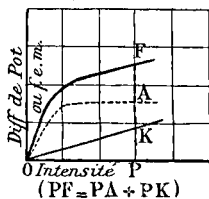


Fig. 45

force électromotrice correspondante, la somme des ordonnées correspondantes de la droite et de la courbe OA déjà tracée, il est donc facile de tracer la courbe OF représentative de la force électromotrice en charge.

Pour les dynamos shunt, on fait encore tourner la machine à vitesse constante, on porte de même que précédemment le voltage lu aux bornes en ordonnées et les intensités de l'utili-

sation en abscisses, on obtient ainsi une courbe de la forme de la *fig. 46* ; si on trace la droite OK faisant avec l'axe des x un angle dont la tangente trigonométrique soit égale à la résistance de l'induit ; la valeur de $\alpha A - PK$ sera la part des pertes de volts due à la réaction d'induit, si on détermine N tel que $PN = \alpha A - PK$, on aura la caractéristique ON de réaction d'induit. Il est nécessaire pour que la machine soit bonne (ayant une bonne auto-régulation) que la courbe

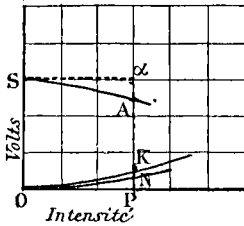


Fig. 46

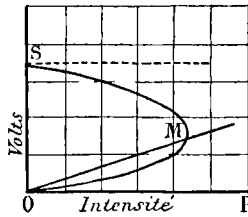


Fig. 47

ON soit très couchée sur l'axe des abscisses. On doit remarquer que, si on joint O à A, on a $\text{tgPOA} =$ résistance de l'utilisation supposée réduite à une résistance, si donc on diminue cette résistance, l'intensité croîtra d'abord, puis en dessous d'une valeur critique égale à tgMOP (*fig. 47*), l'intensité et la différence de potentiel aux bornes diminueront, la machine se désamorcera de plus en plus.

Pour une machine compound, la différence de potentiel doit être constante quelle que soit l'in-

tensité dans l'utilisation, pour une machine hypercompound, la différence de potentiel sera représentée sensiblement par une droite dont la

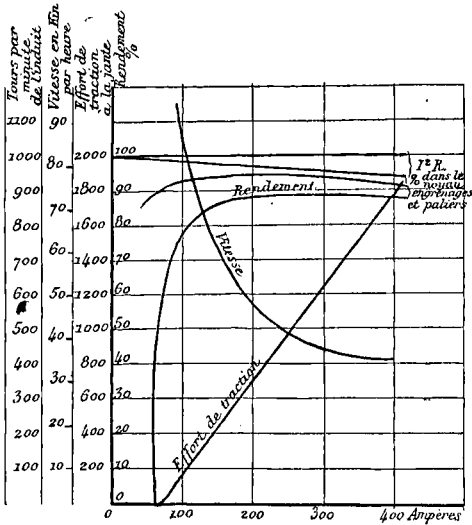


Fig. 48

Voltage normal : 500 à 600 volts

- Diamètre de l'induit : Longueur :
- Nombre de sections : Spires par section : Nombre d'encoches :
- Dimensions des encoches :
- Corne de la pièce poaire :
- Nombre de spires inductrices par circuit :
- Rapport d'engrenages : $\frac{a}{b} = c$. Roue de 1 m. 30.
- Résistance à 75° } de l'induit :
- } des inducteurs :
- } totale :

direction est située dans le premier angle des axes.

D'une façon générale, on peut avoir à déterminer d'autres genres de caractéristiques utiles pour un usage déterminé, nous donnons ici un ensemble de caractéristiques de moteurs de traction (fig. 48). Tout ce qu'il est nécessaire de connaître sur le moteur est indiqué sur ce schéma, toutefois il est utile, pour ce genre d'application, de savoir le nombre d'ampères que le moteur peut supporter sans brûler pendant une heure.

b) La **mesure des résistances des inducteurs** peut être faite, pour les moteurs en dérivation, à l'aide d'un pont de Wheatstone. D'une façon générale, il sera préférable de mesurer cette résistance à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre appropriés en lançant dans l'induit (ou l'inducteur) un courant mesuré et relevant la différence de potentiel aux bornes.

c) La **mesure des isolements** pourra se faire à l'aide d'un ohmmètre Carpentier, Chauvin et Arnoux ou autre; la valeur de l'isolement exigible dépend du voltage de régime et aussi de la puissance de la machine.

d) L'**essai de fonctionnement** est très important, il doit précéder immédiatement l'essai de rendement; il consistera à soumettre la machine au régime maximum normal pendant 10 heures, une des premières conditions que devra remplir la machine sera de ne pas éprouver un échauffement exagéré comme conséquence de l'épreuve. Il est nécessaire de s'étendre à ce sujet :

Qu'est-ce que la température d'un inducteur ?
qu'est-ce que la température d'un induit ?

Sur la définition de cette température, un constructeur médiocre pourra, aux essais, ergoter à perte de vue, et si un procès s'engage, ce ne seront pas les avocats qui mettront sur ce point de technique pure la clarté nécessaire, nous conseillons d'indiquer dans la commande le mode de relevé de la température, en précisant que la température ainsi déterminée sera celle considérée comme exacte *sans discussion par les parties*. Pratiquement, on pourra convenir de mesurer la température de l'induit (ou de l'inducteur) de la manière suivante : après 10 heures (ou au moins 5 heures) de marche pleine, on appliquera sur l'induit (ou l'inducteur) un thermomètre aplati entouré de ouate, on appuyera avec la main couverte d'un gant de peau pour éviter le rayonnement calorifique des doigts, on notera la température de minute en minute ; *par définition*, la plus haute température relevée sera la température de l'induit à la fin de l'opération, elle ne devra pas dépasser la température ambiante de 45° C.

Une autre méthode plus précise en apparence consiste à mesurer la résistance de l'induit au commencement et à la fin de l'opération, si R_x est la résistance à la fin de l'opération, R , la résistance à la température ambiante et α , le coefficient d'accroissement de résistance du cuivre

avec la température, on aura, en appelant x l'excès de température du cuivre du commencement à la fin de l'opération

$$R_x = R(1 + \alpha x);$$

malheureusement, cette méthode ne tient pas compte de la température *maxima* atteinte par le cuivre, la valeur x est une valeur dépendant de l'instant où l'opération a été faite; il faut songer que l'enroulement de l'induit, ventilé pendant la marche, est à une température notablement inférieure à celle que cet enroulement supporte cinq à dix minutes environ après l'arrêt (1), car le fil se met alors au même niveau de température que la masse.

Il est entendu que ces considérations doivent être modifiées dans certains cas, il faudra s'inspirer de toutes les conditions d'espèces en présence desquelles on se trouve. Par exemple, si on était en présence, dans une chaufferie de navires (où la température atteint 40 à 45° et plus), de moteurs électriques conduisant les pompes de service courant ou de secours, il serait nécessaire d'exiger que l'excès de tempéra-

(1) On peut concevoir un induit supportant, sans altération de l'isolement de ses fils, une marche presque indéfinie, mais dont l'isolement serait altéré aux premiers instants de l'arrêt; l'induit, dans ces conditions, brûlerait à la marche prolongée subséquente.

ture sur l'ambiance ne dépassât pas 25 à 30° C (1).

Comme dernier essai d'un moteur ou d'une dynamo génératrice (lorsque le régulateur de la machine à vapeur donne suffisamment de sécurité), nous conseillons l'essai de décharge brusque de la pleine charge au cinquième de charge, il faudra exiger que la machine puisse passer de l'un à l'autre régime sans apparition d'étincelles nuisibles aux balais. Avant de faire cette opération, il sera utile d'avertir le mécanicien de veiller à son moteur.

e) **Essais de rendement et séparation des pertes.** — La première méthode qui se présente à l'esprit consiste à employer pour les moteurs le frein de Prony et pour les génératrices les poulies dynamométriques dont on a parlé à la p. 94; malheureusement ces méthodes ne peuvent être utilisées (à moins de précautions infinies) que pour les petits moteurs ou les petites génératrices. Pour les machines de plus de cinq à dix kilowatts, il est nécessaire de recourir à d'autres méthodes.

(1) Il est quelquefois difficile de définir la puissance normale d'un moteur, le *moteur de traction*, par exemple; pour ce dernier, nous donnons la définition très rationnelle admise par la Compagnie Thomson-Houston: la puissance d'un moteur de traction sera la plus grande puissance à laquelle le moteur pourra fonctionner sans que sa température dépasse, après une heure de marche dans les conditions ordinaires, la température ambiante de 75° C. Les isolants sont prévus en conséquence.

Méthodes basées sur l'accouplement de machines identiques. — Trois méthodes sont fondées sur le même principe suivant : étant données deux machines dynamos A et B en tout *identiques*, si l'une A marche en moteur à *pleine charge* recevant P^{kw} pour en rendre P' à la poulie et que l'autre B marche en génératrice à *pleine charge* absorbant P^{kw} pour en rendre aux balais P'' , on aura

$$(\text{rendement de A}) \eta = \frac{P'}{P^{kw}}$$

$$(\text{rendement de B}) \eta'' = \frac{P''}{P^{kw}}$$

Si les machines A et B sont *de puissance notable et bien construites*, c'est à-dire ayant à *pleine charge un bon rendement diminuant lentement avec la charge*, on aura sensiblement ⁽¹⁾ :

$$\eta = \eta''$$

de sorte que

$$\eta = \text{sensiblement } \sqrt{\eta \cdot \eta''} = \sqrt{\frac{P''}{P^{kw}}}$$

(1) Si le moteur marche au $\frac{104}{100}$ de la charge normale, la génératrice pourra marcher au $\frac{96}{100}$ de cette charge, il est donc certain que η et η'' ne diffèrent pas de $\frac{1}{200}$ environ, surtout si la charge normale correspond au maximum de rendement. D'ailleurs $\sqrt{\eta \times \eta''}$ est une valeur intermédiaire entre η et η'' .

Dans les *trois méthodes* que nous allons décrire, on accouple avec soin mécaniquement (accouplement Raffard) les deux machines A et B ; MM. Cardew et Fontaine fournissent au moteur le courant d'une batterie (ou d'une dynamo) appropriée, ils absorbent l'énergie de la génératrice dans des résistances ; ils mesurent les puissances électriques P'' et P par les moyens déjà décrits. Cette méthode est simple, mais elle exige qu'on ait à sa disposition une somme d'énergie dont la puissance soit comparable à celle qui doit être mesurée.

Procédé de M. Hopkinson. — MM. Hopkinson envoient le courant de la génératrice en réglant les excitations des deux machines, de façon à ce que la force électromotrice du générateur soit plus élevée que celle du moteur. Puis on fournit par une courroie, à la poulie du moteur, la puissance supplémentaire nécessaire à combler les pertes des deux machines, l'accouplement élastique Raffard étalonné en poulie dynamométrique préalablement permettra d'indiquer la puissance $2p$ fournie. Si P est la puissance aux balais,

$$\eta = \sqrt{\frac{P}{P + 2p}}.$$

Cette mesure de $2p$ est assez délicate, il est préférable de modifier la méthode comme lord Raleigh et M. Kapp ont indiqué de le faire.

Procédé de Lord Raleigh et M. Kapp. — Le montage électrique sera le même que le précédent, à cela près que la puissance supplémentaire nécessaire pour compenser les pertes sera fournie, *non mécaniquement*, mais électriquement, par une petite dynamo C convenable en dérivation sur la ligne qui relie les balais des machines à l'épreuve. Il suffira d'agir sur l'exci-

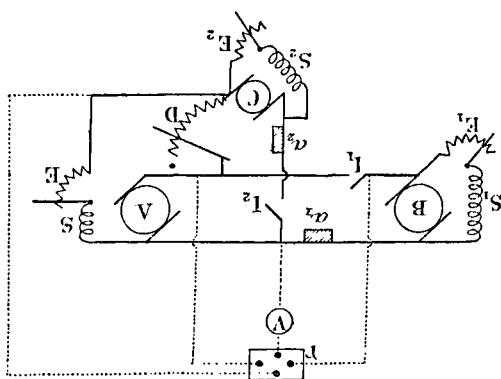


Fig. 49

A, B, C, machines; E, les rhéostats d'excitation; I, les interrupteurs; S, les inducteurs; a, les ampèremètres; V, le voltmètre; D, le rhéostat de démarrage; γ , le commutateur d'ampère-voltmètre.

tation de C, de façon que sa force électromotrice soit également plus élevée que celle du moteur à l'épreuve. Le montage est indiqué schématiquement à la *fig. 49*.

Dans les deux dernières méthodes, il y a des précautions à prendre que nous allons indiquer.

Si les machines sont excitées en série, il est

préférable, pour éviter les fausses manœuvres et leurs conséquences, de disposer l'excitation *indépendante*, il suffira de tenir compte de la puissance fournie à l'excitation dans l'évaluation de P et P'' . Soient p , la puissance fournie pour l'excitation du moteur et p'' , la puissance fournie pour l'excitation de la génératrice, on aura alors pour rendement :

$$\eta = \sqrt{\frac{P'' - p''}{P + p}}.$$

On devra faire toute manœuvre avec soin, nous allons donner quelques détails supplémentaires au sujet de la méthode de Lord Raleigh et M. Kapp, en supposant des machines shunt.

La génératrice B étant séparée électriquement du reste par l'interrupteur J_1 ; on met en route A à l'aide de C en manœuvrant avec prudence le rhéostat de démarrage, surtout si on est en présence d'une machine de grande inertie; on ramène le rhéostat de démarrage D en court-circuit, puis on excite B jusqu'à ce que sa force électromotrice soit *sensiblement* supérieure à celle de A, on ferme J_1 puis on termine le réglage facilement.

Méthode de Swinburne. — Les méthodes précédentes exigent l'emploi de deux machines *identiques en tout*, de plus, elles ne donnent que le rendement à pleine charge, puisqu'il est nécessaire, pour que ces méthodes soient acceptables, que le rendement soit voisin de 1 ou au

moins supérieur à 0.9. M. Swinburne a proposé l'élégante méthode suivante dont nous recommandons l'emploi.

Le principe repose sur deux hypothèses acceptables *en pratique* : 1° L'invariance des pertes quelle que soit la charge par frottement mécanique, hystéreléique et par courant de Foucault pour un flux magnétique constant dans l'induit. 2° Sur l'égalité des rendements à la même charge d'une dynamo fonctionnant comme moteur ou comme générateur. La vitesse étant gardée la même évidemment. Il suffira d'écrire pour une génératrice que la puissance recueillie aux balais est égale au produit par le rendement cherché de la somme formée des termes suivants :

- 1° Puissance recueillie aux balais;
- 2° Pertes ohmiques à chaud dans l'inducteur et dans l'induit;
- 3° Perte par frottements mécaniques, hystéreléiques et par courant de Foucault.

Cette troisième perte sera mesurée en faisant fonctionner la dynamo à vide comme moteur avec le même flux magnétique dans l'induit et la même vitesse.

Nous allons donner un exemple :

Supposons qu'à la vitesse de n tours par seconde, une machine *génératrice* en dérivation donne à ses balais un courant i sous v volts, soient r_1 et r_2 , les résistances de l'induit à chaud

et de l'inducteur à chaud mesurées comme il a été indiqué à la p. 100 ; soit i' , le courant dans l'inducteur, nous aurons, en désignant par p l'ensemble des pertes par frottements mécaniques, par hystérésis et courant de Foucault :

$$\text{rendement } \eta = v \times i \frac{v \times i}{v \times i + r_1 i^2 + r_2 i'^2 + p}.$$

Or, la force électromotrice de la machine est

$$e = v + r_1 i.$$

On excitera alors la machine séparément en envoyant dans les inducteurs un courant tel que la machine *tournant à la même vitesse et fonctionnant comme moteur* produise une même force électromotrice, si i'' est le courant correspondant, et v' , le voltage lu aux bornes, on aura ⁽¹⁾

$$v' = e + r_1 i'';$$

la valeur du rendement est ainsi :

$$\eta = v \times i \frac{v \times i}{v \times i + r_1 i^2 + r_2 i'^2 + e i''}.$$

(1) Ce calibrage exige moins de difficulté qu'on serait tenté de le croire, car i'' et r_1 étant petits, v' diffère très peu de e , de sorte qu'on enverra d'abord un courant sous un voltage e (à travers une résistance de réglage); puis, par l'excitation, on arrive au nombre de tours, enfin on terminera cette première approximation en modifiant légèrement le voltage; de plus, si on ne peut arriver rapidement au nombre de tours précis, on s'en approchera très près, puis on réduira par proportionnalité dans les calculs.

Pour les machines en série, le lecteur fera facilement la transformation.

Discussion. — Dans les conditions de mesure précédemment indiquées, les pertes par hystérésis sont les mêmes à vide qu'en charge, puisqu'on s'est appliqué à avoir dans l'un et l'autre cas le même flux dans l'induit; les pertes par courant de Foucault sont plus élevées en charge qu'à vide à cause de la déformation du champ en charge, déformation rendant les variations de flux moins continues; de plus, la mesure de la résistance de l'induit au repos ne tient pas compte de l'augmentation apparente de résistance due à la mise en court-circuit des spires. En somme, cette mesure donnera des résultats légèrement supérieurs à la réalité ⁽¹⁾ atteignant près de 1 % pour les bonnes machines (90 à 92 %), et plus, pour les mauvaises machines; cette mesure est donc à l'avantage du constructeur. Quand, sur une bonne machine, on fait successivement l'essai par la méthode de Lord Raleigh et par la méthode de Swinburne, on trouve 1 % environ de différence, c'est-à-dire que le rendement par

(1) J'insiste sur ce point : entre un client et un constructeur, il n'est pas nécessaire d'obtenir le résultat *théoriquement exact*, il suffit d'avoir convenu d'un moyen de vérification au moment du marché. Plus ce moyen sera précis, mieux il vaudra, mais son excellence n'est pas indispensable industriellement et commercialement.

la méthode de Swinburne dépasse le nombre trouvé par l'autre méthode de 1 % environ.

Cette méthode n'en est pas moins excellente ; en effet, en supposant que, dans l'évaluation des pertes d'une dynamo de 92 % de rendement, une erreur de 5 % se soit produite, on aurait commis en réalité une erreur sur le rendement de

$$0,08 \times 0,05 = 0,004.$$

Cette erreur est inappréciable industriellement, la méthode de Swinburne permet de mesurer le rendement à diverses charges sans autre mesure supplémentaire. Soit i , le courant de pleine charge, on aura pour la charge correspondant à $\frac{m}{n}$ de la pleine charge, en appelant r'_1 la résistance de l'induit à la température du régime

$$\eta = \frac{v \times i \times \frac{m}{n}}{v \times i \times \frac{m}{n} + r'_1 i^2 \frac{m^2}{n^2} + r_2 i'^2 + p}$$

ou bien

$$\eta = \frac{v \times i}{v \times i + r'_1 i^2 \frac{m}{n} + \frac{n}{m} [r_2 i'^2 + p]}.$$

Application à une génératrice définie par les constantes suivantes :

$v = 110$ volts ; $i = 300$ ampères (pleine charge) ;

$$r_1 = 0,012 \text{ ohm} ; r_2 = 11 \text{ ohms} ; \frac{m}{n} = \frac{1}{3} ;$$

$$i' = \frac{110}{11} = 10 ; p = 450 ;$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{110 \times 300}{110 \times 300 + 0,012 \times 90\,000 + 11 \times 10^2 + 450} = \\ &= \frac{33\,000}{35\,650} = 0,92 ; \end{aligned}$$

au tiers de charge, on aurait eu

$$\eta = \frac{33\,000}{33\,000 + \frac{1\,100}{3} + 3 \times 1\,550} = 86,6.$$

On voit l'utilité d'avoir un *bon rendement* à pleine charge pour une machine, car la courbe de rendement ne restera sensiblement horizontale à partir de la pleine charge qu'à *cette condition* ; le rendement aux charges moyennes devient très rapidement mauvais, si le rendement à charge maxima n'est pas élevé ; il y a plus, quand une machine n'a pas un bon rendement, il est évident que la raison provient de ce que beaucoup d'énergie se perd dans cette machine en échauffement, *au grand préjudice de la dynamo*. Il ne faut donc pas s'arrêter à cette phrase toute faite, qu'on trouvait autrefois dans la bouche de certains électriciens : il importe *avant tout* que la machine dynamo ait un bon fonctionnement, le rendement importe peu ; c'est un contre bon sens, car une machine dynamo ne peut présenter un bon fonctionnement

si son rendement est mauvais ; pour un constructeur, le fait de soutenir, *sauf cas d'espèce*, que le rendement d'une machine est chose secondaire, revient à déclarer que *sa fabrication est médiocre*. D'ailleurs, le fait de choisir entre deux machines de puissance égale, celle qui est le meilleur marché, sans se préoccuper du rendement, dénote une impéritie extrême qui ne peut qu'engendrer des déboires mérités à leur auteur.

