

Section de l'Ingénieur



E. VIGNERON ET P. LETHEULE

MESURES

ÉLECTRIQUES

ESSAIS DE LABORATOIRE

GAUTHIER-VILLARS

MASSON ET C^{ie}

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

Section de l'Ingénieur

MM.	MM.	MM.
Alain-Abadie.	Gassaud.	Margerie.
Alheilig.	Gastine.	Meyer (Ernest).
Ariès (Comm ^t).	Gautier (Henri).	Michel-Lévy.
Armengaud jeune.	Godard.	Minel (P.).
Arnaud.	Gossot (Lt.-Cl ^t).	Minet (Ad.).
Barillot.	Gouilly.	Miron.
Bassot (G ^{al}).	Grouvelle (Jules).	Moëssard (Cl ^t).
Baume-Pluvinel (dela)	Guenez.	Moissan.
Bérard (A.).	Guye (C. Eug.).	Moissenet.
Bergeron (J.).	Guye (Ph.-A.).	Monnier.
Berthelot.	Guillaume (Ch.-Ed.).	Moreau (Aug.).
Bertin.	Guyou (Comm ^t).	Müller (Ph. T.).
Bertrand (L.)	Haller (A.).	Niewenglowski (G. H.).
Biglia.	Hatt.	Naudin (Laurent).
Billy (Ed. de).	Hébert.	Ocagne (d').
Bloch (Fr.).	Hennebert (Cl ^t).	Otto (M.).
Blondel.	Henriet.	Ouvrard.
Boire (Em.).	Hérisson.	Paloque.
Bordet.	Hospitalier (E.).	Périssé (L.).
Bornecque.	Hubert (H.).	Perrin.
Boucheron (H.).	Hutin.	Perrotin.
Bourelt.	Jacométy.	Picou (R.-V.).
Boursault (H.)	Jacquet (Louis).	Poulet (J.).
Boussac (A.)	Jaubert.	Prud'homme.
Candlot.	Jean (Ferdinand).	Rateau.
Caspari.	Labbé (H.).	Resal (J.).
Charpy (G.).	Launay (de).	Ricaud.
Clerc (L.-P.).	Laurent (H.).	Rocques (X.).
Clugnet.	Laurent (P.).	Rocques-Desvallées.
Croneau.	Laurent (Th.).	Rouché.
Damour.	Lavergne (Gérard)	Sarrau.
Dariès.	Léauté (H.).	Sartiaux (E.).
Defforges (Lt.-Col.).	Le Chatelier (H.).	Sauvage.
Delafond.	Lecornu.	Seguela.
Drzewiecki.	Lecomte.	Seyrig (T.).
Dudebout.	Lefèvre (J.).	Sidersky.
Dufour (A.).	Lejeal.	Simart.
Dumont (G.).	Leloutre.	Sinaglia.
Duquesnay.	Lenicque.	Sorel (E.).
Durin.	Le Verrier.	Trillat.
Dwelshauvers-Dery.	Lindet (L.).	Urbain.
Fabre (Ch.).	Lippmann (G.).	Vallier (Comm ^t).
Fabry.	Loppé.	Vermand.
Fourment.	Lumière (A.).	Viaris (de).
Fribourg (Cl ^t).	Lumière (L.).	Vigneron.
Frouin.	Madamet (A.).	Vivet (L.).
Gages (Cap.)	Magnier de la Source.	Wallon (E.).
Garnier.	Marchena (de).	Widmann.
		Witz (Aimé).

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉ

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

VIGNERON — Mesures électriques, I

1

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

N° 252 B

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

MESURES ÉLECTRIQUES

ESSAIS DE LABORATOIRE

PAR

EUG. VIGNERON

Ancien Professeur à l'École supérieure d'Electricité
Ancien Ingénieur du service technique
de la Compagnie générale des Omnibus de Paris

ET

P. LETHEULE

Ingénieur à la C^{ie} Thomson-Houston

PARIS

GAUTHIER-VILLARS	MASSON et C ^{ie} , ÉDITEURS,
IMPRIMEUR-ÉDITEUR	LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Quai des Grands-Augustins, 55	Boulevard Saint-Germain, 120
(Tous droits réservés)	

MESURES ÉLECTRIQUES

ESSAIS DE LABORATOIRE

INTRODUCTION

Une grandeur est une quantité susceptible d'augmentation ou de diminution.