Il a été proposé deux méthodes de mesure pour la séparation des pertes, la première est celle de M. Mordey ; cette première méthode procède du principe suivant : la perte par hystérésis est pour une induction magnétique déterminée proportionnelle à la vitesse, de même, les pertes par frottements mécaniques ; les pertes par les courants de Foucault sont proportionnelles au carré de la vitesse. Si on fait tourner la machine à vide, sans aucune excitation, on pourra mesurer, au dynamomètre de torsion, la puissance absorbée par les frottements mécaniques seuls à la vitesse considérée, ou en déduire la puissance absorbée de ce chef à une vitesse quelconque ; puis on excitera séparément la machine de manière à produire le flux normal à travers l'induit, *les balais étant soulevés*, on mesurera les puissances fournies à la poulie dynamométrique à deux vitesses, l'une de 10 % inférieure, l'autre de 10 % supérieure à la vi-

tesse normale; ces deux puissances défalquées des puissances absorbées à ces deux vitesses par les frottements mécaniques (déjà déterminées) donneront deux valeurs P et P' qui satisferont aux relations suivantes, n étant le nombre normal de tours de la machine

$$P = \underbrace{a \times 0,9 \times n}_{\text{hystérésis}} + \underbrace{b \times 0,9^2 \times n^2}_{\text{courant de Foucault}}$$

$$P' = \underbrace{a \times 1,1 \times n}_{\text{hystérésis}} + \underbrace{b \times 1,1^2 \times n^2}_{\text{courant de Foucault}}$$

d'où

$$a = \frac{1,21 P - 0,81 P'}{0,198 n}$$

$$b = \frac{0,9 P' - 0,1 P}{0,198 n^2}$$

Les puissances absorbées par courants de Foucault et hystérésis seront donc, à la vitesse normale

$$C = \frac{0,9 P' - 0,1 P}{0,198}$$

$$H = \frac{1,21 P - 0,81 P'}{0,198}$$

Méthode de M. Housman. — La deuxième méthode pour la séparation des pertes est due à M. Housman ⁽¹⁾, elle est purement électrique, elle est facile et sûre, on ne saurait trop en recommander l'emploi.

⁽¹⁾ *The Electrician*, XXVI, 700, 1891 et *Journal Inst. Electrical Engineers*, XX, 298, 1891.

Les inducteurs de la dynamo sont excités séparément et de façon à créer une induction *magnétique normale* à travers la masse de l'induit (dans des méthodes précédentes, on a vu comment on pouvait arriver à ce résultat, nous n'y reviendrons pas) ; on fait arriver aux balais une différence de potentiel e variable ; en ces conditions, la machine absorbe un courant i dans l'induit et tourne à une vitesse τ/M égale à n , comme on a sensiblement $e = kn$, k étant une constante, on a

$$\begin{aligned} \text{Puissance} &= e \times i = kni = \\ = & \underbrace{bn^2}_{\text{courant de Foucault}} + \underbrace{an}_{\text{hystérésis et frottements mécaniques}} \end{aligned}$$

d'où on tirera

$$i = \frac{b}{k} n + \frac{a}{k} = \frac{b}{k^2} \times e + \frac{a}{k}.$$

Graphiquement, en prenant i pour ordonnée et e pour abscisse, cette équation représente une droite, il suffit donc de deux expériences pour la déterminer ⁽¹⁾.

Soit AM^+ (*fig. 50*), cette droite, on a

$$\text{Pertes par courants de Foucault} = bn^2 = \frac{be}{k^2} \times e.$$

Les pertes sont donc représentées (à l'échelle

⁽¹⁾ Pratiquement, on en fait cinq à six très distancées ; d'ailleurs, les points se placent bien sur la droite.

convenable) par le rectangle ABM_3D .

Pertes par hystérésis $= a \times n = \frac{a}{k} \times \frac{k}{n} = \frac{a}{k} \times e$,

ces pertes sont donc représentées par l'aire (à l'échelle convenable) du rectangle $ABFO$.

Si on désire séparer les pertes par hystérésis des pertes par frottements mécaniques et résistances à l'air, on accouplera mécaniquement

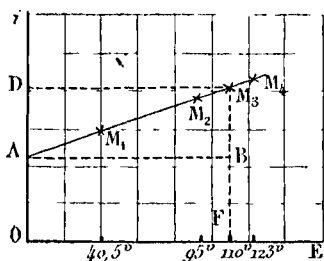


Fig. 50. — Essai d'une machine défectueuse de 67 kw, sous 110 volts.

Aux balais : 67000 w. ;
 Pertes induit : 4430 w. ;
 Pertes inducteurs : 2520 w.
 Courants de Foucault : 2000 w. (!) ;
 Hystérésis { 2550 w. (!)
 Frottements {
 Rendement : 0,852 (mauvais) ;
 Courant d'excitation normal : 22 amp.

deux machines identiques et on recommencera l'expérience d'Housman en laissant le circuit d'excitation ouvert et en levant les balais de la deuxième machine seulement. La droite AM' nouvelle éprouvera un déplacement parallèle-

ment à elle-même dans le sens des ordonnées positives, car on aura intégré les pertes par résistances mécaniques de la deuxième machine.

La méthode de M. Housman nous a servi à étudier une machine défectueuse par suite de l'intensité des courants de Foucault et de l'hystérésis (fig. 50), la valeur considérable des pertes

en courants de Foucault était due à ce que le constructeur avait négligé, entre autres choses, pour des raisons inconnues de tous, de toronner les fils d'induit ; il avait même employé de grosses barres de cuivre. Le résultat de cette omission était un échauffement dangereusement exagéré de l'induit.

Nous ne saurions trop recommander aux opérateurs d'employer de *bons appareils de mesure* et de faire les diverses lectures en même temps, *au commandement* en y mettant beaucoup de soin, c'est le seul procédé pour faire des essais sérieux.



CHAPITRE VI

ESSAIS DES ALTERNATEURS

Les premiers essais consisteront à déterminer les formes des pulsations de courant et de force électromotrice, ils devront être faits au rhéographe ou à l'oscillographe ou, *plus industriellement*, à l'aide de l'ondographe de M. Hospitalier. Il a été dit dans le cours de cet ouvrage, tout ce qui pouvait être dit sur le sujet.

Méthodes générales. — On procédera aux mesures d'isolement, de résistance ohmique des diverses parties de la machine; il n'y a rien à changer à ce qui a été dit pour la même catégorie de mesures dans l'étude des machines à courant continu.

Pour la mesure *de rendement*, on peut employer la méthode directe qui consiste à entraîner l'alternateur (ou le moteur synchrone) par un moteur à courant continu tournant à la même vitesse et dont on connaîtra, pour les avoir mesurées préalablement, les courbes de rendement à divers régimes, ou bien on entraînera l'alternateur par une machine à vapeur après avoir relié

les arbres par un dynamomètre de torsion. Avec les grandes machines à vapeur, on pourra relever la puissance indiquée si le rendement mécanique du moteur est connu, on aura la puissance à la poulie. En mesurant à l'aide de wattmètres (1) la puissance à la sortie de l'alternateur, et en divisant par la puissance fournie à la poulie, on obtiendra le rendement *exact*. Toutefois, cette méthode offre l'inconvénient d'exiger une machine de puissance comparable à celle de l'alternateur et tournant à la vitesse de régime ; on a songé à utiliser des méthodes purement électriques comparables à celles qu'on emploie avec les machines à courant continu. Avant de décrire ces méthodes, nous nous empressons de déclarer qu'elles sont justement sujettes aux critiques.

M. Blondel a indiqué, en 1893, une méthode inspirée de celle d'Hopkinson, pour les dynamos à courant continu, qui a l'avantage de n'exiger qu'une faible puissance mécanique, nous reproduisons *textuellement* la description de cet auteur.

On place (*fig. 51*) les deux dynamos génératrice et réceptrice A_2 et A_1 avec leurs arbres en prolon-

(1) Dans le cas où la tension à l'alternateur (ou au moteur synchrone) serait très élevée, on emploiera pour obtenir le courant traversant l'équipage des petit transformateurs réducteurs de tension de 1 kilowatt environ et de *très faible réluctance*, ces transformateurs fonctionneront à vide.

gement et on embraye ces deux arbres ensemble à l'aide d'un manchon d'accouplement ou d'un dynamomètre de torsion (du genre Mascart, Râteau, Bedell ou autre) dont on peut modifier à volonté le clavetage pour changer l'angle de calage des deux arbres entre eux). Cet angle de calage est connu au repos et il suffit d'ajouter l'angle de torsion pour avoir le calage en marche. On attaque par courroie la poulie d'un des alternateurs relié à l'autre *électriquement et mécani-*

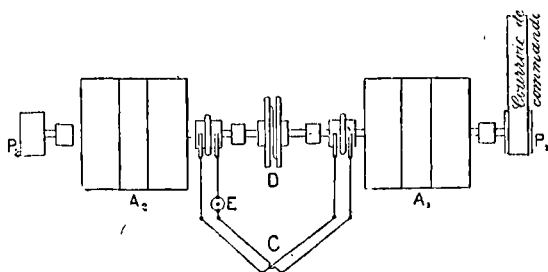


Fig. 51

quement. Cet alternateur attaqué par courroie joue le rôle de réceptrice ; l'autre de génératrice ; le dynamomètre de torsion entre les deux mesures, l'excédent du travail consommé par la génératrice sur le travail récupéré ; le travail fourni à la poulie représente les pertes totales des deux machines fonctionnant en transport de force, on peut en déduire le rendement de ce transport.

Pour chaque angle de calage, on lit les inten-

sités des excitations, l'intensité du courant à l'aide d'un électrodynamomètre E, le voltage aux bornes à l'aide d'un voltmètre et les puissances électriques à l'aide d'un wattmètre.

Pour calculer les pertes par frottement, on entraînera la machine alternative à mesurer à l'aide d'un petit moteur taré à courant continu, sans exciter l'alternateur (1).

Méthodes de Mordey, Ayrton et Sumpner. — Les grands alternateurs, ceux pour lesquels la mesure de rendement est difficile, se composent d'un grand nombre de bobines, autrement dit, un grand alternateur se compose de la réunion de plusieurs alternateurs. L'idée de M. Mordey consiste à faire fonctionner une partie de l'alternateur comme moteur (à l'aide d'un petit générateur auxiliaire) et l'autre comme générateur, de sorte que la différence des puissances reçues et rendues donnera la puissance absorbée par l'ensemble des frottements mécaniques divers, l'hystérésis (?) et les courants de Foucault (?). Les méthodes de MM. Ayrton et Sumpner procèdent d'idées analogues.

M. Blondel, avec beaucoup de raisons, reproche à ces méthodes de ne pas tenir compte de ce fait que la machine ne se trouve plus dans les mêmes conditions de fonctionnement à l'essai et en marche normale; dans ces mé-

(1) Voir plus loin une autre méthode moins précise de M. Blondel.

thodes, pour éviter la dépense d'énergie, on fait marcher les machines presque en court-circuit, ou bien on combine les bobines en produisant des distorsions de flux introuvables en marche normale. Il ne faut pas utiliser ces méthodes.

M. Blondel a proposé une méthode du genre de celle de Swinburne et qui consiste à faire travailler l'alternateur à vide grâce au courant d'un petit alternateur de même fréquence. On dispose de l'excitation de la machine en essai de manière à ce que le courant de l'induit soit égal au courant normal, la valeur de ce courant est lue sur un ampèremètre intercalé dans le circuit. La puissance dépensée est lue au moyen d'un wattmètre intercalé, cette puissance correspond aux pertes intérieures de l'induit (hystérésis, courant de Foucault, frottement). Toutefois, il faut remarquer que le décalage du courant sur la force contre-électromotrice est considérable, de sorte que les maxima du courant ont lieu pour des positions relatives d'inducteur et d'induit différentes suivant qu'on est en fonctionnement normal ou en essai. M. Blondel a signalé une comparaison par lui faite : un même alternateur accusait une perte de 708 watts par la méthode ci-dessus indiquée, tandis que les pertes intérieures de l'induit fournies par la méthode directe accusait 1 000 watts.

Toutefois, quand la méthode directe est impraticable, on aura une première approxima-

tion, suffisante dans bien des cas, à l'aide de la deuxième méthode de M. Blondel.

Mesure de l'impédance d'un alternateur ou d'un moteur synchrone. — M. Behn Eschenburg a indiqué la méthode suivante : Supposons tracée la caractéristique à vide de l'alternateur (*fig. 52*), c'est la courbe obtenue en portant les valeurs du courant d'excitation en abscisses, et les forces électromotrices correspondantes en or-

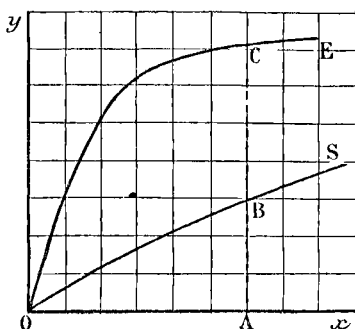


Fig. 52

données ; puis fermons l'alternateur tournant à sa vitesse normale en court-circuit sur un ampèremètre et faisons monter doucement le courant d'excitation, portons en ordonnées les valeurs du courant de court-circuit, nous obtenons ainsi une courbe OS, sensiblement une droite, nous aurons

$$\text{Impédance} = \frac{AC}{AB}.$$

Si R est la résistance intérieure de l'induit, ω la fréquence (mesurée avec un compte-tours), nous aurons

$$\text{Self-induction de l'induit} = \left[\frac{\overline{AC}^2}{\overline{AB}^2} - R^2 \right]^{\frac{1}{2}} \omega^{-1}.$$

Comme $\frac{\overline{AC}}{\overline{AB}}$ n'est pas constant, le coefficient de self varie avec l'excitation.

D'après Kolben, un moteur synchrone peut être considéré comme bon quand, soumis à l'essai ci-dessus, il donne une intensité de court-circuit égale à l'intensité normale de fonctionnement pour une excitation ne fournissant pas plus du tiers du voltage normal pour force électromotrice induite dans la caractéristique à vide. Ce qui peut être affirmé c'est qu'une bonne stabilité de marche ne pouvant être obtenue pour les moteurs synchrones qu'avec de faibles réactions d'induit, un bon moteur synchrone sera défini par une courbe en court-circuit OS rapidement ascendante. L'essai supplémentaire auquel les moteurs synchrones peuvent être soumis consiste à déterminer la courbe en V de ces moteurs (1). La marche d'un essai de ce

(1) Nous rappelons que, pour une même puissance à la poulie, le courant de l'induit (ordonnées) et le courant d'excitation (abscisses), sont liés par une loi représentée graphiquement par une courbe en V, dont la pointe est dirigée vers l'axe des x , pour des excitations inférieures à celles correspondant à la pointe i ,

genre est évident, nous donnons (*fig. 53*) un relevé fait par M. Blondel, sur un moteur synchrone bien étudié du type Labour (Société de l'Éclairage électrique); la *fig. 54* représente les caractéristiques d'un moteur synchrone de 15 chevaux, étudié également par M. Blondel.

Commutatrices. — Au sujet des commutatrices, nous n'avons qu'à faire remarquer que l'essai de rendement se trouve simplifié, puisque ces appareils sont des transformateurs électriques

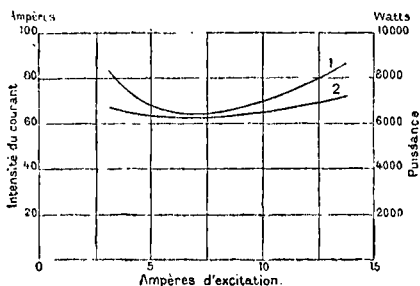


Fig. 53

(non passifs) et qu'il suffira de mesurer au primaire et au secondaire les puissances fournies et réunies pour avoir le rendement. Toutefois, il sera utile de faire des relevés à l'ondographe

le décalage du courant d'induit est en arrière, le décalage du courant d'induit est en avant dans le cas contraire. Autrement dit, pour des excitations inférieures à i , le moteur synchrone se conduit comme une bobine de self, pour des valeurs supérieures à i comme un condensateur.

aussi bien au primaire à courant alternatif qu'au secondaire à courant continu, on pourra aussi essayer si la commutatrice ne se décroche pas (ou ne perturbe pas le réseau continu) au moment des décharges ou des charges brusquement effectuées. On pourra également imaginer des essais pour vérifier l'*auto-régulation* entre une commutatrice et une batterie d'accumula-

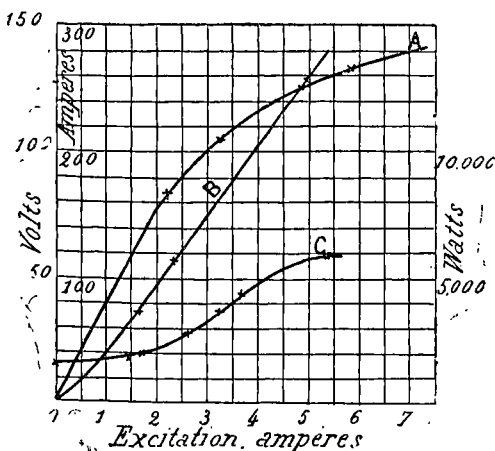


Fig. 54

teurs, entre une commutatrice et un réseau à courant continu desservi directement, etc. Tous ces problèmes constituent autant de questions d'espèce qu'il serait trop long de détailler dans un aide-mémoire.

Avant de terminer ce chapitre, nous devons rappeler qu'on peut avoir à déterminer la valeur

de l'hyperexcitation convenable d'un moteur synchrone placé sur un réseau pour en combattre les effets de self-induction. Également, on peut avoir à étudier avec l'ondographe les effets d'épuration d'harmoniques supérieures qu'un moteur synchrone à *courbe sinusoïdale parfaite* peut apporter à un réseau, comme l'a indiqué M. Pérot (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 6 août 1900).

CHAPITRE VII

—

MOTEURS ASYNCHRONES

Mesures générales. — Pour les mesures d'isolement des diverses parties de la machine entre elles ou entre chacune d'elles et la masse, pour les mesures de résistances ohmiques de diverses parties du moteur asynchrone, nous n'avons rien à changer à ce qui a été dit pour les autres types de machines déjà étudiés.

Les mesures particulières principales sont :

a) Étude du couple de démarrage, intensité du démarrage, perturbation sur le réseau au démarrage.

b) Mesure du rendement.

Étude au démarrage. — Supposons solidaire de l'arbre du moteur un embrayage électrique de Bovet, supposons que, sur une poulie à gorge (folle sur l'arbre quand l'électro-aimant n'est traversé par aucun courant), on fixe un brin de fil d'acier flexible à l'autre extrémité duquel se trouve un plateau pouvant contenir des poids variables; supposons, de plus, que le plateau ne puisse pas dépasser, dans son mouvement pos-

sible de bas en haut, une certaine position verticale sans ouvrir (par déclenchement) l'interrupteur du courant excitateur de l'embrayage ; ceci dit, le procédé pour mesurer le couple de démarrage d'un moteur de puissance quelconque est facile à comprendre : un observateur relèvera à chaque tentative de démarrage le courant fugitif à l'aide d'un ampèremètre *thermique*, le poids P sera augmenté progressivement, on pourra ainsi tracer une caractéristique dont les ordonnées seront les valeurs des couples au démarrage et les abscisses, les courants correspondants. Il faudra pour qu'un moteur soit considéré comme bon que le courant de démarrage correspondant à la valeur du couple moteur à pleine charge ne dépasse pas les $\frac{3}{2}$ du courant normal à pleine charge (1).

Si on désire évaluer les perturbations dans le réseau, il sera aisé de relever à l'ondographe à chaque démarrage les courbes de différences de potentiel et d'intensité.

Mesure de rendement. — On peut employer divers procédés déjà indiqués pour les moteurs de types déjà décrits, tel l'accouplement avec un moteur à courant continu taré. Lorsqu'on se trouvera en présence d'un moteur asynchrone,

(1) Dans les moteurs à cage d'écureuil de M. Boucherot, grâce à l'artifice élégant que cet inventeur emploie au démarrage, on arrive à un résultat plus satisfaisant encore.

dont on aura, par une longue expérience préalable de fonctionnement, vérifié la bonne marche apparente (absence d'échauffement aux paliers), on pourra se rendre compte du rendement de l'*induit considéré seul* en utilisant le théorème suivant, énoncé la première fois par M. Leblanc et facile à démontrer :

Si P est la puissance mécanique fournie par l'induit d'un moteur asynchrone (puissance utile et frottement du palier), p , la perte dans l'induit, ω , la vitesse de rotation du champ d'induction, $d\omega$, la différence entre la vitesse de rotation du champ et la vitesse de rotation de l'induit, on a la relation :

$$\frac{P}{P + p} = \frac{\omega - d\omega}{\omega} \quad \text{ou} \quad \frac{p}{P} = \frac{d\omega}{\omega - d\omega}$$

$d\omega$ est ce qu'on appelle le glissement, on voit que le rapport de la puissance totale fournie par cet incident est égal au rapport du glissement à la vitesse angulaire de l'induit.

Cette mesure n'est pas des plus commodes, car les fluctuations de vitesse du champ tournant rendent ces déterminations difficiles.

Pour calculer le glissement, nous indiquerons deux procédés :

1° Si le moteur n'est pas à cage d'écureuil, il suffira d'intercaler dans le circuit d'une de ses phases de l'induit un ampèremètre du genre de

ceux construits par M. Carpentier (1) il suffira de compter le nombre n d'oscillations complètes de l'aiguille pendant 2 minutes, le glissement sera donné par le nombre $\frac{n}{120}$. M. Guilbert remplace ingénieusement l'ampèremètre par une simple aiguille aimantée qu'il entoure d'une spire d'une phase de l'induit, il suffit de calculer le nombre de tours à la seconde de cette aiguille pour avoir le glissement.