Une grandeur est dite mesurable quand on peut la comparer à une grandeur de même espèce et que le résultat de la comparaison donne à notre esprit une satisfaction complète; la caractéristique d'une grandeur mesurable est qu'elle soit concevable dans la somme et dans l'égalité, car l'esprit ne sera satisfait :

1° qu'autant qu'il lui sera possible de concevoir l'identité absolue entre deux grandeurs de même espèce;

2° qu'autant qu'il pourra concevoir et exprimer le groupement de grandeurs de même espèce;

Exemples : une longueur est une grandeur mesurable, car la longueur est concevable dans l'égalité et la somme.

Une teinte n'est pas une grandeur mesurable, car si on la peut concevoir dans l'égalité, on ne peut pas la concevoir dans la somme.

L'intelligence n'est pas une grandeur mesurable, car elle n'est concevable ni dans l'égalité ni dans la somme.

En réalité, la classification actuelle des grandeurs ne peut pas être considérée comme définitive, et la véritable définition d'une grandeur mesurable serait la suivante :

On appelle grandeur mesurable, toute grandeur telle qu'il soit possible de lui trouver une manifestation absolument caractéristique se prêtant actuellement aux conditions d'égalité et de groupement (1).

Un exemple fera mieux comprendre cette définition. Au siècle dernier, les physiciens employaient sans cesse l'expression de force électrique; le mot, comme les idées, était vague, ils évitaient par deux mots la périphrase : cause déterminant un phénomène électrique.

(1) C'est même grâce au *choix judicieux* de manifestations caractéristiques des grandeurs électriques saisissables et actuellement mesurables qu'on a pu arriver à la comparaison et à la mesure des grandeurs telles que la *pression électrique*, l'*intensité électrique*, etc., dont les notions sont développées au Chap. III.

Tant que les physiciens se contentèrent de cette grandeur non mesurable, la science avança peu, car tout ensemble de phénomènes qui ne peuvent être reliés par des lois numériques, ne constitue pas une science. Ce ne fut qu'à partir de l'époque où les physiciens remplacèrent cette notion de cause première par une de ses manifestations mesurables, la *tension électrique*, homogène à une différence de potentiel, que l'électricité eut une base et fit des progrès rapides.

Unités. — Mais, pour relier les grandeurs considérées par des lois numériques (1), il faut aussi choisir une grandeur de même espèce, commode en son emploi, bien susceptible d'être connue de tout le monde, réalisable facilement dans le temps et dans l'espace et à laquelle seront comparées toutes les grandeurs de même espèce. Cette grandeur s'appelle unité.

Il y a plus, les unités des diverses grandeurs devront, pour les commodités de la pratique, être choisies convenablement. Un exemple en fera mieux comprendre la nécessité.

(1) Nous avons dit plus haut que les nombres exprimant ces mesures dérivait, soit de la comparaison directe des grandeurs elles-mêmes, soit de la comparaison de leurs manifestations caractéristiques mesurables.

Supposons qu'au lieu de prendre : 1° comme unité d'aire, le carré construit sur l'unité de longueur ; 2° comme unité de volume, le cube construit sur l'unité de longueur, on ait eu l'étrange idée de prendre : 1° comme unité d'aire le rectangle ayant pour côtés les longueurs 1 et 7 ; comme unité de volume le parallélépipède ayant comme arêtes les longueurs 1, $\frac{2}{9}$ et 5. Cherchons maintenant la complication dans l'énoncé de quelques-uns des théorèmes de géométrie.

L'aire d'un triangle sera mesurée par le quatorzième du produit des nombres qui mesurent un côté et la hauteur correspondante.

Le volume d'une sphère s'obtiendra en multipliant $\frac{4}{3} \pi$ par les $\frac{9}{1 \times 2 \times 5}$ ou le $\frac{9}{10}$ du cube du nombre mesurant son rayon.

On voit donc combien le choix judicieux des unités simplifie les énoncés des théorèmes et leur compréhension.

Ce que la sagesse des géomètres avait réalisé pour la géométrie, la Convention Nationale française le fit réaliser pour les autres grandeurs usuelles ; plus récemment, les congrès internationaux, sous la poussée de savants précurseurs, Lord Kelvin, Maxwell, Helmholtz et

Weber, le réalisèrent dans le domaine des sciences physiques.

On choisit comme unités fondamentales mécaniques, trois entités en lesquelles toutes les autres grandeurs doivent s'exprimer : l'unité de masse, le gramme, synonyme d'importance ou de quantité de matière ; l'unité de longueur, le centimètre, répondant à la notion d'étendue dans l'espace ; l'unité de temps, la seconde sexagésimale, qui répond à la notion d'étendue dans le temps ⁽¹⁾.

Unités C. G. S. — Nous avons vu que les relations de la physique réduisent les grandeurs à trois grandeurs fondamentales qui sont, d'après les décisions du Congrès des Électriciens tenu en 1881, la longueur, la masse et le temps. Le même congrès a choisi pour unités fondamentales correspondantes : le centimètre, le gramme-masse et la seconde sexagésimale.

L'unité de longueur, ou centimètre, est la centième partie du mètre étalon déposé aux Archives.

Le radian est l'angle au centre correspondant à l'arc unité dans le cercle de rayon 1.

(1) Le sujet des *Unités et Étalons* en général a été traité d'une façon complète par M. Guillaume dans un aide-mémoire de cette collection.

Le gramme-masse est la masse d'un centimètre cube d'eau distillé à 4° centigrades, température correspondant au maximum de densité de l'eau.

L'unité de temps, la seconde est la $\frac{1}{86400}$ partie du jour solaire moyen.

Passons en revue les principales unités dérivées cinématiques et mécaniques :

L'unité de vitesse est la vitesse d'un mobile qui parcourt d'un mouvement uniforme un centimètre à la seconde. Ses dimensions sont LT^{-1} .

Semblablement, l'unité de vitesse angulaire est le radian par seconde ; c'est un nombre.

L'unité d'accélération est l'accélération d'un mobile dont la vitesse augmente d'un centimètre par seconde dans un mouvement uniformément accéléré. Ses dimensions sont LT^{-2} . Un corps qui tombe prend, à Paris, une accélération de 980,88 centimètres par seconde.

L'unité de force est la force qui communique l'unité d'accélération à la masse du gramme : on l'appelle dyne et ses dimensions sont LMT^{-2} (1).

(1) Quand cette force est due à l'attraction terrestre sur la masse considérée, on l'appelle *poids correspondant à cette masse*. Elle varie avec la latitude.

L'unité de travail ou d'énergie est le travail d'un dyne dont le poids d'application se déplace d'un centimètre dans la direction de la force. On l'appelle erg, et ses dimensions sont L^2MT^{-2} .

L'unité de puissance est l'erg par seconde, c'est-à-dire la puissance d'un moteur capable de fournir un erg à la seconde, ses dimensions sont L^2MT^{-3} .

Unités usuelles. — Le système usuel d'unités ne procède pas exactement des mêmes principes fondamentaux que le système C.G.S. exposé : il diffère un peu dans le choix des grandeurs fondamentales. Deux d'entre elles sont cependant les mêmes et nous ne nous y arrêtons pas, mais à la masse est substitué le poids ; l'unité pratique de poids en un lieu est le gramme ou poids de l'unité C.G.S. de masse. Son rapport à l'unité C.G.S. de force, c'est-à-dire sa valeur en dynes, se détermine au moyen de la relation fondamentale :

$$P = \text{masse} \times \text{accélération.}$$

Pour la masse d'un gramme, à Paris, on aura un poids de

$$P = 1 \times 980,88 \text{ dynes.}$$

L'unité ancienne de travail est le kilogram-

mètre. C'est le travail d'un kilogramme déplaçant sa masse d'un mètre de hauteur. Or, on sait que le gramme vaut : 980,88 dynes, donc un kilogrammètre vaut :

$9,8088 \times 100 \text{ centimètres} = 9,8088 \times 10^7 \text{ ergs.}$
 10^7 ergs constitue une unité très usuelle appelé joule, un kilogrammètre vaut 9,8088 joules.

Un joule-seconde s'appelle un watt, c'est une unité de puissance.

Un cheval-vapeur, égal à 75 kgm : s, vaut, par conséquent

$$75 \times 9,8088 = 735,66 \text{ watts.}$$

Un mulet (100 kgm : s) équivaut donc à 981 watts environ.