2° Si le moteur est à cage d'écureuil, les méthodes précédentes ne peuvent être appliquées. Nous reproduisons textuellement la méthode indiquée par M. Hospitalier (2), d'après les expériences remarquables du physicien russe, M. A. Samojloff, que nous rappellerons préalablement d'une façon succincte.

« Au cours de recherches expérimentales physiologiques sur les excitations intermittentes de la rétine, M. A. Samojloff a observé que le filament d'une lampe à incandescence traversé par un courant alternatif subit des variations d'éclat dont la fréquence est exactement le double de celle du courant qui le traverse.

« Ces variations, invisibles dans les conditions

(1) L'aiguille est solidaire du noyau de fer doux qui oscille dans le champ complexe formé d'un champ constant dû à un aimant permanent et du champ résultant, d'un solénoïde fixe traversé par le courant.

(2) *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*. Juillet 1901, p. 339 et 340.

ordinaires, sont rendues perceptibles à l'aide d'un artifice très simple, qui consiste à faire tourner un disque formé de secteurs alternativement blancs et noirs devant la lampe à incandescence, et assez près de cette lampe, en augmentant la vitesse angulaire jusqu'au moment où le disque paraît immobile. Cette immobilité apparente résulte des extinctions partielles du filament, extinctions suffisantes pour que les valeurs intermédiaires entre un maximum et un minimum d'éclat disparaissent et fassent paraître les secteurs brillants toujours à la même place.

« La fréquence du courant est égale à la moitié du produit de la vitesse angulaire du disque par le nombre des secteurs blancs répartis à la surface.

« L'expérience est facile à réaliser à l'aide d'un *toton* constitué par un disque de carton de 6 à 8 centimètres de diamètre portant trois secteurs blancs et trois secteurs noirs, monté sur un disque de liège dans lequel est planté un bout d'allumette en bois taillé en pointe. Le *toton* lancé à toute vitesse paraît gris; lorsque la vitesse diminue, les secteurs plus foncés sur un ton plus clair apparaissent, diminuent de vitesse, s'arrêtent un instant et continuent leur rotation accélérée en sens inverse jusqu'à ce que le *toton* reprenne sa teinte grise. Le *toton* constitue ainsi, soit dit en passant, un moyen rapide et économique de

savoir si des lampes à incandescence sont alimentées par des courants continus ou alternatifs.

« En montant un disque de grand diamètre sur un système mécanique permettant de lui imprimer des vitesses angulaires variables, et en dessinant sur ce disque des zones concentriques de 12 à 15 millimètres de largeur chacune, portant des secteurs blancs et noirs égaux en nombre variable pour chaque zone, on obtient des illusions d'optique très curieuses; certaines zones du disque semblent tourner dans un sens, tandis que d'autres zones semblent tourner en sens contraire.

« *L'observation de M. Samojloff permet de déterminer facilement le glissement d'un moteur asynchrone.* A cet effet, on colle sur le bout de l'axe du moteur asynchrone dont on veut déterminer le glissement un disque sur lequel sont tracés des secteurs alternativement blancs et noirs en nombre total double de celui des pôles du moteur, et l'on éclaire ce disque par une lampe à incandescence montée sur le courant alternatif alimentant le moteur.

« Par suite du glissement, les secteurs semblent tourner en sens inverse avec une vitesse angulaire qui représente la différence $d\omega$ ou $(\omega_1 - \omega_2)$ entre la vitesse angulaire ou pulsation du courant ω_1 et la vitesse angulaire réelle ω_2 du rotor. Le coefficient de glissement γ est alors donné

par la formule

$$\gamma = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1}$$

« C'est, en principe, la méthode indiquée par M. Benischke, mais avec l'emploi d'une lampe

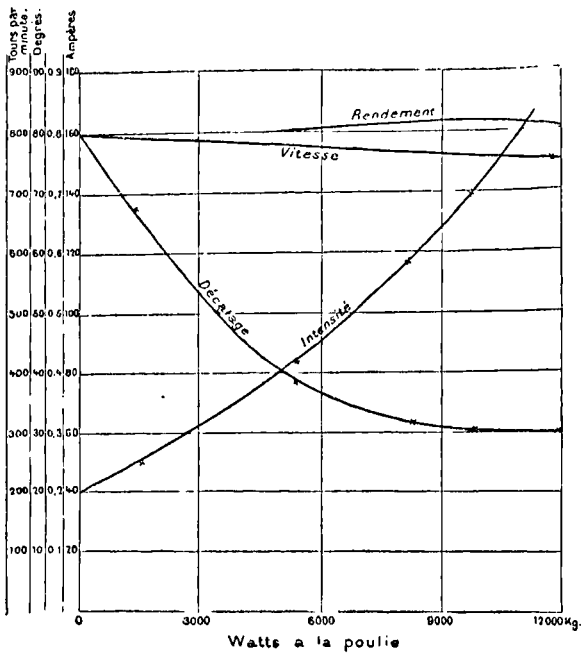


Fig. 75

à incandescence et d'un disque sans perforations, ce qui rend l'expérience des plus simples et des plus rapides.

« Si le bout de l'arbre n'est pas disponible, il suffit de coller sur une partie accessible de l'arbre une bande de papier portant un nombre de génératrices alternativement blanches et noires égal au nombre de pôles du moteur asynchrone ».

Pour la perte par frottements, hystérésis et courants de Foucault dans les inducteurs, on peut l'évaluer d'une manière assez rapprochée par le raisonnement suivant : Dans un moteur asynchrone, comme dans un transformateur, l'induction est presque indépendante de la charge ; pour chaque charge elle est sensiblement égale à celle donnant à vide la force contre-électromotrice $E - RI$. Ainsi si le voltage de marche est 125 volts et que, sous une certaine charge, les fils inducteurs absorbent 3 volts, la perte par frottement, hystérésis et courants de Foucault à ce régime, sera fournie par celle qui est nécessaire pour faire tourner le moteur à vide sous 122 volts. En réalité, c'est une simple approximation souvent suffisante en pratique d'ailleurs.

Nous donnons (*fig. 55*) une caractéristique de moteur asynchrone.

CHAPITRE VIII

TRANSFORMATEURS

En dehors des mesures générales à effectuer sur les appareils électriques (isolement, résistance chimique à chaud, échauffement — après 10 heures, la température ne doit pas dépasser 75° C — relevés ondographiques) il n'y a *industriellement* parlant que deux constantes intéressantes à déterminer pour les transformateurs statiques :

1° Chute de voltage, repérage des fuites magnétiques.

2° Rendement.

Chute de voltage. — Kapp ⁽¹⁾ a indiqué une méthode graphique très élégante permettant de faire ces essais avec une puissance réduite, malheureusement (comme le cas se présente souvent dans les graphiques de courants alternatifs) les grandeurs relatives des vecteurs ne peuvent permettre d'espérer une grande précision, nous ne la citons que pour mémoire.

(1) KAPP. — *Éclairage électrique*, t. III, p. 421 et XVI, p. 419.

On peut faire cette mesure, en employant la méthode suivante (fig. 56) : Prenons deux transformateurs A et B *absolument identiques* et mettons les circuits à haute tension de chacun d'eux en série, ceci fait, envoyons dans le circuit à basse tension de A un courant d'un alternateur S et absorbons l'énergie disponible aux bornes du circuit à basse tension de B ; si

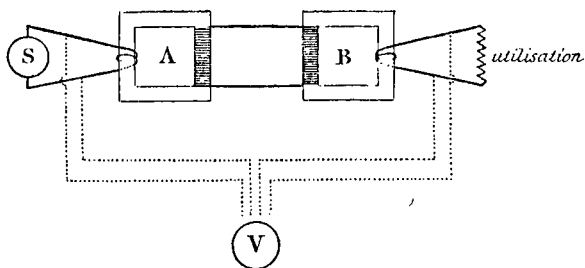


Fig. 56

v_1 est le voltage aux bornes de S et v_2 , le voltage aux bornes de l'utilisation, $\delta_1 = \frac{v_1 - v_2}{v_1 + v_2}$ donne la chute de tension pour la charge considérée, en permutant l'alternateur et l'utilisation, on aura une nouvelle valeur δ_2 , on admettra que la chute de tension à la charge considérée est donnée par $\frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$ pour chaque transformateur.

Le défaut de cette méthode est d'exiger une puissance égale à celle de l'appareil.

Mesure du rendement. — La question a été déjà traitée en partie puisque, pour faire cette mesure, il suffit de mesurer la puissance électrique au primaire, et au secondaire les mesures présentent, en pratique, des difficultés réelles (voir les p. 28 suivantes du présent ouvrage).

La méthode la plus précise serait la méthode calorimétrique, car toutes les pertes se transforment en énergie calorifique.

Autrement, supposons qu'on ait tracé la courbe de rendement, on verra la valeur du courant primaire et celle du courant secondaire correspondant au maximum de rendement; or, comme pour ce maximum de rendement, la perte dans le cuivre est égale à la perte dans le fer ⁽¹⁾, on en déduira facilement la valeur de l'ensemble des pertes p_F par courant de Foucault et par hystérésis (en admettant que ces pertes varient très peu avec la charge). Pour séparer les pertes par courant de Foucault et par hystérésis, il suffira de recommencer les mesures en faisant varier légèrement ω , si toutefois, on est libre

(1) Ceci est facile à démontrer, car soit λ le rapport entre la charge qu'on étudie et la pleine charge W ; les pertes dans le fer étant admises comme invariable,

$$\text{on a rendement} = \frac{\lambda W}{\lambda W + p_{\text{Fer}} + p_{\text{Cu}}} = \frac{\lambda W}{\lambda W + p_F + K\lambda^2},$$

$$\text{ou rendement} = \frac{W}{W + p_{\text{Fer}} + \lambda K} \text{ qui est maximum}$$

pour $p_{\text{Fer}} = K\lambda^2$ c'est-à-dire $p_{\text{Fer}} = p_{\text{Cu}}$.

de le faire, on obtiendra ainsi une nouvelle perte p'_F et on pourra écrire :

$$p_F = \underbrace{a\omega}_{\text{hystérésis}} + \underbrace{b\omega^2}_{\text{courants de Foucault}}$$

$$p'_F = a(\omega + \Delta\omega) + b(\omega + \Delta\omega)^2.$$

De ces équations, on déduira : a et b et par suite la perte $a\omega$ par hystérésis et la perte $b\omega^2$ due aux courants de Foucault.

En pratique, il est préférable d'évaluer séparément les pertes dans le transformateur de la manière suivante : il suffira de connaître les résistances à chaud des enroulements pour déduire

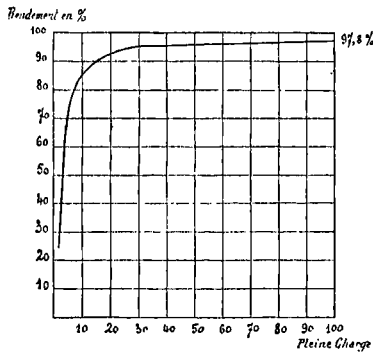


Fig. 57

les pertes ohmiques à tous les régimes et en supposant que les pertes dans le fer sont constantes et indépendantes du régime, il suffira d'évaluer, à l'aide d'un wattmètre, la puissance fournie au

primaire lorsque le secondaire est à circuit ouvert. Cette méthode est l'analogue de la méthode de Swinburne en courant continu. Nous donnons (*fig. 57*) la courbe de rendement d'un transformateur Labour de 25^kw ; les transformateurs de 3 à 5^kw atteignent à pleine charge un rendement de 95 %.

Méthode de Sumpner ⁽¹⁾. — Supposons (*fig. 58*) deux transformateurs identiques P et Q, sauf que le rapport de transformation du second est un peu plus élevé que celui du second, disposons des circuits secondaires et mettons-les en opposition en les reliant par deux lignes

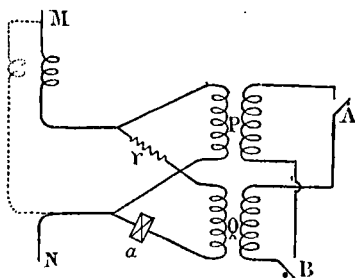


Fig. 58

munies d'interrupteurs A et B, les circuits primaires sont en dérivation sur un circuit d'alimentation, une résistance r et un ampèremètre a ont été intercalés. Ceci fait, la résistance r est réglée jusqu'à ce que l'ampèremètre

(1) *La Lumière électrique*, t. XLV p. 391 et t. XLVI p. 86.

indique la valeur du courant normal ; la puissance indiquée au wattmètre donne le double des pertes dans les transformateurs.

D'autre part, en prenant le montage de la *fig. 58*, on voit que si W_1 est la puissance fournie à A et W_2 la puissance débitée par le transformateur semblable B dans l'utilisation, on aura sensiblement, surtout pour les hautes puissances

$$\text{rendement} = \sqrt{\frac{W_2}{W_1}} = \eta_1.$$

Enfin, il sera nécessaire de soumettre à un potentiel au moins double du potentiel le plus élevé normal successivement toutes les parties non reliées métalliquement entre elles, et ce pendant deux heures au moins.



ANNEXE

—

RÉGLEMENTATION AMÉRICAINE POUR LES ESSAIS DES GÉNÉRATEURS, MOTEURS, TRANSFORMATEURS, ETC.

Nous avons cru devoir terminer ce volume par une traduction un peu résumée de réglementation due à l'*American Institute of Electrical Engineers* et commentée en son temps par la grande revue d'électricité *l'Éclairage Électrique*. On peut adresser à cette réglementation quelques critiques de détail (voir article de M. F. Guilbert, *Éclairage Électrique* du 21 octobre 1899, p. 96 et suivantes, t. XXI); toutefois elle pourra être très utile aux ingénieurs qui auront à dresser des cahiers des charges, elle aidera à faire disparaître de ces cahiers les conditions léonines ou anodines, mais trop souvent... bizarres, qu'on y rencontre. Nous ne saurions trop conseiller la brièveté dans les cahiers des charges, les chicanes devant les tribunaux viennent ordinairement des termes trop dilués de la rédaction; bien des exigences n'auraient pas soulevé de discussion; si le texte confus n'avait pas laissé à une des parties un terrain favorable pour ratiociner des mois entiers. Comme nous l'avons conseillé dans le cours de l'ouvrage, il sera bon de déclarer dans les cahiers des charges que les parties considéreront comme seule exacte la mesure d'une grandeur évaluée suivant une méthode

indiquée explicitement ; autrement dit, *par définition*, le nombre trouvé par la méthode indiquée au cahier des charges sera considéré comme exact, *sans qu'il soit permis d'élever aucune critique sur la valeur même de la méthode.*

Nous faisons également remarquer qu'on abuse étrangement de l'adage : *Les conventions font lois entre les parties.* Ce n'est exact qu'autant que les conventions ne sont pas léonines pour l'une des parties ; en particulier, il faudra s'appliquer à ce qu'un contrat soit synallagmatique, toute clause unilatérale n'est pas évidemment valable et ne fait qu'affaiblir la valeur d'un traité, il faudra donc éviter avec soin les exigences inutiles ou draconiennes, les premières rendent *ridicules* et les secondes sont plutôt nuisibles à celui qui tiendrait à leur observation.

CLASSIFICATION DES APPAREILS

1. Machines à collecteurs. — On entend ainsi les machines ayant un champ magnétique constant et un induit à enroulement fermé connecté à un collecteur ayant un certain nombre de lames. Dans cette classe rentrent : les dynamos et moteurs à courant continu, les survolteurs, les moteurs-générateurs, les dynamoteurs, les convertisseurs à courant continu et les machines pour arcs à induit fermé.

Lorsque le survolteur est conduit par un moteur électrique, on le désigne sous le nom de moteur-survolteur. Le moteur transformateur comprend un champ magnétique et deux induits ou un seul induit avec deux enroulements distincts.

2. Machines synchrones. — Elles comportent un champ magnétique constant et un induit recevant ou fournissant des courants alternatifs de fréquence déterminée par la vitesse de la machine, c'est-à-dire ayant une fréquence égale au produit du nombre de paires de pôles et du nombre de tours par seconde.

3. Machines synchrones avec collecteurs. —

Dans cette catégorie se classent des convertisseurs synchrones, c'est-à-dire les transformateurs de courants alternatifs en courant continu, et vice-versa, les génératrices simultanées de courant continu et courants alternatifs ou génératrices polymorphiques.

Le convertisseur est un appareil rotatif transformant l'énergie électrique d'une certaine forme en une autre forme sans passer par l'intermédiaire de l'énergie mécanique. Un convertisseur peut être, soit un convertisseur à courant continu transformant un courant continu en un autre courant continu, soit un convertisseur synchrone, plus communément appelé commutatrice en français et « rotary converter » en anglais, et transformant les courants alternatifs en courant continu ou *vice-versa*.

Les convertisseurs de phase transforment un système de courants alternatifs d'une certaine fréquence en un autre de même fréquence, mais de phase différente. Les convertisseurs de fréquence transforment un système de courants alternatifs d'une certaine fréquence en un autre système de fréquence différente avec ou sans changement de phase.

4. Machines à courant redressé. — Ces machines produisent un courant de même sens variant périodiquement.

5. Appareils fixes d'induction. — Ce sont les appareils fixes transformant l'énergie électrique d'une forme en une autre forme sans passer par l'intermédiaire de l'énergie mécanique. Ils comprennent :

a) Transformateurs, ou appareils d'induction fixes dans lesquels les enroulements primaire et secondaire sont isolés électriquement l'un de l'autre ;

b) Auto-transformateurs, communément appelés compensateurs, c'est-à-dire appareils d'induction fixes dans lesquels une partie de l'enroulement primaire est employée comme enroulement secondaire ou *vice-versa*.

c) Régulateurs de tension ou appareil d'induction

fixes ayant un enroulement en dérivation et un en série avec le circuit et disposés de telle façon que le rapport de transformation entre eux puisse être variable à volonté.

Les régulateurs de tension se divisent en :

1° Régulateur de tension compensateur, dans lequel le nombre de spires de l'une des bobines est variable ;

2° Régulateur de tension à induction mutuelle variable dans lequel la position relative des enroulements primaire et secondaire peut varier ;

3° Régulateur magnétique de tension dans lequel la direction du flux magnétique par rapport aux bobines est variable.

d) Bobine de self-induction ou de réactance, c'est-à-dire appareil d'induction fixe employé comme impédance ou pour produire un décalage de phase.

6. Appareils d'induction mobiles. — Ils consistent en un circuit primaire et en un circuit secondaire tournant l'un par rapport à l'autre. Ils comprennent :

a) Moteur d'induction ; b) Générateur d'induction ; c) Transformateur de fréquence ; d) Transformateur de phase.

RENDEMENT

Le rendement d'un appareil est le rapport de la puissance utilisée à la puissance totale que cet appareil reçoit (1). La puissance électrique est mesurée aux bornes même de l'appareil.

Dans la détermination du rendement d'un appareil à courants alternatifs, la puissance électrique sera me-

(1) Une exception est à noter en ce qui concerne les batteries d'accumulateurs ou les appareils à accumulation d'énergie en général pour lesquels le rendement, à moins de définition spéciale, doit être compris comme étant le rapport entre celle débitée par la batterie et celle qui lui a été fournie pour la charge.

surée lorsque le courant sera en coïncidence de phase avec la différence de potentiel, à moins d'autres spécifications et excepté lorsque l'appareil comporte une différence de phase inhérente, comme par exemple s'il s'agit d'un moteur d'induction.

Les puissances mécaniques des machines seront mesurées à la poulie, aux engrenages ou aux appareils d'accouplement, de façon à en exclure les pertes dues à la poulie, aux engrenages et aux appareils d'accouplement, mais à comprendre celles dues aux frottements et à la ventilation.

Les pertes par frottement et par ventilation peuvent être considérées comme indépendantes de la charge. Les pertes de travail dans les courroies et l'accroissement des pertes par frottement qui en résultent dans les coussinets seront exclus.

Toutefois, lorsqu'une machine est montée sur l'arbre même du moteur qui l'entraîne, les pertes par frottement et par ventilation qui, par définition même du rendement, devraient être comprises dans la puissance fournie à l'appareil, seront *exclus* par suite de l'impossibilité de les mesurer avec une exactitude suffisante.

Lorsque la machine a un appareil électrique auxiliaire, telle qu'une excitatrice, les pertes de puissance dans l'appareil auxiliaire ne sont pas imputées à la machine, mais à l'ensemble complet de la machine et de l'excitatrice. Le rendement de l'ensemble dans ce cas sera distingué du rendement de la machine proprement dite.

Le rendement peut être déterminé en mesurant toutes les pertes individuellement et en ajoutant ou en soustrayant ensuite leur somme à la puissance fournie ou reçue par l'appareil. Toutes les pertes doivent être mesurées à la température correspondant au fonctionnement normal ou ramenées ensuite à cette température (voir les règles sur la surélévation de température).

L'application des règles précédentes aux différents genres de machines peut être faite comme il suit :

4: Machines à collecteurs. — Dans ces machines, les pertes se décomposent ainsi :

a) Pertes par frottement dans les coussinets et par ventilation ;

b) Pertes par hystérésis et par courants de Foucault dans le fer et dans le cuivre.

Ces pertes seront déterminées avec la machine à circuit ouvert et avec une tension égale au voltage normal, augmentée ou diminuée, de la perte ohmique $r I$ (r étant la résistance interne de l'armature et I , le courant à pleine charge), suivant qu'il s'agit d'une génératrice ou d'un moteur. Il importe que la vitesse et la tension soient bien celles considérées, car ces pertes ne sont pas pratiquement proportionnelles à la vitesse ni fonction d'une puissance bien définie de la tension.

c) Pertes dans la résistance de l'induit $r'I^2$ (r' étant la résistance entre balais, non comprises les résistances des balais et des contacts de ceux-ci) ;

d) Pertes par frottement des balais ;

e) Pertes dans les résistances de contact des balais. Il est bon de remarquer qu'avec des *balais en charbon*, les pertes d et e sont assez grandes dans les machines à basse tension ;

f) Pertes dans le circuit d'excitation. Lorsque la machine est excitée séparément, les pertes de puissance dans l'enroulement inducteur sont seules à considérer, mais si l'inducteur est en dérivation aux bornes de la machine ou en série avec celle-ci, les pertes dans le rhéostat de champ doivent être comprises dans les pertes d'excitation, ce rhéostat étant considéré comme une partie essentielle de la machine et non comme un appareil auxiliaire.

Les pertes b) et c) sont désignées sous le nom des pertes de l'induit, d) et e) sous le nom de pertes du collecteur et f) sous le nom de pertes dans l'inducteur.

La différence entre les pertes totales réelles en charge et la somme des pertes définies plus haut peut être considérée comme les pertes dues à la charge ;

elles sont généralement petites dans les machines à commutation ayant une faible distorsion du champ magnétique. Lorsque la distorsion du champ est assez grande, ce qui a pour conséquence d'exiger un déplacement des balais entre la marche à vide et la pleine charge, ou lorsque la charge varie, ces pertes dues à la charge peuvent être assez grandes et doivent être prises en considération. Dans ce cas, le rendement peut être déterminé soit en mesurant les puissances fournies et reçues, soit en estimant les pertes supplémentaires dues à la charge par la méthode du § 2.

Les survolteurs seront considérés et traités comme machines à commutation en ce qui concerne les pertes.

Dans les moteurs-générateurs, les dynamoteurs et les convertisseurs, le rendement est le rapport de la puissance fournie à la puissance totale reçue.

2. Machines synchrones. — Avec ces machines, on mesurera les puissances fournies et reçues lorsque le courant est en phase avec la tension, à moins de convention contraire. Par suite de l'incertitude où l'on est d'évaluer avec une approximation suffisante les pertes dues à la charge, il est toujours préférable, lorsque cela est possible, pour déterminer le rendement des machines synchrones, de mesurer les puissances fournies et reçues.

Les pertes dans les machines synchrones sont :

a) Pertes par frottement dans les coussinets et par ventilation ;

b) Pertes par hystérésis et par courants de Foucault dans le fer, le cuivre et les autres parties métalliques. Ces pertes seront déterminées à circuit ouvert, à la vitesse et à la tension convenable, c'est-à-dire à la tension normale aux bornes augmentée ou diminuée de la perte ohmique rI . Il importe de faire ces mesures à la vitesse et à la tension indiquées.

Ces pertes peuvent être déterminées soit, en entraînant la machine avec un moteur, soit en l'alimentant comme moteur synchrone, en ajustant l'excitation

de façon à avoir un courant minimum dans l'induit et en mesurant au wattmètre la puissance fournie. La première méthode est préférable car, avec les machines à courants polyphasés, la seconde est susceptible de donner lieu à des erreurs résultant de l'inégalité des courants dans les différents circuits par suite de la différence des résistances apparentes des conducteurs, etc.

c) Pertes dans l'enroulement induit. Elles sont : $p \cdot I^2$, p étant le nombre de circuit, r , la résistance de chaque circuit et I , le courant le traversant ;

d) Pertes dues à la charge (définies comme dans la section précédente). Bien que ces pertes ne puissent être déterminées individuellement, elles peuvent être considérables et avoir, par suite, une influence sérieuse qu'il est important d'évaluer.

Ceci peut être établi en faisant fonctionner la machine en court-circuit et avec le courant de pleine charge ; on obtient ainsi ce qu'on désignera sous le nom de pertes dans le fer, puis le court-circuit. Par suite de la faible valeur du champ et du grand décalage du courant qui existe dans ce cas, les pertes ainsi obtenues et prises comme pertes dues à la charge sont grandement exagérées.

Le tiers des pertes dans le fer pour le court-circuit peut, en première approximation, et en l'absence de toute autre indication plus exacte, être pris pour les pertes dues à la charge.

e) Pertes par frottement sur les bagues. Ces pertes sont généralement négligeables, sauf pour le cas des machines à très faible tension ;

f) Pertes dans les inducteurs. Si la machine est excitée séparément, les pertes rI^2 de l'enroulement inducteur sont seules à considérer. Dans les machines auto-excitatrices, les pertes dans le rhéostat du champ seront ajoutées à celles de l'excitation seule.

3. Machines synchrones à collecteurs. — Dans les convertisseurs synchrones, la puissance du côté du courant alternatif sera mesurée lorsque le courant

sera en phase avec la différence de potentiel aux bornes, à moins de convention contraire.

Dans les génératrices à courants continu et alternatifs simultanés, le rendement de la machine sera déterminé comme celui d'une génératrice à courant continu ou d'un alternateur. Comme ces deux rendements seront, en général, différents, ils seront nettement distingués.

Les pertes dans les convertisseurs synchrones seront déterminées en entraînant la machine à l'aide d'un moteur; ces pertes sont :

- a) Pertes par frottement et par ventilation ;
- b) Pertes par hystérésis et par courants parasites dans le fer, dans le cuivre et dans les autres parties métalliques.

Les pertes seront déterminées à circuit ouvert et pour le voltage normal, aucune chute de tension dans l'enroulement induit n'ayant à intervenir puisque les courants alternatifs et continu circulent en sens contraire ;

c) Pertes dans l'enroulement induit. Elles sont qI^2 ; où I est le courant continu fourni par l'induit, r , la résistance de l'induit prise du côté du courant continu et q , un facteur qui est égal à 1,37 pour les convertisseurs à courant alternatif simple, à 0,56 pour ceux à trois phases, à 0,37 pour ceux à quatre et enfin à 0,26 pour ceux à six phases ;

d) Pertes dues à la charge. Elles seront déterminées comme plus haut en opérant du côté du continu ;

e) et f) Pertes du collecteur et des bagues de frottement ainsi que celles dues à la résistance de contact des balais, comme plus haut ;

g) Pertes d'excitation. Dans les convertisseurs excités séparément, la perte rI^2 dans les enroulements inducteurs seuls est prise en considération. Avec des inducteurs shunt ou série les pertes dans les rhéostats de champ entreront en ligne de compte, excepté lorsque les champs et les rhéostats sont modifiés avec intention pour produire des effets extérieurs et en

dehors de la transformation de l'énergie, comme par exemple, pour produire un décalage de phase. Dans ce cas, un quart des pertes rI^2 dans les enroulements inducteurs proprement dits et correspondant à un circuit à courants alternatifs sans induction sera ajouté aux premières comme la plus légitime estimation pour les pertes normales du rhéostat.

Lorsque l'on a à mesurer le rendement de deux machines identiques, on peut déterminer celui-ci en faisant fonctionner l'une des machines comme convertisseur de courant continu en courants alternatifs, et l'autre comme convertisseur de courants alternatifs en continu, en connectant ensemble les deux machines par leurs circuits à courants alternatifs et en mesurant la différence entre la puissance continue fournie à la première machine et celle débitée par la seconde. On peut modifier cette méthode en renvoyant la puissance débitée par la seconde machine à travers deux survolteurs à la première machine et en mesurant les pertes. Une autre modification consiste à faire fournir les pertes par un alternateur branché entre les deux machines et en employant des régulateurs de tension.

4. Machines à courant redressé. — Cette classe comprend : les machines à arcs induit ouvert et les redresseurs de courant à courant constant (rectifieurs).

Les pertes dans les machines à induit ouvert sont les mêmes que celles dans les machines à collecteurs à induits fermés. Dans les redresseurs de courant alternatif, la puissance sera mesurée à l'aide d'un wattmètre ou bien d'un ampèremètre et d'un voltmètre, puis-que par suite des pulsations du courant et de la tension une différence considérable peut exister entre les watts et les volts-ampères, différence qui peut atteindre 10 à 15 %.

Dans les redresseurs à courant constant, transformant un courant alternatif à potentiel constant en un courant continu constant au moyen d'un transformateur à courant constant et d'un commutateur-redres-

seur, les pertes dans le transformateur doivent entrer dans la détermination du rendement et doivent être mesurées pendant le fonctionnement du redresseur, puisque, dans ce cas, les pertes sont généralement plus grandes que lorsque ce transformateur alimente un circuit secondaire à courant alternatif.

Dans les transformateurs à courant constant les pertes dues à la charge sont généralement plus grandes que dans un transformateur à potentiel constant et par suite ne peuvent être négligées.

La méthode la plus rigoureuse pour déterminer le rendement d'un redresseur à courant constant est de mesurer les puissances électriques fournies et reçues au wattmètre. La puissance fournie n'est pas généralement non-inductive par suite d'un déplacement de phase assez grand et de la déformation de la courbe périodique. Pour cette raison, le rendement apparent sera aussi considéré, car il est en pratique plus faible que le vrai rendement.

La puissance consommée par le moteur synchrone ou autre appareil conduisant le redresseur doit être comprise dans la puissance fournie.

5. Appareil d'induction fixe. — Comme le rendement d'un appareil d'induction dépend de la forme de la courbe périodique de la tension, il devra se rapporter à une tension sinusoïdale à moins de spécification contraire. Le rendement sera mesuré avec une charge non-inductive et à la fréquence normale, à moins d'autre convention. Les pertes sont :

a) Pertes par hystérésis et courants de Foucault dans le fer mesurées à induit secondaire ouvert et au voltage normal diminué de la perte ohmique rI dans le primaire, r étant la résistance du circuit primaire et I le courant normal primaire ;

b) Pertes dans les enroulements. C'est la somme des rI^2 des deux circuits primaire et secondaire ou des deux sections de l'enroulement dans un compensateur ou auto-transformateur.

c) Pertes dues à la charge. Ce sont les pertes par

courants de Foucault dans le fer et spécialement dans le cuivre, produites par les courants primaire et secondaire. Ces pertes se mesurent en court-circuitant le secondaire du transformateur et en réglant la tension aux bornes de façon à obtenir dans le secondaire un courant égal au courant normal ou de pleine charge. Les pertes dans le transformateur dans ces conditions et mesurées au wattmètre donnent la somme des pertes dues à la charge et des pertes rI^2 dans les enroulements :

d) Pertes dues aux dispositifs employés pour le refroidissement, c'est-à-dire puissance consommée par les ventilateurs ou pour les moteurs conduisant des pompes de circulation d'huile ou d'eau. Lorsqu'un même appareil sert au refroidissement de plusieurs transformateurs, on devra servir plusieurs transformateurs, la puissance absorbée sera répartie sur les pertes de tous les appareils à refroidir.

Dans les régulateurs de tension, le rendement sera pris au maximum de voltage pour lequel l'appareil est établi, et avec charge non-inductive à moins de convention contraire.

6. Appareils d'induction mobiles. — Par suite de l'existence de pertes dues à la charge et puisque l'induction spécifique dans les moteurs d'induction sous charge varie suivant une loi complexe, le rendement de ces appareils sera déterminé en mesurant la puissance fournie au wattmètre et le travail produit sur la poulie, sur les engrenages ou sur l'appareil d'accouplement.

Le rendement sera déterminé à la fréquence normale et le moteur alimenté avec une tension sinusoïdale.

Le rendement peut être calculé d'après la puissance apparente reçue, le facteur de puissance et le travail fournis.

La même règle s'applique aux générateurs d'induction. Comme un décalage de phase est inhérent aux machines d'induction, leur rendement apparent est aussi important à connaître.

Dans les transformateurs de fréquence et dans les transformateurs de phase, le rendement sera déterminé par la mesure simultanée des puissances reçue et fournie.

7. Lignes. — Le rendement d'une ligne de transmission sera mesuré avec une charge non-inductive à l'extrémité de la ligne et avec la différence de potentiel normale à cette extrémité. La fréquence sera celle spécifiée et la tension du courant d'alimentation sera sinusoïdale à moins de convention contraire et avec l'exclusion de transformateurs ou autres appareils aux extrémités de la ligne.

SURÉLEVATION DE TEMPÉRATURE

En service régulier la température d'un appareil électrique ne doit jamais atteindre une valeur à laquelle les matières isolantes pourraient se détériorer.

La surélévation de température devra s'exprimer en admettant que la température de la salle des machines est de 25° à la pression barométrique de 760 millimètres et dans les conditions normales de ventilation, c'est-à-dire que les appareils en essais ne seront ni placés dans un courant d'air, ni enfermés, excepté naturellement le cas où l'une de ces conditions sera spécifiée.

Si la température de la salle diffère de 25° pendant la durée des essais, la température observée sera corrigée à raison d'un demi p. 0/0 par degré (1). Ainsi pour une température de 35° de la salle des machines, la surélévation de température observée devra être diminuée de 5 0/0 ; de même si la température n'est que de 15°, la surélévation de température observée sera augmentée de 5 0/0.

(1) Cette correction est destinée à compenser, autant que cela est praticable, l'erreur résultant de l'hypothèse que le coefficient de température du cuivre reste constant même lorsqu'il est pris à des températures initiales variables.

Le thermomètre indiquant la température de la salle sera mis à l'abri des radiations calorifiques émises par les corps chauffés et à l'abri des courants d'air.

Lorsque les conditions normales de ventilation ne peuvent être obtenues par suite d'un moteur à vapeur voisin ou d'une autre source de chaleur, le thermomètre destiné à mesurer la température de l'air ambiant sera placé de manière à indiquer autant que possible la température qui régnerait autour de la machine si elle était arrêtée, de façon à ce que la surélévation de température déterminée soit celle qui correspond bien au fonctionnement de l'appareil.

Les températures seront prises après un fonctionnement d'une durée suffisante pour être pratiquement constantes. Il est ordinaire d'admettre qu'une durée de six à dix-huit heures est suffisante suivant le volume et la construction de l'appareil. On pourra toutefois diminuer la durée de l'essai en faisant fonctionner la machine d'abord pendant un certain temps avec une surcharge à la fois en courant et en tension, puis en réduisant la puissance à la valeur normale et en maintenant ainsi jusqu'à ce que la température soit devenue constante.

Dans les appareils destinés à un fonctionnement intermittent, comme les moteurs de tramways, les rhéostats de démarrage, etc., la surélévation de température sera mesurée après une plus courte durée de fonctionnement, dépendant de la nature du service qui sera bien spécifiée.

Dans les appareils qui, par leur nature, sont exposés à des surcharges, comme les convertisseurs pour tramways, et pour les circuits à haute tension, on devra spécifier une plus petite surélévation de température que pour les appareils non sujets aux surcharges ou pour les machines à basse tension. Dans les appareils construits avec des conditions limitant l'emplacement, comme les moteurs de tramways, on pourra, au contraire, admettre une plus grande surélévation de température.

La surélévation de température dans les conducteurs électriques, sera déterminée par l'augmentation de la résistance. Celle-ci pourra être mesurée soit par un essai au galvanomètre, soit à l'aide d'un ampèremètre et d'un voltmètre en faisant passer un courant déterminé.

Le coefficient de température peut être pris égal à 0,004 par degré (1).

Les surélévations de température mesurées par ce procédé sont généralement plus grandes que celles mesurées au thermomètre.

Les limites maxima que l'on peut admettre pour la surélévation de température sont :

1° Pour les machines à collecteur, les redresseurs et les machines synchrones ;

Circuits inducteurs et induits (par résistance)	50°
Collecteurs, bagues de frottement, balais (par thermomètre)	55°
Paliers et autres parties de la machine (par thermomètre).	40°

2° Appareils d'induction à organe mobile ;

Circuits électriques (par résistance)	50°
Paliers et autres parties de la machine (par thermomètre).	40°

Dans les induits à cages d'écureuil ou en court-circuit, on peut admettre une surélévation de 55°.

3° Transformations pour service continu ;

Circuits électriques (par résistance)	50°
---	-----

(1) La formule déterminant la surélévation de température θ est

$$R_r = R_t(1 + 0,004\theta),$$

où θ est la surélévation de température $T - t$ et R_t et R_r les résistances à la température ambiante et à chaud.

Autres parties de l'appareil sous conditions normales de ventilation (par thermomètre) 45°

4° Bobines d'induction, régulateurs magnétiques, indicateurs.

Circuits électriques (par résistance) . . . 55°

Autres parties (par thermomètre) . . . 45°

Lorsqu'un thermomètre appliqué sur une bobine ou en enroulement indique une température plus élevée que celle déduite des résistances, l'indication du thermomètre sera acceptée. Dans l'emploi du thermomètre il faut avoir soin de protéger son réservoir pour prévenir la radiation de celui-ci, en même temps d'éviter une modification de la température de la surface avec laquelle il est en contact.

Lorsque les appareils sont destinés à un service intermittent, la surélévation de température obtenue à la fin de la période déterminée de fonctionnement à pleine charge ne devra pas dépasser 50° pour les circuits électriques (mesurée par augmentation de résistance).

Pour les transformateurs dont le fonctionnement est intermittent ou qui ne fonctionnent pas à pleine charge continuellement, mais qui sont toujours en circuit, la surélévation de température des circuits ne devra pas dépasser 50° (par résistance), et celle des autres parties 40° (par thermomètre) après la période spécifiée correspondant à la pleine charge. Dans ce cas, l'essai en charge ne devra être fait que lorsque l'appareil aura atteint la température fixe correspondant à l'échauffement produit par les pertes dans le fer seules.

Avec les transformateurs pour éclairage, la durée de pleine charge pourra être prise égale à trois heures, à moins d'autre spécification.

Pour le cas des moteurs à fonctionnement intermittent (pour tramways, grues, ascenseurs, etc.), les conditions de service sont nécessairement trop variables

pour que la durée de la période de pleine charge puisse être spécifiée par une règle générale.

ISOLEMENT

La résistance d'isolement n'a qu'une importance secondaire lorsqu'on la compare à la valeur diélectrique de la matière employée comme isolant, c'est-à-dire à la résistance à la rupture pour haute tension.

La résistance d'isolement peut en effet être augmentée par le séchage, tandis que ce dernier peut, au contraire, amoindrir la valeur du diélectrique ; aussi est-il préférable de spécifier une grande résistance à l'étincelle pour haute tension plutôt qu'un bon isolement. Les essais au point de vue de la résistance à la rupture doivent toujours être faits.

Résistance d'isolement. — La résistance d'isolement doit autant que possible être prise à la tension à laquelle l'appareil doit fonctionner. La résistance d'isolement de l'appareil complet devra être telle que le courant perdu à travers la résistance d'isolement pour la tension normale ne dépasse pas un dixième du courant fourni par la machine à pleine charge. Lorsque la valeur indiquée par cette règle conduit à une résistance supérieure à un mégohm, un mégohm est suffisant.

Valeur diélectrique. — La valeur diélectrique ou la résistance à la rupture pour haute tension sera déterminée par l'application d'une tension alternative pendant une minute. La source de tension alternative peut être un transformateur d'une puissance telle que le courant de charge de l'appareil comme condensateur n'excède pas le quart de la puissance normale de ce transformateur. Les essais au point de vue de la rupture des isolants par étincelles ne devront être faits que lorsque les isolants sont secs et non recouverts de poussières ou moisissures et seront faits avant la mise en service industriel des appareils.

Il est, en effet, à remarquer que les essais à une tension de beaucoup supérieure à celle à laquelle les appareils doivent fonctionner ne sont admissibles que sur des machines neuves pour déterminer si celles-ci satisfont bien aux conditions imposées par les cahiers des charges, car ces essais faits à une tension excédant de beaucoup la tension normale peuvent, avec l'isolation actuelle des machines en service régulier, endommager les isolants.

Les essais pour établir la valeur diélectrique des isolants doivent être faits sur l'appareil avec les connexions complètes et non sur les diverses parties séparées. Le voltage sera appliqué comme suit :

- 1° Entre les enroulements et la masse ;
- 2° Entre les divers enroulements si ceux-ci ne sont pas normalement en relation électrique.

Les essais seront faits avec des tensions dont la forme périodique est sinusoidale, ou bien, si ceci n'est pas avantageux pour le constructeur, à une tension donnant la même distance explosive, entre deux pointes dans l'air, qu'une tension sinusoidale bien spécifiée, à moins naturellement de spécification expresse différente.

Comme pointes, on emploiera des aiguilles à coudre. On devra shunter les appareils pendant les essais par des circuits de déchargé statique en réglant la distance de pointes pour que l'étincelle éclate pour un voltage de 10 % supérieur à celui avec lequel on veut opérer.