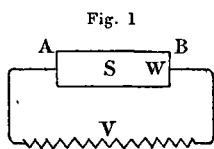


CHAPITRE PREMIER

GRANDEURS ET UNITÉS ÉLECTRIQUES

Nous ne nous arrêterons pas à la définition élémentaire des grandeurs électriques, qui ne rentre pas dans le cadre de cet aide-mémoire. Nous allons seulement préciser les notions de force électromotrice, de différence de potentiel et d'intensité efficace qui sont trop souvent sujettes à des conceptions vagues. (Abréviations : f.é.m., d.d.p. et i.e.).

Distinction entre la force électromotrice et la différence de potentiel des courants constants. — Supposons qu'en S (fig. 1) existe une source électrique; si nous unissons ses pôles A, B, par un fil conducteur V, le circuit ainsi constitué est le siège d'un phénomène énergétique, et l'on reconnaît dans le fil toutes les manifestations du courant électrique; il y a,



comme dans tous les cas analogues, énergie fournie et énergie reçue. La première est émise par la source, désignons-la par U . La seconde est dissipée en partie dans le circuit extérieur, en partie dans la source même, représentons-la par V et W , suivant le cas.

Nous allons exprimer, en supposant le courant constant, la loi de conservation de l'énergie ; et, pour cela, désignons par i , l'intensité du courant, par e , la d.d.p. entre A et B. La quantité d'électricité qui, dans le temps t , traverse la section du fil pour aller de A en B est égale à it , et l'énergie développée dans le parcours est égale à eit , d'après la définition même de la d. d. p. L'énergie fournie par la source de courant peut s'écrire sous la même forme : $U = Kit$, K étant justement défini par cette condition. Enfin l'énergie W est susceptible de prendre une forme semblable, ou, conformément à la loi de Joule, elle peut s'écrire : $W = \rho i^2 t$, ρ étant défini par cette relation.

L'équation qui exprime la conservation de l'énergie est donc la suivante :

$$Kit = Bit + \rho i^2 t$$

évidemment réductible à

$$(1) \quad K = E + \rho i.$$

K est appelé, pour son rapport avec l'énergie fournie, c'est-à-dire avec l'énergie de la source même du phénomène, la f.é.m. de cette source. C'est la d.d.p. sous laquelle doit travailler le courant i pour donner le travail total, et l'équation montre qu'elle est homogène à une d.d.p.

La même équation montre que ρi est aussi homogène à une d.d.p. ou ρ , d'après la loi d'Ohm, à une résistance. Comme elle est proportionnelle à l'énergie absorbée par la source, elle est appelée la résistance intérieure de cette source; il ne faut donc pas confondre d.d.p. aux bornes d'une source et f.é.m. de cette source; plus la résistance intérieure est faible et moins il y a d'écart entre la f.é.m. et la d.d.p. aux bornes, à égalité de courant fourni.

Comme cas particulier, supposons que K et ρ soient caractéristiques du circuit et indépendants du courant, nous pouvons écrire : $i = \frac{e}{r}$ en conservant à e sa signification et en désignant par r sa résistance extérieure.

L'équation (1) devient, par substitution de i :

$$(2) \quad K = e \left(1 + \frac{\rho}{r} \right).$$

Quand r est très grand par rapport à ρ , K est très sensiblement égal à e .

Exemple : La résistance d'un accumulateur de dimensions notables, est au maximum de $\frac{1}{100}$ d'ohm ; si la résistance d'un voltmètre est de 40 000 ohms, sa lecture donne sensiblement la f.é.m. K de l'accumulateur

$$K = e \left(1 + \frac{\rho}{r} \right) = e \left(1 + \frac{1}{4 \times 10^6} \right).$$

Remarquons encore que l'équation (1) peut s'écrire

$$K = (r + \rho)i.$$

Donc, le courant qui passe dans un circuit est le quotient de la f.é.m. par la somme des résistances.

Tout ce qui précède se rattache à la f.é.m. des courants constants, et on pourrait généraliser pour le cas des courants variables. Dans ce dernier cas, la connaissance de la valeur fugitive de la grandeur variable n'est pas d'une utilité aussi *courante* que la connaissance de certaines autres entités (force électromotrice efficace, intensité efficace) que nous définirons après en avoir fait comprendre l'utilité.