Une table des distances approximatives explosives est donnée à la fin de cette réglementation.

Les voltages indiqués dans le tableau de la page suivante sont à recommander pour les appareils, non compris les lignes de transmission et les tableaux.

Les circuits inducteurs des machines génératrices d'induction seront éprouvés, dans ces essais, en les couplant sous une tension correspondant au voltage normal de l'excitatrice et se rapportant au régime de l'alternateur qu'elle excite, c'est-à-dire que l'excitatrice sera

regardée, dans cet essai, comme soumise au régime de la machine essayée.

Les condensateurs seront essayés au double de la tension et de la fréquence pour lesquelles ils doivent fonctionner.

Dans les mesures d'isolement entre différents circuits, comme entre le primaire et le secondaire d'un transformateur, la tension d'essai sera celle correspondant au circuit du plus haut voltage.

Voltages normaux	Capacité de l'appareil.	Tension d'essai.
Au-dessous de 400 volts	au-dessous de 10 kw	1 000 volts
" "	10 kw et au-dessus	1 500
400 volts à 800 volts	au-dessous de 10 kw	1 500
" "	10 kw et au-dessus	2 000
800 volts à 1 200 volts	"	3 500
1 200 2 500	"	5 000
2 500 et au-dessus	"	} double du voltage normal
Inducteur du moteur synchrone et convertisseur démarré par le côté alternatif.		500 volts.

Pour les transformateurs de 10 000 à 20 000 volts, on pourra se contenter d'essayer l'appareil au double du voltage normal, en connectant d'abord l'une des extrémités de la source de tension et l'enroulement à haute tension, et l'autre au fer et à l'enroulement à basse tension.

L'essai de la résistance à la décharge entre la basse tension et le fer sera fait ensuite en suivant les indications données plus haut pour le voltage et la puissance correspondante.

Lorsque les machines ou les appareils sont destinés à fonctionner en série, la tension à considérer pour chaque appareil sera la somme de celles de tous les

appareils réunis excepté si les bâtis de toutes les machines sont séparément isolés à la fois de la terre et de chacun des autres.

AUTO-RÉGULATION

Le terme auto-régulation est entendu ici dans le sens d'auto-régulation inhérente à l'appareil comme cela est le plus fréquemment adopté actuellement.

L'auto-régulation d'un appareil destiné à la production d'un potentiel constant, d'un courant constant, d'une vitesse constante, etc., sera mesuré par la variation maxima du potentiel, du courant, de la vitesse, etc., qui se produit entre la marche à vide et celle de la pleine charge et dans des conditions constantes de fonctionnement données par les valeurs à réaliser à pleine charge, les conditions de pleine charge étant considérées dans tous les cas comme les conditions normales de fonctionnement.

La régulation d'un appareil destiné pour la production d'un potentiel constant, d'un courant constant, d'une vitesse constante, etc., variant suivant une loi définie entre pleine charge et sans charge sera mesurée par la variation maxima du potentiel, du courant, de la vitesse, etc., pour la condition imposée, sous les conditions constantes de fonctionnement imposées par les valeurs à réaliser à pleine charge.

Si la loi suivant laquelle la variation du potentiel, du courant, de la vitesse, etc., doit se faire, n'est pas définie explicitement, on admettra que la variation en question se fait linéairement, c'est-à-dire que cette variation est uniforme entre la pleine charge et la marche à vide.

La régulation d'un appareil peut être différente selon le service auquel il est destiné. Ainsi la régulation d'une génératrice compound destinée à fonctionner comme génératrice à potentiel constant diffère de celle qu'elle devrait avoir si cette machine devait fonctionner comme génératrice hypercompound.¹¹

L'auto-régulation s'exprime en pourcentage de la valeur à pleine charge du potentiel, du courant, de la vitesse, etc., et l'appareil sera maintenu durant l'essai dans les conditions de la charge normale.

La régulation des génératrices sera déterminée à vitesse constante, celle des appareils à courants alternatifs à fréquence constante.

L'auto-régulation d'un groupe électrogène, consistant en une génératrice et un moteur, sera déterminée avec des conditions constantes correspondant au moteur, c'est-à-dire à pression de vapeur et échauffement constants. La régulation comprendra donc les variations de vitesse inhérentes au moteur ; pour cette raison, la régulation d'un groupe générateur doit être distinguée de celle de son moteur et de celle de sa génératrice prises séparément.

Dans les appareils pour la génération, la transformation ou la transmission de courants alternatifs, la régulation sera supposée se rapporter à des charges non-inductives, c'est-à-dire aux charges pour lesquelles le courant est en coïncidence de phase avec la différence de potentiel aux bornes du côté de la puissance fournie, à moins de convention contraire.

Pour les appareils à courants alternatifs recevant de l'énergie électrique, la régulation se rapportera à une tension d'alimentation sinusoïdale à moins de spécification différente.

Dans les machines à collecteur, les machines à courant redressé et les machines synchrones, comme les dynamos et moteurs à courant continu, les alternateurs mono ou polyphasés, la régulation sera déterminée dans les conditions suivantes :

a) Avec une excitation constante des inducteurs excités séparément ;

b) Avec une résistance constante dans le circuit inducteur shunt ;

c) Avec une résistance constante en dérivation avec le circuit inducteur série, cette résistance étant réglée de façon à ce que la machine donne à pleine charge le voltage et le courant spécifiés.

Dans les machines à potentiel constant, la régulation est le rapport entre la différence de tension entre la marche à vide et à la pleine charge et la différence de potentiel aux bornes à pleine charge maxima.

Dans les machines à courant constant, la régulation est le rapport entre la différence du courant de la marche à vide et de pleine charge, pris au courant à pleine charge.

Dans les machines à puissance constante, la régulation est le rapport entre la différence de la puissance normale spécifiée et de la puissance dans les limites de fonctionnement imposées, et la puissance normale.

Dans les machines hypercompound, la régulation est le rapport de la différence maxima entre la tension à l'extrémité de la ligne où se trouve la charge, lorsqu'on passe de la marche à vide à pleine charge, à la tension à pleine charge.

Dans les moteurs à courant continu et à vitesse constante la régulation est le rapport de la variation maxima de vitesse à partir de sa valeur pour la charge normale, lorsqu'on passe de la marche en charge à la marche à vide, à la vitesse à pleine charge.

L'auto-régulation dans un transformateur est le rapport entre l'augmentation et la tension aux bornes secondaires lorsqu'on passe de la pleine charge à la marche à vide (avec une tension primaire constante), à la tension du secondaire.

La régulation d'un moteur d'induction est le rapport de l'augmentation de vitesse quand on passe de la pleine charge à vide (avec une tension d'alimentation constante) à la vitesse en charge.

La régulation d'un moteur d'induction est donc différente de son glissement qui est le rapport de la diminution de vitesse par rapport à celle correspondant au synchronisme à cette dernière.

Dans les convertisseurs, dynamoteurs, moteurs-générateurs, transformateurs de fréquence, la régulation est le rapport entre la différence maxima de la tension aux bornes du côté de la puissance fournie ou débitée

à partir de la tension correspondant à la pleine charge (avec une tension d'alimentation et une fréquence constantes) à la tension aux bornes à pleine charge du côté de la puissance fournie.

La régulation d'une ligne de transmission, de feeders, etc., est le rapport de la différence maxima de la différence de potentiel à l'extrémité réceptrice entre les marches à vide et en charge normale, à la différence de potentiel correspondant à la pleine charge, la tension à l'extrémité génératrice étant maintenue constante.

Dans les moteurs à vapeur, la régulation est le rapport entre la variation maxima de la vitesse moyenne quand on passe de la pleine charge à la marche à vide (avec une pression constante à la chaudière) à la vitesse à pleine charge.

Dans une turbine ou autre moteur hydraulique, la régulation est le rapport de la variation maxima de la vitesse quand on passe de la pleine charge à la marche à vide (à hauteur de chute constante) à la vitesse à pleine charge.

DÉPLACEMENT ANGULAIRE PÉRIODIQUE ET COEFFICIENT DE RÉGULARISATION

Dans les moteurs mécaniques qui n'ont pas une vitesse absolument uniforme, comme les moteurs à vapeur, on peut considérer le déplacement angulaire maximum que l'appareil occuperait par rapport à un appareil ayant une vitesse uniforme et égale à la vitesse moyenne de l'appareil considéré ; le coefficient de régularisation est le rapport entre la variation maxima de vitesse pour un cycle complet du moteur à la vitesse moyenne.

Dans les alternateurs et les circuits à courant alternatifs, en général, le déplacement périodique est la différence maxima de phase, exprimée en degrés de l'onde de tension produite par, rapport à l'onde qui serait produite si la vitesse était uniforme ; elle est due

à la variation de la vitesse du moteur mécanique. Le coefficient de régularisation est le rapport de la variation maxima de fréquence durant un cycle à la fréquence moyenne pendant ce cycle.

Si n est le nombre de pôle d'un alternateur, la variation de cet alternateur est $\frac{n}{2}$ fois la variation du moteur mécanique si l'accouplement rigide est direct et $\frac{n}{2} p$, la variation de ce moteur si la transmission se fait rigidement avec un rapport de vitesse égal à p .

Le coefficient de régularisation d'un circuit à courant alternatif est la même que celle du moteur conduisant l'alternateur.

DÉFINITION DE LA VALEUR NORMALE

Les puissances électrique et mécanique seront exprimées en kilowatts à moins de convention contraire. La puissance des appareils à courants alternatifs sera exprimée en kilowatts et pour une charge non-inductive, c'est-à-dire avec le courant et la tension aux bornes en coïncidence de phase.

Ainsi la puissance électrique produite par un appareil à courants alternatifs n'est égale à sa puissance normale que pour une charge non inductive.

La puissance apparente sera exprimée en kilovolts-ampères pour la distinguer de la puissance réelle en kilowatts.

Si le facteur de puissance est spécifié, la puissance nominale sera exprimée en kilovolts-ampères avec l'indication du facteur de puissance à pleine charge. Le courant de pleine charge d'une génératrice électrique est celui qui correspond, avec le voltage spécifié, à la puissance nominale donnée en kilowatts. Toutefois pour les appareils à courants alternatifs ce courant est celui qui correspond à une charge non inductive.

Ainsi dans les machines où la différence de potentiel en charge n'est pas la même qu'à vide, le courant

de pleine charge est celui qui se rapporte à la tension en charge.

Si P est la puissance nominale d'une génératrice, E la différence de potentiel en charge, le courant de pleine charge est :

$I = \frac{P}{E}$ pour une machine à courant continu ou un alternateur à courant alternatif simple ;

ou $I = \frac{P}{E\sqrt{3}}$ dans un alternateur à courants triphasés ;

ou $I = \frac{P}{2E}$ dans un alternateur à quatre phases.

La puissance des machines à courant constant telles que les machines à arcs sera définie en kilowatts et basée sur la tension aux bornes et le courant à pleine charge.

La spécification nominale d'un plomb fusible ou d'un circuit sera la valeur du courant qu'il pourra avoir à interrompre et non la valeur du courant qu'il devra pouvoir laisser passer.

CLASSIFICATION DES TENSIONS ET DES FRÉQUENCES

Dans les génératrices à courant continu et les machines à basse tension, les voltages suivants sont généralement employés et sont à recommander :

125 volts 250 volts 550 volts.

Pour les circuits à courants continu ou alternatifs, les circuits à faible tension, les voltages moyens suivants sont employés et à recommander :

110 volts 220 volts.

Dans les circuits de transport d'énergie à courant continu pour tramways ou autres services, la tension de 500 volts peut être regardée comme réglementaire.

Pour les circuits à courants alternatifs à haute tension, les tensions généralement employées et à recommander à l'extrémité réceptrice de la ligne sont :

1 000 volts 2 000 volts 3 000 volts 6 000 volts
10 000 volts 15 000 volts 20 000 volts.

Les génératrices à haute tension sont généralement établies pour les tensions suivantes qui sont à recommander :

1 150 volts 2 300 volts 3 450 volts.

Ces tensions supposent une perte maxima de 15 % de la tension aux bornes des appareils récepteurs. Si la perte demandée est plus grande que 15 %, l'alternateur peut être considéré comme spécial.

Pour les circuits à courants alternatifs, les fréquences suivantes sont à recommander :

25 ~ ou 30 ~ 40 ~ 60 ~ 120 ~

Ces fréquences sont employées couramment et il serait bon de les adopter autant que faire se peut.

VALEURS DES SURCHARGES

Toutes les garanties d'échauffement, de régulation, de résistances à l'étincelle, etc., seront, à moins de conventions spéciales, applicables à la charge nominale et, pour les appareils à courants alternatifs, en admettant que le courant est en coincidence de phase avec la tension, excepté toutefois si l'appareil a un décalage de phase par sa nature même.

Tous les appareils devront être capables de supporter une surcharge raisonnable sans être endommagés par échauffement, étincelles, excès de pertes de travail mécanique, etc., et avec un accroissement dans la surélévation de température ne dépassant pas de 15° celle spécifiée pour la charge normale.

Les garanties de surcharge se réfèrent aux conditions normales de fonctionnement imposées pour la vitesse, la fréquence, la tension, etc., et aux conditions d'une charge sans induction pour les appareils à courants alternatifs à moins que ceux-ci ne portent en eux-mêmes la cause du décalage de phase.

Les valeurs suivantes des surcharges sont à recommander.

1° Pour les génératrices à courants continu ou alternatif : 25 % pendant une demi-heure ;

2° Pour les moteurs à courant continu et les moteurs synchrones : 25 % pendant une demi-heure, 50 % pendant une minute, excepté pour les moteurs de tramways et autres appareils à service intermittent ;

3° Pour les moteurs d'induction : 25 % pendant une demi-heure, 40 % pendant une minute ;

4° Convertisseurs synchrones : 50 % pendant une demi-heure ;

5° Transformateurs : 25 % pendant une demi-heure ; excepté pour les transformateurs alimentant des appareils pour lesquels une surcharge différente est garantie ; dans ce cas, la garantie de surcharge du transformateur doit être la même que celle spécifiée pour l'appareil récepteur ;

6° Excitatrices d'alternateurs et de machines synchrones : 10 % de la surcharge au-dessus de l'excitation nécessaire pour la surcharge garantie pour la machine et pendant le même temps.

APPENDICES

Rendement d'un appareil à déplacement de phase.

Dans les appareils produisant à volonté un décalage entre la tension et le courant, comme par exemple les compensateurs synchrones ou machines synchrones surexcitées, les excitatrices des génératrices d'induction, les bobines de réaction, les condensateurs, les polarisateurs, le rendement sera défini comme le

rapport entre les volts-ampères et les volts-ampères augmentés des pertes dans l'appareil.

Le rendement peut être calculé par détermination des pertes individuellement et en ajoutant ensuite celles-ci à la puissance apparente; la somme ainsi obtenue servant de diviseur à la puissance apparente seule.

1° Dans les compensateurs synchrones et les excitatrices des génératrices d'induction, la détermination des pertes se fait de la même façon que pour les autres machines synchrones;

2° Dans les bobines de self-induction, les pertes sont celles dues à l'hystérésis, aux courants de Foucault et à l'effet Joule. Ces pertes seront mesurées au wattmètre. Le rendement d'une bobine de self-induction sera déterminé avec une tension sinusoïdale d'alimentation à moins de convention contraire;

3° Dans les condensateurs, les pertes sont dues à l'hystérésis diélectrique et aux fuites et seront déterminées au wattmètre avec une tension sinusoïdale d'alimentation;

4° Dans les batteries de polarisateurs, les pertes sont celles dues à la résistance électrique et celles dues à l'hystérésis chimique de l'électrolyte et peuvent être considérables. Elles dépendent de la fréquence de la tension et de la température et seront déterminées avec une tension sinusoïdale à moins de spécification contraire.

Rendement apparent

Pour les appareils qui portent en eux-mêmes la cause du déplacement de phase, le rendement apparent sera le rapport entre la puissance vraie fournie et la puissance apparente ou les volts-ampères reçus.

Ces appareils sont les moteurs d'induction, les convertisseurs synchrones, les convertisseurs synchrones réglant la tension d'un système à courants alternatifs, les moteurs synchrones s'excitant eux-mêmes, les régulateurs de tension, les transformateurs à circuit magnétique ouvert; etc.

Comme le rendement apparent d'un appareil producteur d'énergie électrique dépend du facteur de puissance des appareils d'utilisation, le rendement apparent, à moins de convention différente, se rapportera à une charge dont le facteur de puissance est égal à l'unité.

Facteurs de puissance d'inductance

Le facteur de puissance d'un appareil ou de circuits à courants alternatifs est le rapport entre la puissance électrique vraie en watts aux volts-ampères.

Le facteur d'inductance peut être considéré comme le rapport des volts-ampères dewattés aux volts-ampères.

Si p est le facteur de puissance et q , le facteur d'inductance, on a :

$$p^2 + q^2 = 1.$$

Le facteur de puissance est :

composante magnétique du courant ou de la tension
courant ou la tension totale

et le facteur d'inductance

composante dewattée du courant ou de la tension
courant ou la tension totale

Comme le facteur de puissance d'un appareil fournissant de l'énergie électrique dépend du facteur de puissance de la charge, le facteur de puissance de cette dernière sera toujours supposé égal à l'unité à moins de spécification contraire.

Notations.

Les notations suivantes sont recommandées (1) :

E, e , tension, force électromotrice, différence de po-

(1) Ces notations sont celles proposées par l'*American Institute of Electrical Engineers*.

tentiel ; I, i , courant ; P , puissance ; ψ , flux magnétique ; B , induction magnétique ; R, r , résistance ; X, x , réactance ; Z, z impédance ; L, l , coefficient de self-induction ; C, c , capacité.

Les quantités vectorielles lorsqu'elles seront employées seront écrites en capitales italiques.

Distances explosives.

La table suivante donne les distances explosives dans l'air entre deux pointes d'aiguilles opposées, pour différentes tensions sinusoïdales en centimètres.

Kilovolts (racine carrée de la moyenne des carrés).	Distances en centimètres	Kilovolts (racine carrée de la moyenne des carrés).	Distances en centimètres
5	0,57	60	11,8
10	1,19	70	14,9
15	1,84	80	18
20	2,54	90	21,2
25	3,3	100	24,4
30	4,1	110	27,3
35	5,1	120	30,1
40	6,2	130	32,9
45	7,5	140	35,4
50	9	150	38,1

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Mesures magnétiques	5
Mesures des puissances électriques	27
Étude des courants alternatifs	42
Mesures mécaniques et diverses	74
Machines génératrices et motrices à courant continu	96
Essais des alternateurs	118
Moteurs asynchrones	128
Transformateurs.	136

ANNEXE

<i>Réglementation américaine pour les essais des générateurs, moteurs, transformateurs, etc.</i>	142
--	-----

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (6^e).

Envoi *franco* contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE.

TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU COURS DE L'ÉCOLE CENTRALE.

PAR

ALHEILIG,

Ingénieur de la Marine.

Camille ROCHE,

Ancien Ingénieur de la Marine.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. I.) :

TOME I : avec 412 figures; 1895 20 fr.
TOME II : avec 281 figures; 1895 18 fr.

CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

E. DEHARME,

Ing^r principal à la Compagnie du Midi.

A. PULIN,

Ing^r Insp^r p^{al} aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E. I.). 15 fr.

CHEMINS DE FER.

ÉTUDE DE LA LOCOMOTIVE. — LA CHAUDIÈRE.

PAR

E. DEHARME,

Ing^r principal à la Compagnie du Midi.

A. PULIN,

Ing^r Insp^r p^{al} aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8 de vi-608 p, avec 131 fig. et 2 pl.; 1900 (E. I.). 15 fr.

TRAITÉ PRATIQUE

DES

CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL

ET DES

TRAMWAYS

Par **Pierre GUÉDON,**

Ingénieur, Chef de traction à la C^{ie} générale des Omnibus de Paris.

Un beau volume grand in-8, de 393 pages et 141 figures (E. I.); 1901..... 11 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

INDUSTRIES DU SULFATE D'ALUMINIUM, DES ALUNS ET DES SULFATES DE FER,

Par Lucien GESCHWIND, Ingénieur-Chimiste.

Un volume grand in-8, de VIII-364 pages, avec 195 figures; 1899 (E. I.). 10 fr.

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par C. BRICKA,

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I: avec 326 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II: avec 177 fig.; 1894.. 20 fr.

COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P.).. 20 FR.

CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.).

TOME I: avec 479 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II: avec 571 fig.; 1894.. 20 fr.

ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par Al. GOUILLY,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG.; 1894 (E. I.).... 12 FR.

VERRE ET VERRERIE

PAR

Léon APPERT et Jules HENRIVAUX, Ingénieurs.

Grand in-8, avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches; 1894 (E. I.).... 20 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

BLANCHIMENT ET APPRÊTS
TEINTURE ET IMPRESSION

PAR

Ch.-Er. GUIGNET,

Directeur des teintures aux Manufactures nationales des Gobelins et de Beauvais.

F. DOMMER,

Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris.

E. GRANDMOUGIN,

Chimiste, ancien Préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse.