Si on calcule l'énergie dépensée pendant la période, on arrive à deux expressions

$$\frac{1}{R} \int_0^T V^2 dt \quad \text{et} \quad R \int_0^T I^2 dt$$

que nous pouvons écrire identiquement

$$\left[\frac{1}{R} \times \frac{1}{T} \int_0^T V^2 dt \right] T, \text{ et } \left[R \times \frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt \right] T.$$

En courant continu, si on a une utilisation définie par un voltage V_1 , un courant I_1 et une résistance R_1 , on aura une dépense d'énergie pendant le temps T égal à

$$\frac{1}{R} V_1^2 T \quad \text{et} \quad R I_1^2 T;$$

on voit ainsi que

$$\frac{1}{T} \int_0^T V^2 dt \quad \text{et} \quad \frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt$$

sont analogues à V_1^2 et I_1^2 : leurs racines carrées s'appellent force électromotrice (ou d.d.p.) efficace et intensité efficace.

On verra plus loin que, lorsque les appareils de mesure donnent avec le courant alternatif une déviation, cette déviation est justement la mesure des valeurs efficaces définies.

Unités électriques C.G.S. — Les principales grandeurs rencontrées en électricité et en magnétisme sont : le potentiel ou la f.é.m., la capacité, l'intensité, la résistance, la quantité

d'électricité, la masse magnétique... Il existe entre elles des équations de définition, au nombre irréductible de quatre, dont on tient compte pour établir un système cohérent d'unités :

$$(4) \quad \left\{ \begin{array}{l} q = it \\ q = cv \\ e = ri \\ w = i^2rt \end{array} \right.$$

Mais, pour base et point de départ du système, on peut prendre l'une quelconque des *lois fondamentales déterminées par l'expérience*.

1° Loi de Coulomb, électrostatique ;

2° Loi de Coulomb, magnétique ;

3° Loi de Laplace, électromagnétique ;

4° Loi d'Ampère, électrodynamique.

La seconde est la base du système magnétique, et sert, avec la troisième, à établir un système complet électromagnétique.

La quatrième est la base du système électrodynamique. Enfin la première est la base du système électrostatique, que nous allons examiner le premier.

a) *Système électrostatique*. — Dans l'expression de la loi électrostatique de Coulomb

$$f = K \frac{qq'}{r^2}.$$

On fait $K = 1$, et cette équation définit q .

Ses dimensions sont : $L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$.

L'unité de quantité d'électricité est telle que deux masses égales à celle-là et séparées par une distance égale à l'unité se repoussent avec une force égale à une dyne.

La première des équations (4) définit l'intensité de courant.

Ses dimensions sont : $L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$.

L'unité de courant est la quantité écoulee pendant une seconde.

La quatrième des équations (4) définit la résistance.

Ses dimensions sont : $L^{-1} T$.

L'unité est la résistance d'un conducteur qui, traversé par un courant unité pendant une seconde, absorberait l'unité de travail.

La troisième des équations (4) définit la différence de potentiel.

Ses dimensions sont : $L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$.

L'unité est la d.d.p. qui existe aux extrémités d'un conducteur de résistance unité parcourue par le courant unité.

La seconde équation définit la capacité.

Ses dimensions sont celles d'une longueur L .

L'unité est la capacité d'un condensateur dont

les armatures, soumises à une d.d.p. égale à 1, prennent une charge égale à l'unité.

b) *Système électromagnétique.* — Si, dans l'équation du magnétisme de Coulomb,

$$f = K' \frac{mm'}{r^2}$$

et dans l'équation d'électromagnétisme de Laplace,

$$f' = K'' \frac{mi}{r^2} ds,$$

on fait $K' = 1$, $K'' = 1$, on tire de la première les dimensions de l'unité de masse magnétique $L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{3}{2}} T^{-1}$. De la seconde, on tire les dimensions de l'unité d'intensité $L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$. Les définitions correspondantes sont les suivantes :

L'unité de masse magnétique est celle qui, placée à l'unité de distance d'une masse égale, exerce une force égale à 1 dyne.

L'unité de courant est telle qu'un élément $d\delta$ de ce courant exerce sur une masse unité située sur la perpendiculaire au milieu de cet élément à l'unité de distance une force dont l'expression en dynes est $d\delta$.

L'équation (1) du groupe 4 définit la quantité.

Ses dimensions sont : $L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}$.

L'unité est la quantité d'électricité transportée par l'unité de courant dans l'unité de temps.

L'équation (4) définit la résistance.

Ses dimensions sont : LT^{-1} .

L'unité est la résistance d'un conducteur qui, parcouru pendant une seconde par l'unité de courant, absorberait l'unité d'énergie.

L'équation (3) du groupe définit la d. d. p.

Ses dimensions sont : $L^3 M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$.

L'unité est la d.d.p. aux bornes de l'unité de résistance parcourue par l'unité d'intensité.

L'équation (2) du groupe définit la capacité.

Ses dimensions sont : $L^{-1} T^2$.

L'unité est la capacité d'un condensateur qui, chargé à une d.d.p. égale à 1, aurait une charge égale à 1.

On peut définir toutes les unités en appliquant le même procédé à toutes les lois qui régissent l'électromagnétisme.

L'unité de moment magnétique est le moment d'un barreau dont la longueur est 1 centimètre et la masse magnétique égale à 1.

Ses dimensions sont : $L^{\frac{5}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$.

L'unité d'intensité de champ est celle d'un champ dans lequel l'unité de masse magnétique serait soumise à l'unité de force.

Dimensions : $L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$.

L'unité de flux est celui qui traverse normalement l'unité de surface dans un champ d'intensité égale à 1. Ses dimensions sont : $L^3 M^2 T^{-1}$.

L'unité d'induction magnétique est celle d'un corps qui, dans un champ, est traversé par un flux égal à 1 par centimètre carré de section normale à la direction du champ. Ses dimensions sont : $L^{-1} M^2 T^{-1}$.

L'unité de perméabilité est celle d'un milieu dont une section d'un centimètre carré est traversée normalement par un flux égal à 1 quand on la place dans un champ égal à 1. Ses dimensions sont nulles.

L'unité d'induction propre est la self-induction d'un circuit traversé par un flux égal à 1, quand il est parcouru par l'unité de courant en le supposant placé dans l'air dont la perméabilité est supposée constante. Dimensions : L.

L'unité d'induction mutuelle est l'induction mutuelle de deux circuits qui, parcourus par des courants égaux à 1, produisent chacun un flux de force égal à 1 dans le circuit. On suppose encore que les circuits sont dans l'air dont la perméabilité est constante.

c) *Système électro-dynamique.* — Le système électro-dynamique établi en prenant la loi

d'Ampère, ne diffère du précédent que par un facteur numérique.

Rapport de grandeur des unités dans les systèmes électrostatique et électromagnétique. — L'unité de travail est commune aux deux systèmes, par conséquent, les nombres qui mesurent un travail sont les mêmes dans les deux systèmes.

Ce qui conduit aux égalités :

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_s &= \mathcal{E}_m = e_s i_s t = e_m i_m t \\ &= i_s^2 r_s t = i_m^2 r_m t \\ &= e_s q_s = e_m q_m \\ &= \frac{1}{2} e_s^2 C_s = \frac{1}{2} e_m^2 C_m \end{aligned}$$

qui donnent entre les nombres qui mesurent ces grandeurs, les rapports

$$\frac{\sqrt{r_m}}{\sqrt{r_s}} = \frac{i_s}{i_m} = \frac{e_m}{e_s} = \frac{q_s}{q_m} = \frac{\sqrt{C_s}}{\sqrt{C_m}} = \text{nombre V.}$$

La valeur commune V de ces rapports est la constante de Maxwell. Des déterminations nombreuses ont donné des résultats voisins de la vitesse de la lumière en unités C.G.S. Si on désigne par des lettres primées les grandeurs absolues des unités elles-mêmes, on aura le rapport

$$\frac{\sqrt{r'_m}}{\sqrt{r'_s}} = \frac{i'_s}{i'_m} = \frac{e'_m}{e'_s} = \frac{q'_s}{q'_m} = \frac{\sqrt{C'_s}}{\sqrt{C'_m}} = \frac{1}{V}.$$

Cette intervention de la vitesse de la lumière a suggéré l'idée de comparer les dimensions des unités de même nom dans les deux systèmes, on a constaté que ces dimensions différaient par un facteur *homogène* à une vitesse. Maxwell a eu l'idée d'une communauté d'origine entre ces trois branches de la physique : Électricité, Magnétisme et Lumière.

Unités pratiques. — Après cet examen rapide des systèmes théoriques d'unités, nous allons indiquer les unités pratiques établies par les Congrès successifs de 1884, 1889 et 1893 et renvoyer aux prescriptions de ce dernier, tant pour les unités pratiques que pour leur réalisation matérielle : les étalons.