UN VOLUME GRAND IN-8 DE 674 PAGES, AVEC 368 FIGURES ET ÉCHANTILLONS DE TISSUS IMPRIMÉS; 1895 (E. I.)..... 30 FR.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

ET

ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE MATHÉMATIQUE DE L'ÉLASTICITÉ

Par Aug. FÖPPL,

Professeur à l'Université technique de Munich.

TRADUIT DE L'ALLEMAND-PAR E. HAHN,

Ingénieur diplômé de l'École Polytechnique de Zurich.

GRAND IN-8, DE 489 PAGES, AVEC 74 FIG.: 1901 (E. I.)... 15 FR.

CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par A. CRONEAU,

Ingénieur de la Marine,

Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 ET ATLAS; 1894 (E. I.):

TOME I : avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4°; 1894..... 18 fr.

TOME II : avec 359 fig.; 1894..... 15 fr.

PONTS SOUS RAILS ET PONTS-ROUTES A TRAVÉES
MÉTALLIQUES INDÉPENDANTES.

FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX

Par Ernest HENRY,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 267 FIG.; 1894 (E. T. P.).. 20 FR.

Calculs rapides pour l'établissement des projets de ponts métalliques et pour le contrôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique (économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

CHEMINS DE FER.

EXPLOITATION TECHNIQUE

PAR MM.

SCHÖLLER,

Chef adjoint des Services commerciaux
à la Compagnie du Nord.

FLEURQUIN,

Inspecteur des Services commerciaux
à la même Compagnie.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES: 1901 (E. I.)..... 12 FR.

TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES

TERRES CUITES.
PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par **E. BOURRY,**

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 755 PAGES, AVEC 349 FIG.; 1897 (E. I.). 20 FR.

RÉSUMÉ DU COURS

DE

MACHINES A VAPEUR ET LOCOMOTIVES

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Par **J. HIRSCH,**

Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées,
Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

2^e édition. Gr. in-8 de 510 p. avec 314 fig.; 1898 (E. T. P.). 18 fr.

LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par **Henri DE LAPPARENT,**

Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, DES CLIMATS, DES SOLS, ETC., SUR LA QUALITÉ DU
VIN, VINIFICATION, CUVERIE ET CHAIS, LE VIN APRÈS LE DÉCUVAGE, ÉCO-
NOMIE, LÉGISLATION.

GR. IN-8 DE XII-533 P., AVEC 111 FIG. ET 28 CARTES; 1895 (E. I.) 12 FR.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par **A. JOANNIS,**

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux,
Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1896 (E. I.).

TOME I: 688 p., avec fig.; 1896. 20 fr. | TOME II: 718 p., avec fig.; 1896. 15 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS VICINAUX,

Par **G. LECHALAS**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (É. T. P.).

TOME I; 1889; 20 fr. — TOME II : 1^{re} partie; 1893; 10 fr. 2^e partie; 1898; 10 fr.

MACHINES FRIGORIFIQUES

PRODUCTION ET APPLICATIONS DU FROID ARTIFICIEL,

Par **H. LORENZ**,

Ingénieur, Professeur à l'Université de Halle.

TRADUIT DE L'ALLEMAND AVEC L'AUTORISATION DE L'AUTEUR, PAR

P. PETIT,

Prof^r à la Faculté des Sciences de Nancy,
Directeur de l'École de Brasserie.

J. JAQUET,

Ingénieur civil,

Grand in-8 de ix-186 pages, avec 131 figures; 1898 (E. I.)... 7 fr.

COÛRS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **Maurice D'OCAGNE**,

Ing^r et Prof^r à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique.

GR. IN-8, DE XI-428 P., AVEC 340 FIG.; 1896 (E. T. P.).... 12 FR.

LES ASSOCIATIONS OUVRIÈRES

ET LES ASSOCIATIONS PATRONALES,

Par **P. HUBERT-VALLEROUX**,

Avocat à la Cour de Paris, Docteur en Droit.

GRAND IN-8 DE 361 PAGES; 1899 (E. I.)..... 10 FR.

TRAITÉ DES FOURS A GAZ

A CHALEUR RÉGÉNÉRÉE.

DÉTERMINATION DE LEURS DIMENSIONS.

Par **Friedrich TOLDT**,

Ingénieur, Professeur à l'Académie impériale des Mines de Leoben.

TRADUIT DE L'ALLEMAND SUR LA 2^e ÉDITION REVUE ET DÉVELOPPÉE PAR L'AUTEUR,

Par **F. DOMMER**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris.

Un volume grand in-8 de 392 pages, avec 68 figures; 1900 (E. I.). 11 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

ANALYSE INFINITÉSIMALE

A L'USAGE DES INGÉNIEURS,

Par E. ROUCHÉ et L. LÉVY,

2 VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES (E. T. P.) :

TOME I : *Calcul différentiel*. VIII-557 pages, avec 45 figures; 1900..... 15 fr.

TOME II : *Calcul intégral*..... (Sous presse.)

PREMIERS PRINCIPES

D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE

PILES, ACCUMULATEURS, DYNAMOS, TRANSFORMATEURS,

Par Paul JANET,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris,
Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité.

Quatrième édition conforme à la 3^e — In-8, avec 169 figures; 1901. 6 fr.

COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par M. J. JAMIN.

QUATRIÈME ÉDITION, AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFONDUE

Par M. E. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et
14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE
COMPLÉT)..... 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec
150 figures et 1 planche..... 5 fr.
2^e fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 fig. 5 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches... 5 fr.
3^e fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la cha-
leur*; avec 47 figures 5 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures 4 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 planches 4 fr.
3^e fascicule. — *Etude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur 14 fr.

TOME IV (1^{re} Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 figures et 1 planche 7 fr.
2^e fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 figures et 1 planche 6 fr.

TOME IV (2^e Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

- 3^e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures 8 fr.
4^e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES.

Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs des quatre volumes du Cours de Physique. In-8; 1891... 60 c.

Les suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

- 1^{er} SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.
2^e SUPPLÉMENT. — *Électricité. Ondes hertziennes. Rayons X*; par E. BOUTY. In-8, avec 48 figures et 2 planches; 1899. 3 fr. 50 c.

(*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1^{er} fascicule; Tome II, 1^{er} et 2^e fascicules; Tome III, 2^e fascicule.

LEÇONS

D'ÉLECTROTECHNIQUE GÉNÉRALE

PROFESSÉES A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

Par P. JANET,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris,
Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 307 FIGURES; 1900..... 20 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LEÇONS ÉLÉMENTAIRES

D'ACOUSTIQUE ET D'OPTIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS AU CERTIFICAT D'ÉTUDES PHYSIQUES,
CHIMIQUES ET NATURELLES (P. C. N.).

Par **Ch. FABRY**,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Marseille.

Un volume in-8, avec 205 figures; 1898..... 7 fr. 50 c.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

MÉTÉOROLOGIE

Par **Alfred ANGOT**,

Météorologiste titulaire au Bureau Central météorologique,
Professeur à l'Institut national agronomique et à l'École supérieure
de Marine.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 103^r FIG. ET 4 PL.; 1899. 12 FR.

RAPPORTS

PRÉSENTÉS AU

CONGRÈS DE PHYSIQUE

RÉUNI A PARIS EN 1900, SOUS LES AUSPICES DE LA SOCIÉTÉ
FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

Rassemblés et publiés par

Ch.-Éd. GUILLAUME et **L. POINCARÉ**,

Secrétaires généraux du Congrès.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1900..... 50 FR.

On vend séparément :

- TOME I : *Questions générales. Métrologie. Physique mécanique. Physique moléculaire*..... 18 fr.
TOME II : *Optique. Électricité. Magnétisme*..... 18 fr.
TOME III : *Électro-optique et ionisation. Applications. Physique cosmique. Physique biologique*..... 18 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ
DE LA
FABRICATION DES LIQUEURS
ET DE LA
DISTILLATION DES ALCOOLS,

Par **P. DUPLAIS Aîné**,
SEPTIÈME ÉDITION, ENTIÈREMENT REFONDUE
PAR

Marcel ARPIN,
Chimiste industriel.

Ernest PORTIER,
Répétiteur de Technologie agricole
à l'Institut agronomique.

DEUX VOLUMES IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT; 1900.

TOME I : *Les Alcools*. Volume de VIII-613 pages avec 68 figures..... 8 fr.

TOME II : *Les Liqueurs*. Volume de 606 pages avec 69 figures..... 10 fr.

DE L'OPTIQUE DES RAYONS DE RÖNTGEN
ET DES RAYONS SECONDAIRES QUI EN DÉRIVENT

Par **G. SAGNAC**,

Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Lille.

GRAND IN-8, AVEC 31 FIGURES; 1901..... 4 FR.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE D'ÉLECTRICITÉ
AVEC LES PRINCIPALES APPLICATIONS,

Par **R. COLSON**,

Commandant du Génie, Répétiteur de Physique à l'École Polytechnique.

3^e édition entièrement refondue. In-18 jésus, avec 91 fig.; 1900. 3 fr. 75 c

DE PARIS AUX MINES D'OR
DE L'AUSTRALIE OCCIDENTALE,

Par **O. CHEMIN**,

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Volume in-8 de 370 pages, avec 116 figures dont 111 photogravures, 7 cartés et 2 planches; 1900..... 9 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE
annexé à l'Université de Liège,

Par **Eric GÉRARD**,
Directeur de cet Institut.

6^e ÉDITION, DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I: *Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques*; avec 388 figures; 1900..... 12 fr.

TOME II: *Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Applications de l'Électricité à la téléphonie, à la télégraphie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage, à la métallurgie et à la chimie industrielle*; avec 387 figures; 1900..... 12 fr.

TRACTION ÉLECTRIQUE,

Par **Eric GÉRARD**,

(Extrait des *Leçons sur l'Électricité* du même Auteur.)

Volume grand in-8 de vi-136 pages, avec 92 figures; 1900..... 3 fr. 50 c.

MESURES ÉLECTRIQUES,

Par **Eric GÉRARD**,

2^e édition, gr. in-8 de 532 p., avec 217 fig.; 1901. Cartonné toile anglaise.... 12 fr.

LES DÉCHARGES ÉLECTRIQUES DANS LES GAZ,

Par **J.-J. THOMSON**, D. Sc. F. R. S.

OUVRAGE TRADUIT DE L'ANGLAIS, AVEC DES NOTES; PAR LOUIS BARBILLION,
ET UNE PRÉFACE DE CH.-ED. GUILLAUME.

Volume in-8 de xiv-172 pages, avec 41 figures; 1900..... 5 fr.

TRAITÉ DE MAGNÉTISME TERRESTRE,

Par **E. MASCART**,
Membre de l'Institut.

Volume grand in-8 de vi-441 pages, avec 94 figures; 1900..... 15 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

TRAITÉ D'ANALYSE

Par **Émile PICARD**,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences.

TOME I : Intégrales simples et multiples. — L'équation de Laplace et ses applications. Développement en séries. — Applications géométriques du Calcul infinitésimal. 2^e édition, revue et corrigée; 1901..... 16 fr.

TOME II : Fonctions harmoniques et fonctions analytiques. — Introduction à la théorie des équations différentielles. Intégrales abéliennes et surfaces de Riemann. 1893..... 15 fr.

TOME III : Des singularités des intégrales des équations différentielles. Étude du cas où la variable reste réelle et des courbes définies par des équations différentielles. Equations linéaires; analogies entre les équations algébriques et les équations linéaires. 1896..... 18 fr.

TOME IV : Équations aux dérivées partielles..... (En préparation.)

LEÇONS

SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS

Par **Émile BOREL**,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

TOME I : *Exposé de la théorie des ensembles et applications*; 1898.... 3 fr. 50 c.

TOME II : *Leçons sur les fonctions entières*; 1900..... 3 fr. 50 c.

TOME III : *Leçons sur les séries divergentes*; 1901..... 4 fr. 50 c.

TOME IV : *Leçons sur les séries à termes positifs*, professées au Collège de France..... (Sous presse.)

ANNALES CÉLESTES DU XVII^e SIÈCLE

Par **A.-G. PINGRÉ**.

OUVRAGE PUBLIÉ SOUS LES AUSPICES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

PAR **G. BIGOURDAN**, ASTRONOME TITULAIRE A L'OBSERVATOIRE DE PARIS.

In-4 de xi-628 pages; 1901..... 40 fr.

LE SYSTÈME MÉTRIQUE

DES POIDS ET MESURES

SON ÉTABLISSEMENT ET SA PROPAGATION GRADUELLE

Par **G. BIGOURDAN**,

Astronome titulaire à l'Observatoire de Paris.

Petit in-8 en caractères elzéviens, titre en 2 couleurs, 17 figures et 10 planches ou portraits; 1901..... 10 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

GUIDE PRATIQUE

POUR LES

CALCULS DE RÉSISTANCE

DES

CHAUDIÈRES A VAPEUR ET L'ESSAI DES MATÉRIAUX EMPLOYÉS,

Publié par l'Union Internationale des Associations de surveillance d'Appareils à vapeur,

TRADUIT SUR LA 7^e ÉDITION ALLEMANDE,

Par **G. HUIN**, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Capitaine d'Artillerie,

E. MAIRE, Ingénieur E. C. P., Directeur de l'Association des
Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord-Est,

Avec la collaboration de **H. WALTHER MEUNIER**, Ingénieur E. C. P.,
Ingénieur en chef de l'Association alsacienne des Propriétaires d'appareils à vapeur.

Un volume in-12 raisin, avec 10 figures; 1901..... 2 fr. 75 c.

LEÇONS SUR LA THÉORIE DES FORMES

ET LA GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE SUPÉRIEURE,

à l'usage des Étudiants des Facultés des Sciences,

Par **H. ANDOYER**,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Volume de vi-508 pages; 1900..... 15 fr.

TOME II..... (En préparation.)

COURS D'ÉLECTRICITÉ

Par **H. PELLAT**,

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

3 volumes grand in-8, se vendant séparément :

TOME I : *Électrostatique. Loi d'Ohm. Thermo-électricité*, avec 145 figures;
1901..... 10 fr.

TOME II : (Sous presse.) — TOME III : (En préparation.)

ESSAI SUR LES
FONDEMENTS DE LA GÉOMÉTRIE

Par **B.-A.-W. RUSSELL**,

Traduction par **C. CADENAT**, revue et annotée par l'Auteur
et par **Louis COUTURAT**.

Grand in-8, avec 11 figures; 1901..... 9 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES.

THÉORIE ANALYTIQUE DE LA CHALEUR

MISE EN HARMONIE AVEC LA THERMODYNAMIQUE
ET AVEC LA THÉORIE MÉCANIQUE DE LA LUMIÈRE,

Par **J. BOUSSINESQ**,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Deux volumes grand in-8 se vendant séparément :

TOME I : *Problèmes généraux*. Vol. de xxvii-333 p.; av. 14 fig.; 1901 10 fr.

TOME II : *Échauffement par contact et échauffement par rayonnement. Conductibilité des aiguilles, lames et masses cristallines. Théorie mécanique de la lumière*..... (Sous presse.)

LES CARBURES D'HYDROGÈNE (1851-1901)

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

Par **M. BERTHELOT**,

Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

3 volumes grand in-8, se vendant ensemble..... 45 fr.

TOME I : *L'Acétylène : synthèse totale des carbures d'hydrogène*. Volume de x-414 pages. — **TOME II** : *Les Carbures pyrogénés. — Séries diverses*. Volume de iv-558 pages. — **TOME III** : *Combinaison des carbures d'hydrogène avec l'hydrogène, l'oxygène, les éléments de l'eau*. Vol. de iv-459 pages.

GUSTAVE ROBIN,

Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris.

ŒUVRES SCIENTIFIQUES

réunies et publiées sous les auspices du Ministère de l'Instruction publique,

Par **Louis RAFFY**,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

MATHÉMATIQUES : *Nouvelle théorie des fonctions exclusivement fondée sur l'idée de nombre*. Un volume grand in-8..... (Sous presse.)

PHYSIQUE : Un volume grand in-8, en deux fascicules :

Physique mathématique. Grand in-8; 1899..... 5 fr.

Thermodynamique générale. Grand in-8; 1901..... 9 fr.

CHIMIE : *Leçons de Chimie physique*, professées à la Faculté des Sciences de Paris. Un volume in-8..... (En préparation.)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la Science, de l'Art et des applications pratiques.

A côté d'Ouvrages d'une certaine étendue, comme le *Traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie photographique* de M. Fourtier, la *Photographie médicale* de M. Londe, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

A B C DE LA PHOTOGRAPHIE MODERNE,

Par W.-K. BURTON.

5^e édition. Traduction sur la 1^{re} édition anglaise, par G. HUBERSON.

In-18 jésus, avec figures; 1901..... 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS,

PAR LA MÉTHODE INTERFÉRENTIELLE DE M. LIPPMANN.

Par A. BERGET.

2^e édition, entièrement refondue. In-18 jésus, avec fig.; 1901... 1 fr. 75 c.

FABRICATION DES PLAQUES AU GÉLATINOBROMURE,

Par BURTON. — Traduction par HUBERSON.

In-18 jésus, avec figures; 1901..... 0 fr. 50 c.

REPRODUCTION DES GRAVURES, DESSINS, PLANS, MANUSCRITS,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec figures; 1900 ... 2 fr.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE,

Par A. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens ... 32 fr.
Chaque volume se vend séparément..... 16 fr.

LES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec 12 figures; 1901..... 2 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.
Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1^{er} Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892 14 fr.

2^e Supplément (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. 14 fr.

Les 6 volumes se vendent ensemble..... 72 fr.

LA PHOTOGRAPHIE D'ART

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900.

Par C. KLARK.

Grand in-8 de 88 pages, avec nombreuses illustrations et planches; 1901..... 6 fr. 50 c.

LA PHOTOTYPIE POUR TOUS

ET SES APPLICATIONS DIRECTES

AUX TIRAGES LITHOGRAPHIQUES ET TYPOGRAPHIQUES.

Par L. LAYNAUD.

Un volume in-18 jésus, avec figures; 1900..... 2 fr.

L'OBJECTIF PHOTOGRAPHIQUE,

ÉTUDE PRATIQUE. EXAMEN. ESSAI. CHOIX ET MODE D'EMPLOI.

Par P. MOËSSARD,

Lieutenant-Colonel du Génie,

Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Un volume grand in-8, avec 116 figures et 1 planche; 1899..... 6 fr. 50 c.

MANUEL DU PHOTOGRAPHE AMATEUR,

Par F. PANAJOU,

Chef du Service photographique à la Faculté de Médecine
de Bordeaux.

3^e ÉDITION COMPLÈTEMENT REFOUNDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

Petit in-8, avec 63 figures; 1899..... 2 fr. 75 c.

LA PHOTOGRAPHIE ANIMÉE,

Par E. TRUTAT.

Avec une Préface de M. MAREY.

Un volume grand in-8, avec 146 figures et 1 planche; 1890..... 5 fr.

ESTHÉTIQUE DE LA PHOTOGRAPHIE,

Un volume de grand luxe in-4 raisin, avec 14 planches et 150 figures. 16 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

**TRAITÉ PRATIQUE
DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES
A L'USAGE DES AMATEURS,**

Par E. TRUTAT.

2^e édition, revue et augmentée. 2 vol. in-18 jésus..... 5 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : *Obtention des petits clichés*, avec 81 figures; 1900.... 2 fr. 75 c.

II^e PARTIE : *Agrandissements*, avec 60 figures; 1897..... 2 fr. 75 c.

**TRAITÉ PRATIQUE
DE PHOTOGRAVURE EN RELIEF ET EN CREUX,**

Par Léon VIDAL.

In-18 jésus de xiv-445 p. avec 65 figures et 6 planches; 1900..... 6 fr. 50 c.

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.

CONFÉRENCES FAITES A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE
EN 1899.

Brochures in-8; 1899. — *On vend séparément :*

LA PHOTOCOLLOGRAPHIE, par G. BALAGNY..... 1 fr. 25 c.

LA PHOTOGRAPHIE STÉRÉOSCOPIQUE, par R. COLSON.. 1 fr.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE PORTRAIT EN PHOTOGRAPHIE, par Frédéric DILLAYE..... 1 fr. 25 c.

LA MÉTROPHOTOGRAPHIE, avec 17 figures et 2 planches, par le Colonel A. LAUSSEDAT..... 2 fr. 75 c.

LA RADIOGRAPHIE ET SES DIVERSES APPLICATIONS, avec 29 figures, par Albert LONDE..... 1 fr. 50 c.

LA CHRONOPHOTOGRAPHIE, avec 23 fig., par MAREY. 1 fr. 50 c.

LA PHOTOGRAPHIE EN BALLON ET LA TÉLÉPHOTOGRAPHIE, avec 19 figures, par H. MEYER-HEINE..... 1 fr. 50 c.

LA MICROPHOTOGRAPHIE, avec 3 planches en couleur, par MONPILLARD..... 2 fr. 50 c.

SUR LES PROGRÈS RÉCENTS ACCOMPLIS AVEC L'AIDE DE LA PHOTOGRAPHIE DANS L'ÉTUDE DU CIEL; avec 2 planches, par P. PUISEUX..... 2 fr.

LA PHOTOGRAPHIE DES MONTAGNES, à l'usage des alpinistes, avec 19 figures, par J. VALLOT..... 1 fr. 75 c.