Le système *électromagnétique*, devenu usuel, ne répondant pas aux besoins de la pratique industrielle, le Congrès de 1884 a été appelé à choisir des unités pratiques simplifiant les résultats numériques des mesures et, pour s'écarter le moins possible du système d'unités rationnelles, il s'est contenté de ramener celles-ci à l'*ordre des grandeurs à mesurer*, par l'emploi de *multiples et sous-multiples décimaux* appropriés. Les multiples choisis *laissent* évidemment subsister les relations physiques entre les grandeurs. On peut le vérifier dans le tableau des

unités donné en appendice à la fin de ce volume, et analogue au tableau donné par M. E. Hospitalier dans le dernier formulaire de l'électricien.

Le système d'unités pratiques exposé dans l'avant-dernière colonne de ce tableau a été établi en principe par le Congrès de 1884, et complété par les Congrès suivants.

LECTURE DES APPAREILS ÉLECTROMÉTRIQUES

Il existe, pour les lectures, deux genres de méthodes : la méthode de déviation et la méthode de réduction à 0 ; cette dernière catégorie se subdivise en deux :

- 1° Méthode du vrai zéro ;
- 2° Méthode du faux zéro.

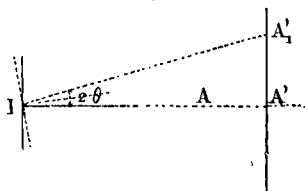
Nous allons décrire successivement ces diverses méthodes et indiquer les accessoires nécessaires à leur réalisation.

Méthode de déviation. — Dans les appareils à déviation, la mesure électrique se réduit à la lecture de la déviation d'un équipement mobile. Tels sont le galvanomètre, l'électromètre, dont nous préciserons plus loin les attributions et les détails. Ils comprennent essentiellement un équipement mobile, dont les déviations, souvent

fort minimes, doivent être accusées et appréciées avec une grande précision. On arrive à toute la précision désirable au moyen de la lecture optique, imaginée par Poggendoff, et dont nous allons donner deux variantes également en usage : la méthode objective et la méthode subjective.

Méthode objective. — A l'équipage mobile est fixé, verticalement, un miroir concave pouvant donner d'un objet fixe une image, mobile avec le miroir, et reçue sur une échelle divisée. Si, dans la position de repos, le miroir est parallèle à la règle, le déplacement de l'image pour

Fig. 2



une rotation donnée de miroir est proportionnel à la tangente du double de la rotation (*fig. 2*); cela résulte d'un principe

d'optique bien connu. Et comme cette méthode est affectée à la mesure des petites déviations, on suppose pratiquement le déplacement de l'image proportionnel à l'angle même, ce qui ne serait rigoureusement vrai que pour le déplacement circulaire de l'image. D'ailleurs nous verrons plus loin que l'erreur est du même ordre

que le cube de l'angle de déviation, supposé très petit.

On a réalisé divers dispositifs où le réticule et son image sont à la même distance du miroir, ce qui revient à placer le réticule au centre de courbure du miroir. Ce réticule est un simple fil vertical tendu au milieu d'une fenêtre éclai-

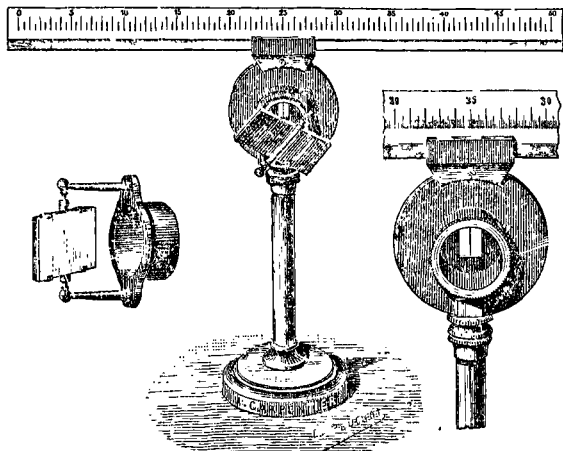


Fig. 3. — Échelle divisée transparente.

rée, soit par les rayons directs d'une source, soit par les rayons réfléchis provenant d'un miroir plan. L'éclairage direct du réticule est réalisé dans le modèle Ducretet, par un bec de gaz dont le manchon porte la fenêtre en mica au

milieu de laquelle est tendu verticalement le réticule. Dans le modèle Carpentier (*fig. 3*), le miroir plan réflecteur, placé derrière l'échelle, reçoit latéralement les rayons d'une source et les réfléchit, à travers la fenêtre à réticule, sur le miroir mobile qui doit les renvoyer à l'échelle. L'opérateur, placé près d'elle, cherche à recevoir dans l'œil le faisceau lumineux, il repère ainsi sur l'échelle une déviation d'image.