LES PROGRÈS DE LA PHOTOGRAVURE, avec 21 figures et 2 planches, par Léon VIDAL..... 1 fr. 75 c.

LE RÔLE DES DIVERSES RADIATIONS EN PHOTOGRAPHIE, avec 8 figures, par P. VILLARD..... 1 fr.

LES AGRANDISSEMENTS, avec fig., par E. WALLON. 1 fr. 75 c.

30678. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

MASSON & C^{ie}, Éditeurs
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, Boulevard Saint-Germain, Paris (6^e)
P. n^o 262.

EXTRAIT DU CATALOGUE ⁽¹⁾

(Décembre) 1901)

La Pratique *Dermatologique*

Traité de Dermatologie appliquée

Publié sous la direction de MM

ERNEST BESNIER, L. BROCCQ, L. JACQUET

Par MM. AUDRY, BALZER, BARBE, BAROZZI, BARTHÉLEMY, BENARD, ERNEST BESNIER
BODIN, BROCCQ, DE BRUN, DU CASTEL, J. DARIER
DEHU, DOMINICI, W. DUBREUILH, HUELO, L. JACQUET, J.-B. LAFFITTE
LENGLET, LEREDDE, MERKLEN, PERRIN
RAYNAUD, RIST, SABOURAUD, MARCEL SÈE, GEORGES THIBIERGE, VEYRIÈRES

4 volumes richement cartonnés toile formant ensemble environ
3.600 pages, très largement illustrés de figures en noir et de planches
en couleurs. En souscription jusqu'à la publication du tome III. 150 fr.
Chaque volume sera vendu séparément.

TOME PREMIER

1 fort vol. gr. in-8^o avec 230 figures en noir et 24 planches en couleurs.
Richement cartonné toile. . . . 36 fr.

Anatomie et Physiologie de la Peau. — Pathologie générale de la
Peau. — symptomatologie générale des Dermatoses. — Acan-
thosis Nigricans. — Acnés. — Actinomycose. — Adénomes. —
Alopécies. — Anesthésie locale. — Balanites. — Bouton d'Orient.
— Brûlures. — Charbon. — Classifications dermatologiques. —
Dermatites polymorphes douloureuses. — Dermatophytes. —
Dermatozoaires. — Dermites infantiles simples. — Ecthyma.

TOME II

1 fort vol. gr. in-8^o avec 168 figures en noir et 21 planches en couleurs.
Richement cartonné toile. . . . 40 fr.

Eczéma. — Electricité. — Eléphantiasis. — Epithélioma. — Eruptions
artificielles. — Erythème. — Erythrasma. — Erythrodermes. —
Esthiomène. — Favus. — Folliculites. — Furonculose. — Gale. —
Gangrène cutanée. — Gerçures. — Greffe. — Hématodermes. —
Herpès. — Hydroa vacciniiforme. — Ichtyose. — Impétigo. —
Kératodermie. — Kératose pileaire. — Langue.

TOME III (sous presse)

Lèpre. Lichen. — Lupus. — Lymphangiome. — Mycosis fongoïde.
Œdème. — Ongles. — Pelade. — Pemphigus. — Phtiriase. —
Pityriasis.

(1) La librairie envoie gratuitement et franco de port les catalogues suivants à toutes
les personnes qui lui en font la demande. — Catalogue général. — Catalogues
de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire : I. Section de l'ingé-
nieur ; II. Section du biologiste. — Catalogue des ouvrages d'enseignement.

Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

Simon DUPLAY

Professeur à la Faculté de médecine
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu
Membre de l'Académie de médecine

Paul RECLUS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine
Chirurgien des hôpitaux
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

BERGER, BROCA, PIERRE DELBET, DELENS, DEMOULIN, J.-L. FAURE
FORGUE, GÉRARD MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER
KIRMISSON, LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT
PONCET, QUÉNU, RICARD, RIEFFEL, SEGOND, TUFFIER, WALTHER

Ouvrage complet

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE

8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte. 150 fr.

TOME I. — 1 vol. grand in-8° de 912 pages avec 218 figures 18 fr.

RECLUS. — Inflammations, traumatismes, maladies virulentes.
BROCA. — Peau et tissu cellulaire sous-cutané.

QUÉNU. — Des tumeurs.
LEJARS. — Lymphatiques, muscles, synoviales tendineuses et bourses séreuses.

TOME II. — 1 vol. grand in-8° de 996 pages avec 361 figures 18 fr.

LEJARS. — Nerfs.
MICHAUX. — Artères.
QUÉNU. — Maladies des veines.

RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.
PONCET. — Affections non traumatiques des os.

TOME III. — 1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures 18 fr.

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.
QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.

LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.
GÉRARD MARCHANT. — Crâne.
KIRMISSON. — Rachis.
S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.

TOME IV. — 1 vol. grand in-8° de 896 pages avec 354 figures 18 fr.

DELENS. — L'œil et ses annexes.
GÉRARD MARCHANT. — Nez, fosses

nasales, pharynx nasal et sinus.
HEYDENREICH. — Mâchoires.

TOME V. — 1 vol. grand in-8° de 948 pages avec 187 figures 20 fr.

BROCA. — Face et cou. Lèvres, cavité buccale, gencives, palais, langue, larynx, corps thyroïde.
HARTMANN. — Plancher buccal, glandes

des salivaires, œsophage et pharynx.
WALTHER. — Maladies du cou.
PEYROT. — Poitrine.
PIERRE DELBET. — Mamelle.

TOME VI. — 1 vol. grand in-8° de 1127 pages avec 218 figures 20 fr.

MICHAUX. — Parois de l'abdomen.
BERGER. — Hernies.
JALAGUIER. — Contusions et plaies de l'abdomen, lésions traumatiques et corps étrangers de l'estomac et de l'intestin. Occlusion intestinale, péritonites, appendicite.

HARTMANN. — Estomac.
FAURE et RIEFFEL. — Rectum et anus.
HARTMANN et GOSSET. — Anus contre nature. Fistules stercorales.
QUÉNU. — Mésentère. Rate. Pancréas.
SEGOND. — Foie.

TOME VII. 1 fort vol. gr. in-8° de 1272 pages, 297 fig. dans le texte 25 fr.

WALTHER. — Bassin.
FORGUE. — Urètre et prostate.
RECLUS. — Organes génitaux de l'homme.

RIEFFEL. — Affections congénitales de la région sacro-coccygienne.
TUFFIER. — Rein. Vessie. Urètres. Capsules surrénales.

TOME VIII. 1 fort vol. gr. in-8° de 971 pages, 163 fig. dans le texte 20 fr.

MICHAUX. — Vulve et vagin.
PIERRE DELBET. — Maladies de l'utérus.
SEGOND. — Annexes de l'utérus,

ovaires, trompes, ligaments larges péritoine pelvien.
KIRMISSON. — Maladies des membres.

Traité d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

P. POIRIER

Professeur agrégé
à la Faculté de Médecine de Paris
Chirurgien des Hôpitaux.

A. CHARPY

Professeur d'anatomie
à la Faculté de Médecine
de Toulouse.

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

O. Amoëdo — A. Branca — Cannieu — B. Cunéo — Paul Delbet
P. Fredet — Glantenay — Gosset — P. Jacques — Th. Jonnesco
E. Laguesse — L. Manouvrier — A. Nicolas — Nobécourt — O. Pasteau
M. Picou — A. Prenant — H. Rieffel — Ch. Simon. — A. Soulié

5 volumes grand in-8°. En souscription : 150 fr.

Chaque volume est illustré de nombreuses figures en noir et en couleurs.

ÉTAT DE LA PUBLICATION (DÉCEMBRE 1901)

- TOME PREMIER** (*Deuxième édition, revue et augmentée*). — **Embryologie.** Notions d'embryologie. — **Ostéologie.** Considérations générales, des membres, squelette du tronc, squelette de la tête. — **Arthrologie.** Développement des articulations, structure, articulations des membres, articulations du tronc, articulations de la tête. 1 vol. gr. in-8° avec 807 figures. 20 fr.
- TOME II** (*Deuxième édition revue et augmentée*). — 1^{er} Fascicule : **Myologie.** Embryologie, histologie, peauciers et aponévroses. 1 vol. gr. in-8° avec 331 figures 12 fr.
2^e Fascicule : **Angéiologie.** Cœur et Artères. Histologie. 1 vol. gr. in-8° avec 145 figures. 8 fr.
3^e Fascicule : **Angéiologie (Capillaires, Veines).** 1 vol. gr. in-8° avec 75 figures. 6 fr.
4^e Fascicule : **Les Lymphatiques** (sous presse).
- TOME III** (*Deuxième édition, revue et augmentée*). — 1^{er} Fascicule : **Système nerveux.** Méninges, moelle, encéphale, embryologie, histologie. 1 vol. gr. in-8° avec 263 figures 10 fr.
2^e Fascicule (*Deuxième édition, revue et augmentée*) : **Système nerveux.** Encéphale. 1 vol. grand in-8° avec 206 figures. 12 fr.
3^e Fascicule : **Système nerveux.** Les nerfs, nerfs crâniens, nerfs rachidiens. 1 vol. gr. in-8° avec 203 figures. 12 fr.
- TOME IV.** 1^{er} Fascicule (*Deuxième édition, revue et augmentée*) : **Tube digestif.** Développement, bouche, pharynx, œsophage, estomac, intestins. 1 vol. gr. in-8°, avec 201 figures 12 fr.
2^e Fascicule : **Appareil respiratoire.** Larynx, trachée, poumons, plèvre, thyroïde, thymus. 1 vol. gr. in-8°, avec 121 figures. 6 fr.
3^e Fascicule : **Annexes du tube digestif.** Dents, glandes salivaires, foie, voies biliaires; pancréas, rate, Péritoine. 1 vol. gr. in-8° avec 361 fig. en noir et en couleurs. 16 fr.
- TOME V.** 1^{er} Fascicule : **Organes génito-urinaires.** Reins, urètre, vessie, urètre, prostate, verge, périnée, appareil génital de l'homme, appareil génital de la femme. 1 vol. gr. in-8° avec 431 figures. 20 fr.
2^e Fascicule : **Les Organes des Sens** (sous presse).

CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD

BABINSKI, BALLEZ, P. BLOCC, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE, CUARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD, J. GUINON, G. GUINON, HALLION, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, CÉTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAULT, SOUQUES, THIBERGE, THOINOT, FERNAND WIDAL.

Traité de Médecine

DEUXIÈME ÉDITION

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

BOUCHARD

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Institut.

BRISSAUD

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

10 vol. gr. in-8°, av. fig. dans le texte. *En souscription.* 150 fr.

TOME I^{er}

1 vol. gr. in-8° de 845 pages, avec figures dans le texte. 16 fr.

Les Bactéries, par L. GUIGNARD, membre de l'Institut et de l'Académie de médecine, professeur à l'École de Pharmacie de Paris. — **Pathologie générale infectieuse**, par A. CHARRIN, professeur remplaçant au Collège de France, directeur du laboratoire de médecine expérimentale, médecin des hôpitaux. — **Troubles et maladies de la Nutrition**, par PAUL LE GENDRE, médecin de l'hôpital Tenon. — **Maladies infectieuses communes à l'homme et aux animaux**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte d'Aubervilliers.

TOME II

1 vol. grand in-8° de 894 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Fièvre typhoïde, par A. CHANTEMESSE, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies infectieuses**, par F. WIDAL, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Typhus exanthématique**, par L.-H. THOINOT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Fièvres éruptives**, par L. GUINON, médecin des hôpitaux de Paris. — **Erysipèle**, par E. BOIX, chef de laboratoire à la Faculté. — **Diphthérie**, par A. RUAULT. — **Rhumatisme**, par CÉTINGER, médecin des hôpitaux de Paris. — **Scorbut**, par TOLLEMER, ancien interne des hôpitaux.

TOME III

1 vol. grand in-8° de 702 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies cutanées, par G. THIBERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié. — **Maladies vénériennes**, par G. THIBERGE. — **Maladies du sang**, par A. GILBERT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Intoxications**, par A. RICHARDIÈRE, médecin des hôpitaux de Paris.

TOME IV

1 vol. grand in-8° de 680 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies de la bouche et du pharynx, par A. RUAULT. — **Maladies de l'estomac**, par A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral. — **Maladies du pancréas**, par A. MATHIEU. — **Maladies de l'intestin**, par COURTOIS-SUFFIT, médecin des hôpitaux. — **Maladies du péritoine**, par COURTOIS-SUFFIT.

TOME V

1 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en coul. dans le texte. 18 fr.

Maladies du foie et des voies biliaires, par A. CHAUFFARD, professeur agrégé, médecin des hôpitaux. — **Maladies du rein et des capsules surrénales**, par A. BRAULT, médecin des hôpitaux. — **Pathologie des organes hématopoétiques et des glandes vasculaires sanguines**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte d'Aubervilliers.

TOME VI

1 vol. grand in-8° de 612 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies du nez et du larynx, par A. RUAULT. — **Asthme**, par E. BRISAUD, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Saint-Antoine. — **Coqueluche**, par P. LE GENDRE, médecin des hôpitaux. — **Maladies des bronches**, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Troubles de la circulation pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies aiguës du poumon**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux.

TOME VII

1 vol. grand in-8° de 550 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies chroniques du poumon, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Phtisie pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies de la plèvre**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies du médiastin**, par A.-B. MARFAN.

Sous presse : Tome VIII.

Traité de Physiologie

J.-P. MORAT

Professeur à l'Université de Lyon.

PAR

Maurice DOYON

Professeur agrégé
à la Faculté de médecine de Lyon

5 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en couleurs. En souscription. 50 fr.

- I. — **Fonctions de nutrition** : Circulation, par M. DOYON; Calorification, par P. MORAT. 1 vol. gr. in-8° avec 173 figures en noir et en couleurs. 12 fr.
 II. — **Fonctions de nutrition (suite et fin)** : Respiration, excrétion, par J.-P. MORAT; Digestion, Absorption, par M. DOYON. 1 vol. gr. in-8°, avec 167 figures en noir et en couleurs. 12 fr.

Sous presse : Système nerveux.

Traité de Chirurgie d'urgence

Par **Félix LEJARS**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris
Chirurgien de l'hôpital Tenon, Membre de la Société de Chirurgie.

TROISIÈME ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE

1 vol. gr. in-8° de 1003 pages, avec 731 fig. dont 331 dessinées d'après nature, par le Dr DALEINE, et 172 fotogr. origin. Relié toile. 25 fr.

Traité des Maladies de l'Enfance

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

J. GRANCHER

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Académie de médecine, médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

J. COMBY

Médecin des hôpitaux.

A.-B. MARFAN

Agrégé, Médecin des hôpitaux

5 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. . 90 fr.

CHAQUE VOLUME EST VENDU SÉPARÉMENT

Traité de Pathologie générale

Publié par **Ch. BOUCHARD**

Membre de l'Institut

Professeur de pathologie générale à la Faculté de Médecine de Paris.

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : **G.-H. ROGER**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, Médecin des hôpitaux.

COLLABORATEURS :

MM. ARNOZAN, D'ARSONVAL, BENNI, R. BLANCHARD, BOULAY, BOURCY, BRUN; CADIOT, CHABRIÉ, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURMONT, DEJERINE, PIERRE DELBET, DEVIC, DUCAMP, MATHIAS DUVAL, FÈRE, FRÉMY, GAUCHER, GILBERT, GLEY, GUIGNARD, LOUIS GUINON, J.-F. GUYON, HALLÉ, HÉNOQUE, HUGOUNENQ, LAMBLING, LANDOUZY, LAVERAN, LEHRETON, LE GENDRE, LEJARS, LE NOIR, LERMOYEZ, LETULLE, LUBET-BARBON, MARFAN, MAYOR, MÉNÉTRIER, NETTER, PIERRET, G.-H. ROGER, GABRIEL ROUX, RUFFER, RAYMOND, TRIPIER, VULLEMIN, FERNAND WIDAL.

6 volumes grand in-8°, avec figures dans le texte.

Prix en souscription jusqu'à la publication du t. VI. 420 fr.

TOME I

4 vol. grand in-8° de 1018 pages avec figures dans le texte : 48 fr.

Introduction à l'étude de la pathologie générale. — Pathologie comparée de l'homme et des animaux. — Considérations générales sur les maladies des végétaux. — Pathologie générale de l'embryon. Tératogénie. — L'hérédité et la pathologie générale. — Prédilection et immunité. — La fatigue et le surmenage. — Les Agents mécaniques. — Les Agents physiques. Chaleur. Froid. Lumière. Pression atmosphérique. Son. — Les Agents physiques. L'énergie électrique et la matière vivante. — Les Agents chimiques : les caustiques. — Les intoxications.

TOME II

1 vol. grand in-8° de 940 pages avec figures dans le texte : 18 fr.

L'infection. — Notions générales de morphologie bactériologique. — Notions de chimie bactériologique. — Les microbes pathogènes. — Le sol, l'eau et l'air, agents des maladies infectieuses. — Des maladies épidémiques. — Sur les parasites des tumeurs épithéliales malignes. — Les parasites.

TOME III

1 vol. in-8° de 1400 pages, avec figures dans le texte, publié en deux fascicules : 28 fr.

Fasc. I. — Notions générales sur la nutrition à l'état normal. — Les troubles préalables de la nutrition. — Les réactions nerveuses. — Les processus pathologiques de deuxième ordre.

Fasc. II. — Considérations préliminaires sur la physiologie et l'anatomie pathologiques. — De la fièvre. — L'hypothermie. — Mécanisme physiologique des troubles vasculaires. — Les désordres de la circulation dans les maladies. — Thrombose et embolie. — De l'inflammation. — Anatomie pathologique générale des lésions inflammatoires. — Les altérations anatomiques non inflammatoires. — Les tumeurs.

TOME IV

1 vol. in-8° de 719 pages avec figures dans le texte : 16 fr.

Evolution des maladies. — Sémiologie du sang. — Spectroscopie du sang. Sémiologie. — Sémiologie du cœur et des vaisseaux. — Sémiologie du nez et du pharynx nasal. — Sémiologie du larynx. — Sémiologie des voies respiratoires. — Sémiologie générale du tube digestif.

TOME V

1 fort vol. in-8° de 1180 pages avec nombr. figures dans le texte : 28 fr.

Sémiologie du foie. — Pancréas. — Analyse chimique des urines. — Analyse microscopique des urines (Histo-bactériologique). — Le rein, l'urine et l'organisme. — Sémiologie des organes génitaux. — Sémiologie du système nerveux.

TOME VI

1 vol. grand in-8° avec figures dans le texte (sous presse)

Les troubles de l'intelligence. — Sémiologie de la peau. — Sémiologie de l'appareil visuel. — Sémiologie de l'appareil auditif. — Considérations sur le diagnostic et le pronostic. — Diagnostic et pronostic. — Radiographie. — Hygiène. — Thérapeutique générale.

Traité de Physique Biologique

publié sous la direction de MM.

D'ARSONVAL

Professeur au Collège de France
Membre de l'Institut et de l'Académie
de médecine.

GARIEL

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées
Prof. à la Faculté de médecine de Paris
Membre de l'Académie de médecine.

CHAUVEAU

Profes. au Muséum d'histoire naturelle
Membre de l'Institut
et de l'Académie de médecine.

MAREY

Professeur au Collège de France
Membre de l'Institut
et de l'Académie de médecine.

Secrétaire de la rédaction : **M. WEISS**

Ingénieur des Ponts et Chaussées
Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris

3 vol. in-8°. En souscription 60 fr.

TOME PREMIER

1 fort volume in-8°, avec 591 figures dans le texte. . 25 fr.

Sous Presse : Tome II

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL

Dr CRITZMAN, directeur

Suite de Monographies cliniques

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES

en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

Chaque monographie est vendue séparément. 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix payable d'avance de 10 fr. pour la France et 12 fr. pour l'étranger (port compris).

DERNIÈRES MONOGRAPHIES PUBLIÉES

- N° 24. **L'Analgésie chirurgicale par voie rachidienne** (*Injections sous-arachnoïdiennes de cocaïne*). Technique, résultats, indications, par le Dr TUFFIER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, chirurgien des hôpitaux.
- N° 25. **L'Asepsie opératoire**, par PIERRE DELBET, chirurgien des hôpitaux, professeur agrégé à la Faculté de médecine, et BIGEARD, chef de clinique.
- N° 26. **Anatomie chirurgicale et médecine opératoire de l'oreille moyenne**, par AUG. BROCA, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, chirurgien des hôpitaux.
- N° 27. **Traitements modernes de l'hypertrophie de la Prostatae**, par le Dr E. DESNOS, ancien interne des hôpitaux.
- N° 28. **La Gastro-entérostomie**, par MM. ROUX et BOURGET, professeurs de l'Université à Lausanne.

Traité élémentaire de Clinique Thérapeutique

Par le D^r Gaston LYON

Ancien chef de Clinique médicale à la Faculté de Médecine de Paris.

QUATRIÈME ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE

1 fort volume in-8° de 1.540 pages, cartonné toile : 25 francs.

Maladies de l'Estomac, *Traité pratique à l'usage des médecins et des étudiants*, par le D^r Max EINHORN, professeur de clinique médicale à l'École de médecine et à l'hôpital post-graduate de New-York, médecin du Dispensaire allemand. Traduit de l'anglais par le D^r FERRÉOL T. LABADIE (de New-York). 1 volume in-8° avec figures dans le texte. 8 fr.

Manuel de Thérapeutique, par Fernand BERLIOZ, professeur à l'École de médecine de Grenoble, directeur du Bureau d'Hygiène et de l'Institut sérothérapique. Avec une introduction de M. Ch. BOUCHARD, professeur de pathologie et de thérapeutique générales, médecin des hôpitaux. *Quatrième édition, revue et augmentée*. 1 vol. in-16 diamant, cartonné toile, tranches rouges. 6 fr.

Précis d'anatomie pathologique, par L. BARD, professeur à la Faculté de médecine de l'Université de Lyon, médecin de l'Hôtel-Dieu. *Deuxième édition, revue et augmentée*, avec 125 figures dans le texte. 1 volume in-16 diamant, de XII-804 pages, cartonné toile, tranches rouges 7 fr. 50

Leçons sur les maladies du sang (*Clinique de l'Hôpital Saint-Antoine*), par Georges HAYEM, professeur à la Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine, recueillies par MM. E. PARMENTIER, médecin des hôpitaux, et R. BENSANDE, chef du laboratoire d'anatomie pathologique à l'hôpital Saint-Antoine. 1 vol. in-8°, broché, avec 4 planches en couleurs, par M. KARMANSKI 15 fr.

Précis d'Histologie, par Mathias DUVAL, professeur à la Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine. *Deuxième édition, revue et augmentée*, illustrée de 427 figures dans le texte. 1 vol. gr. in-8° de 1020 pages 18 fr.

Traité de Microbiologie, par E. DUCLAUX, membre de l'Institut de France, directeur de l'Institut Pasteur, professeur à la Sorbonne et à l'Institut national agronomique. 1 vol. gr. in-8°.

I. Microbiologie générale. — II. Diastases, toxines et venins. — III. Fermentation alcoolique. — IV. Fermentations variées des diverses substances ternaires.

Chaque volume grand in-8°, avec figures dans le texte . . 15 fr.

Manuel de Pathologie externe, par MM. RECLUS, KIR-
MISSON, PEYROT, BOUILLY, professeurs agrégés à la Faculté de
médecine de Paris, chirurgiens des hôpitaux. Édition complète
illustrée de 720 figures. 4 volumes in-8°. 40 fr.
Chaque volume est vendu séparément. 10 fr.

Cliniques chirurgicales de l'Hôtel-Dieu, par
Simon DUPLAY, professeur de clinique chirurgicale à la Faculté
de médecine, membre de l'Académie de médecine, chirurgien de
l'Hôtel-Dieu, recueillies et publiées par les D^{rs} M. CAZIN, chef
de clinique chirurgicale à l'Hôtel-Dieu, et S. CLADO, chef des tra-
vaux gynécologiques. *Troisième série.* 1 vol. gr. in-8° avec fig. 8 fr.

Éléments de Chimie physiologique, par Maurice
ARTHUS, professeur de physiologie et de chimie physiologique à
l'Université de Fribourg. *Troisième édition revue et augmentée.* 1 vol.
in-16, avec fig. dans le texte, cartonné toile, tr. rouges . . . 4 fr.

Manuel d'Anatomie microscopique et d'Histologie,
par P.-E. LAUNOIS, professeur agrégé à la Faculté de médecine de
Paris, médecin de l'hôpital Tenon. Préface de M. Mathias DUVAL,
professeur d'Histologie à la Faculté de Paris, membre de l'Académie
de médecine. *Deuxième édition entièrement refondue.* 1 vol. in-16
diamant, cartonné toile avec 261 figures dans le texte . . . 8 fr.

Manuel de Pathologie interne, par Georges DIEULAFOY,
professeur de Clinique médicale à la Faculté de médecine de Paris,
médecin de l'Hôtel-Dieu, membre de l'Académie de médecine. *Trei-
zième édition entièrement refondue et considérablement augmentée.*
4 vol. in-16 diamant, avec figures en noir et en couleurs, cartonnés
à l'anglaise, tranches rouges. 28 fr.

Un progrès de l'Hydrothérapie. *Examen et critique des
systèmes de Priessnitz et de Kneipp.* Exposé fait pour la première
fois d'après les documents authentiques, par le D^r Alfred BAUM-
GARTEN, directeur de l'Établissement de Wœrishofen. Traduction
française par le D^r ERNEST BONNAVMÉ, de Lyon. 1 vol. in-8° br. 6 fr.

LES

Maladies Infectieuses

PAR

G.-H. ROGER

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris
Médecin de l'hôpital de la porte d'Aubervilliers, Membre de la Société de Biologie

1 volume in-8° de 1.480 pages publié en 2 fascicules avec figures
dans le texte. 28 fr.

Éléments de Physiologie

PAR

Maurice ARTHUS

Chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille.

1 vol. in-16 de la Bibliothèque Diamant, avec figures dans le texte, cartonné toile 8 fr.

LES MALADIES DU CUIR CHEVELU

I. MALADIES SÉBORRHÉIQUES

Séborrhée, Acnés, Calvitie

Par le **D^r R. SABOURAUD**

Chef du laboratoire de la Ville de Paris à l'hôpital Saint Louis
Membre de la Société de Dermatologie.

1 vol. in-8°, avec 91 figures dans le texte dont 40 aquarelles en couleurs 10 fr.

Traité d'Hygiène

PAR

A. PROUST

Professeur d'Hygiène à la Faculté de médecine de l'Université de Paris
Médecin honoraire de l'Hôtel-Dieu

Membre de l'Académie de médecine, du Comité consultatif d'hygiène publique de France et du Conseil supérieur des habitations à bon marché
Inspecteur général des Services sanitaires.

TROISIÈME ÉDITION

revue et considérablement augmentée

AVEC LA COLLABORATION DE

A. NETTER

et

H. BOURGES

Professeur agrégé à la Faculté de médecine

Médecin de l'hôpital Trousseau
Membre du Comité consultatif d'hygiène publique de France.

Chef du laboratoire d'hygiène à la Faculté de médecine

Chef du laboratoire à l'hôpital Trousseau
Auditeur du Comité consultatif d'hygiène publique de France.

Ouvrage couronné par l'Institut et la Faculté de médecine

1 vol. in-8°, avec figures et cartes dans le texte, publié en 2 fascicules. En souscription 18 fr.

Bibliothèque

d'Hygiène thérapeutique

DIRIGÉE PAR

Le Professeur PROUST

Membre de l'Académie de médecine, Médecin de l'Hôtel-Dieu,
Inspecteur général des Services sanitaires.

Chaque ouvrage forme un volume in-16, cartonné toile, tranches rouges,
et est vendu séparément : 4 fr.

Chacun des volumes de cette collection n'est consacré qu'à une seule maladie ou à un seul groupe de maladies. Grâce à leur format, ils sont d'un maniement commode. D'un autre côté, en accordant un volume spécial à chacun des grands sujets d'hygiène thérapeutique, il a été facile de donner à leur développement toute l'étendue nécessaire.

L'hygiène thérapeutique s'appuie directement sur la pathogénie ; elle doit en être la conclusion logique et naturelle. La genèse des maladies sera donc étudiée tout d'abord. On se préoccupera moins d'être absolument complet que d'être clair. On ne cherchera pas à tracer un historique savant, à faire preuve de brillante érudition, à encombrer le texte de citations bibliographiques. On s'efforcera de n'exposer que les données importantes de pathogénie et d'hygiène thérapeutique et à les mettre en lumière.

VOLUMES PARUS

- L'Hygiène du Goutteux**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène de l'Obèse**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène des Asthmatiques**, par E. BRISSAUD, professeur agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.
- L'Hygiène du Syphilitique**, par H. BOURGES, préparateur au laboratoire d'hygiène de la Faculté de médecine.
- Hygiène et thérapeutique thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- Les Cures thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- L'Hygiène du Neurasthénique**, par le professeur PROUST et G. BALLEZ, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. (*Deuxième édition.*)
- L'Hygiène des Albuminuriques**, par le Dr SPRINGER, ancien interne des hôpitaux de Paris, chef de laboratoire de la Faculté de médecine à la Clinique médicale de l'hôpital de la Charité.
- L'Hygiène du Tuberculeux**, par le Dr CHUQUET, ancien interne des hôpitaux de Paris, avec une introduction du Dr DAREMBERG, membre correspondant de l'Académie de médecine.
- Hygiène et thérapeutique des maladies de la Bouche**, par le Dr CRUET, dentiste des hôpitaux de Paris, avec une préface de M. le professeur LANNELONGUE, membre de l'Institut.
- Hygiène des maladies du Cœur**, par le Dr VAQUEZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, avec une préface du professeur POTAIN.
- Hygiène du Diabétique**, par A. PROUST et A. MATHIEU.
- L'Hygiène du Dyspeptique**, par le Dr LINOSSIER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Lyon, membre correspondant de l'Académie de médecine, médecin à Vichy.

Traité

DE

Chimie industrielle

Par R. WAGNER et F. FISCHER

QUATRIÈME ÉDITION FRANÇAISE ENTIÈREMENT REFONDUE

Rédigée d'après la quinzième édition allemande

par le D^r L. GAUTIER

2 vol. grand in-8° avec de nombreuses figures dans le texte

En souscription. 30 fr.

Dans cette quatrième édition, l'ouvrage a subi un remaniement si complet et si profond qu'on peut le considérer comme un livre nouveau, absolument au niveau des progrès de la science et répondant de la manière la plus complète aux besoins de l'industrie chimique actuelle. Tous les perfectionnements de la chimie technologique y sont exposés avec tous les développements qu'ils comportent et afin de rendre encore plus facile l'intelligence du texte, de nombreuses figures nouvelles ont été introduites.

Ainsi refondue et mise au courant, nous espérons que la nouvelle édition française de la *Chimie industrielle* recevra de la part du public un accueil aussi favorable que celui qui a été fait aux éditions précédentes.

Charles Gerhardt. *Sa vie, son Œuvre, sa Correspondance* (1816-1856). Document d'Histoire de la Chimie, par MM. Édouard Grimaud, de l'Institut et Charles Gerhardt, ingénieur. 1 vol. in-8° de xi-595 p. avec portrait. 15 fr.

Le Constructeur, principes, formules, tracés, tables et renseignements pour l'établissement des *projets de machines* à l'usage des ingénieurs, constructeurs, architectes, mécaniciens, etc., par F. Reuleaux. *Troisième édition française*, par A. Debize, ingénieur des manufactures de l'État. 1 volume in-8° avec 184 figures. 30 fr.

Traité d'analyse chimique qualitative, par R. Frésenius. Traité des opérations chimiques, des réactifs et de leur action sur les corps les plus répandus, essais au chalumeau, analyse des eaux potables, des eaux minérales, du sol, des engrais, etc. Recherches chimico-légales, analyse spectrale. *Neuvième édition française* d'après la 16^e édition allemande, par L. Gautier. 1 vol. in-8° avec grav. et un tableau chromolithographique 7 fr.

Traité d'analyse chimique quantitative, par R. Frésenius. Traité du dosage et de la séparation des corps simples et composés les plus usités en pharmacie, dans les arts et en agriculture, analyse par les liqueurs titrées, analyse des eaux minérales, des cendres végétales, des sols, des engrais, des minerais métalliques, des fontes, dosage des sucres, alcalimétrie, chlorométrie, etc. *Septième édition française*, traduite sur la 6^e édition allemande, par L. Gautier. 1 vol. in-8° avec 251 grav. dans le texte . . . 16 fr.

Traité d'Analyse chimique quantitative par Electrolyse, par **J. RIBAN**, professeur Chargé du cours d'Analyse chimique et maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. 1 volume grand in-8°, avec 96 figures dans le texte **9 fr.**

Manuel pratique de l'Analyse des Alcools et des Spiritueux, par **Charles GIRARD**, directeur du Laboratoire municipal de la Ville de Paris, et **Lucien CUNIASSE**, chimiste-expert de la Ville de Paris. 1 volume in-8° avec figures et tableaux dans le texte. Relié toile **7 fr.**

Chimie Végétale et Agricole (Station de Chimie végétale de Meudon, 1883-1889), par **M. BERTHELOT**, sénateur, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, professeur au Collège de France. 4 volumes in-8° avec figures dans le texte . . . **36 fr.**

Précis de Chimie analytique, Analyse qualitative, Analyse quantitative par liqueurs titrées, Analyse des gaz, Analyse organique élémentaire, Analyses et Dosages relatifs à la Chimie agricole, Analyse des vins, Essais des principaux minerais, par **J.-A. MULLER**, docteur ès sciences, professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger. 1 volume in-12, broché. **3 fr.**

COURS PRÉPARATOIRE AU CERTIFICAT

D'ÉTUDES PHYSIQUES, CHIMIQUES & NATURELLES (P. C. N.)

Cours élémentaire de Zoologie, par **Rémy PERRIER**, maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris, chargé du Cours de Zoologie pour le Certificat d'études P. C. N. *Nouvelle édition*, entièrement revue. 1 volume in-8° avec 693 figures dans le texte, relié toile **10 fr.**

Traité des Manipulations de Physique, par **B.-C. DAMIEN**, professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Lille, et **R. PAILLOT**, agrégé, chef des Travaux pratiques de physique à la Faculté des Sciences de Lille. 1 vol. in-8° avec 216 fig. **7 fr.**

Eléments de Chimie organique et de Chimie biologique, par **W. ŒCHSNER DE CONINCK**, professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier. 1 volume in-16. . . **2 fr.**

Eléments de Chimie des métaux, par **W. ŒCHSNER DE CONINCK**, professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier. 1 volume in-16 **2 fr.**

Eléments de Botanique, par **Ph. VAN TIEGHEM**, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle. *Troisième édition*, revue et augmentée. 2 volumes in-16 de 1.170 pages avec 580 figures, cartonnés toile **12 fr.**

OUVRAGES DE M. A. DE LAPPARENT

Membre de l'Institut, professeur à l'École libre des Hautes-Études.

TRAITÉ DE GÉOLOGIE

QUATRIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

3 vol. grand in-8°, avec nomb. fig. cartes et croquis . . . 35 fr.

- Abrégé de géologie.** *Quatrième édition, entièrement refondue.* 1 vol. in-16 de VIII-299 pages avec 141 gravures et une carte géologique de la France en chromolithographie, cartonné toile 3 fr.
- Notions générales sur l'écorce terrestre.** 1 vol. in-16 de 136 pages avec 33 figures, broché. 1 fr. 20
- La géologie en chemin de fer.** Description géologique du Bassin parisien et des régions adjacentes (Bretagne aux Vosges. — Belgique à Auvergne). 1 vol. in-18 de 608 pages, avec 3 cartes chromolithographiées, cartonné toile. 7 fr. 50
- Cours de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de XX-703 pages avec 619 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée. 15 fr.
- Précis de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. in-16 de XII-398 pages avec 235 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée, cartonné toile. 5 fr.
- Leçons de géographie physique.** *Deuxième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de XVI-718 pages avec 162 figures dans le texte et une planche en couleurs. 12 fr.
- Le siècle du Fer.** 1 vol. in-18 de 360 pages, broché 2 fr. 50
-

Guides du Touriste, du Naturaliste et de l'Archéologue

publiés sous la direction de M. Marcellin BOULE

- Le Cantal,** par Marcellin BOULE, docteur ès sciences, Louis FARGES, archiviste-paléographe. 1 volume in-16 avec 85 dessins et photographies, et 2 cartes en coul., relié toile anglaise. 4 fr. 50
- La Lozère,** par Ernest CORD, ingénieur-agronome, Gustave CORD, docteur en droit, avec la collaboration de M. Armand VIRÉ, docteur ès sciences. 1 vol. in-16 avec 87 dessins et photographies et cartes en couleurs. 4 fr. 50
- Le Puy-de-Dôme et Vichy,** par Marcellin BOULE, docteur ès sciences, Ph. GLANGEAUD, maître de conférences à l'Université de Clermont, G. ROUCHON, archiviste du Puy-de-Dôme, A. VERNIÈRE, ancien président de l'Académie de Clermont. 1 vol. in-16, avec 109 dessins ou photographies et 3 cartes en couleur. Cartonné toile. 4 fr. 50

~~~~~  
Pour paraître en mai 1902 : La Haute-Savoie?

MISSION SAHARIENNE FOUREAU-LAMY

# D'Alger au Congo par le Tchad

Par F. FOUREAU

Lauréat de l'Institut.

1 fort volume in-8°, avec 170 figures reproduites directement d'après les photographies de l'auteur, et une carte en couleurs des régions explorées par la Mission.

Broché : 12 francs. — Richement cartonné : 15 francs.

## Traité de Zoologie

Par Edmond PERRIER

Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine,  
Directeur du Muséum d'Histoire Naturelle.

|                                                                                                       |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| FASCICULE I : Zoologie générale. 1 vol. gr. in-8° de 412 p. avec 458 figures dans le texte.           | 12 fr. |
| FASCICULE II : Protozoaires et Phytozoaires. 1 vol. gr. in-8° de 452 p., avec 243 figures.            | 10 fr. |
| FASCICULE III : Arthropodes. 1 vol. gr. in-8° de 480 pages, avec 278 figures.                         | 8 fr.  |
| Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol. in-8° de 1344 pages, avec 980 figures. | 30 fr. |
| FASCICULE IV : Vers et Mollusques. 1 vol. gr. in-8° de 792 pages, avec 566 figures dans le texte.     | 16 fr. |
| FASCICULE V : Amphioxus, Tuniciers. 1 vol. gr. in-8° de 221 pages, avec 97 figures dans le texte.     | 6 fr.  |
| FASCICULE VI : Vertébrés. (Sous presse).                                                              |        |

### PETITE BIBLIOTHÈQUE DE " LA NATURE "

**Recettes et Procédés utiles**, recueillis par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. Neuvième édition.

**Recettes et Procédés utiles. Deuxième série : La Science pratique**, par Gaston TISSANDIER. Cinquième édition, avec figures dans le texte.

**Nouvelles Recettes utiles et Appareils pratiques. Troisième série**, par Gaston TISSANDIER. Quatrième édition, avec 91 figures dans le texte.

**Recettes et Procédés utiles. Quatrième série**, par Gaston TISSANDIER. Troisième édition, avec 38 figures dans le texte.

**Recettes et Procédés utiles. Cinquième série**, par J. LAFFARGUE, secrétaire de la rédaction de *la Nature*. Avec figures dans le texte.

Chacun de ces volumes in-18 est vendu séparément

Broché . . . . . 2 fr. 25 | Cartonné toile . . . . . 3 fr.

**La Physique sans appareils et la Chimie sans laboratoire**, par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. Septième édition des *Récréations scientifiques*. Ouvrage couronné par l'Académie (Prix Montyon). Un volume in-8° avec nombreuses figures dans le texte. Broché, 3 fr. Cartonné toile, 4 fr.

# LA GÉOGRAPHIE

BULLETIN'

DE LA

Société de Géographie

PUBLIÉ TOUS LES MOIS PAR

LE BARON HULOT, Secrétaire général de la Société

ET

M. CHARLES RABOT, Secrétaire de la Rédaction

**ABONNEMENT ANNUEL** : PARIS : 24 fr. — DÉPARTEMENTS : 26 fr.

ÉTRANGER : 28 fr. — Prix du numéro : 2 fr. 50

Chaque numéro, du format grand in-8°, composé de 80 pages et accompagné de cartes et de gravures nombreuses, comprend des mémoires, une chronique, une bibliographie et le compte rendu des séances de la Société de Géographie. Cette publication n'est pas seulement un recueil de récits de voyages pittoresques, mais d'observations et de renseignements scientifiques.

La chronique, rédigée par des spécialistes pour chaque partie du monde fait connaître, dans le plus bref délai, toutes les nouvelles reçues des voyageurs en mission par la Société de Géographie, et présente un résumé des renseignements fournis par les publications étrangères : elle constitue, en un mot, un résumé du *mouvement géographique* pour chaque mois.

---

# La Nature

REVUE ILLUSTRÉE

*des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie*

DIRECTEUR : **Henri de PARVILLE**

**Abonnement annuel** : Paris : 20 fr. — Départements : 25 fr. ✓

Union postale : 26 fr.

**Abonnement de six mois** : Paris : 10 fr. — Départements : 12 fr. 50.

— Union postale : 13 fr.

Fondée en 1873 par GASTON TISSANDIER, la *Nature* est aujourd'hui le plus important des journaux de vulgarisation scientifique par le nombre de ses abonnés, par la valeur de sa rédaction et par la sûreté de ses informations. Elle doit ce succès à la façon dont elle présente la science à ses lecteurs en lui ôtant son côté aride tout en lui laissant son côté exact, à ce qu'elle intéresse les savants et les érudits aussi bien que les jeunes gens et les personnes peu familiarisées avec les ouvrages techniques; à ce qu'elle ne laisse, enfin, rien échapper de ce qui se fait ou se dit de neuf dans le domaine des découvertes qui trouvent chaque jour des applications nouvelles et modifient sans cesse les conditions de notre vie.

---

Paris. — LA MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 552.