Méthode subjective. — Dans cette méthode, on ne reçoit pas, sur une échelle, l'image réelle d'un réticule donnée par un miroir concave. Mais celui-ci est remplacé par un miroir plan qui projette au réticule d'une lunette l'image d'une division de l'échelle : soit la division 0 à la position de repos, la division N après rotation. La lecture est, comme dans toute méthode optique, pratiquement proportionnelle à la déviation.

En effet :

$$\frac{A'_1 A'_2}{IA'} = \operatorname{tg} 2\theta = \frac{2 \operatorname{tg} \theta}{1 - \operatorname{tg}^2 \theta}.$$

Supposons que, dans une lecture, ce rapport ait la valeur $\frac{1}{4}$. L'équation du second degré donne pour $\operatorname{tg} \theta$, $2(\sqrt{5} - 2)$; l'erreur commise en prenant l'arc pour la tangente est fort minime,

ainsi qu'on peut s'en assurer en calculant la série :

$$\operatorname{tg} \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3} + \frac{\theta^5}{5} - \dots$$

Au cas où les déviations sont notables, on emploie des règles circulaires.

Les mesures physiques quelconques se font aussi souvent par la méthode de 0 que par l'une des deux méthodes de déviation amenées précédemment. Il en est de même des mesures électrométriques, où l'on emploie souvent, soit la méthode du vrai zéro, soit la méthode du faux zéro.

Nous verrons, par exemple, qu'on mesure les résistances au moyen d'un dispositif dans lequel le galvanomètre occupe une branche où ne doit pas circuler de courant lorsqu'on a terminé la mesure. Son aiguille doit demeurer au zéro. C'est la méthode du vrai zéro. En général, cette méthode donne, en électricité, *la plus de précision*.

L'électrodynamomètre est, au contraire, un appareil de faux zéro. Car son équipage parcouru par un courant, est soumis à un couple qui le dévie de sa position de repos, où on le ramène par la torsion d'un ressort. Et l'évaluation se réduit à celle d'un angle de torsion, par conséquent,

d'une déviation. Le zéro est donc ici absolument artificiel, et la lecture de déviation reparait.

Nous ne pensons pas qu'un Aide-Mémoire puisse exposer les travaux des Congrès successifs avec toute l'ampleur qu'ils méritent, et nous croyons mieux faire en renvoyant les lecteurs aux rapports des divers Congrès (on peut trouver ceux-ci dans la collection du *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*).

CHAPITRE II

—

APPAREILS GÉNÉRAUX DE MESURE

Dans les mesures courantes, on emploie deux procédés généraux de mesure :

a) *Méthode objective et directe.* — La superposition et l'adjonction bout à bout.

b) *Méthode subjective et indirecte.* — 1° La détermination du rapport de la grandeur avec l'unité indiquée par la déviation d'un appareil ;

2° La comparaison de deux grandeurs par la compensation de leurs effets sur un appareil à déviation.

La première méthode est utilisée journellement dans les mesures de longueur, elle est la seule qui puisse être employée lorsque, un étalon venant à être déterminé, il s'agit d'en construire les multiples et sous-multiples.

La deuxième et la troisième, très utilisées dans les déterminations des grandeurs élec-

triques, se retrouvent journellement dans les déterminations de gravité à l'aide du peson, dans les mêmes déterminations à l'aide de la balance romaine et dans d'autres déterminations encore.

Les appareils à déviation employés en électricité dérivent tous des galvanomètres, des électromètres et des électrodynamomètres.

Les définitions générales de ces appareils sont les suivantes :

Galvanomètre : Appareil à déviation basé sur l'électro-magnétisme.

Électromètre : Appareil à déviation basé sur l'électrostatique.

Électrodynamomètre : Appareil à déviation basé sur l'électrodynamique.

Tous ces appareils à déviation ont un point de théorie commun : ils sont oscillants. Nous allons énoncer quelques propriétés de ces appareils.

Appareils oscillants. — Un appareil oscillant est tel que le déplacement de la partie mobile de cet appareil exige une impulsion dont l'énergie n'est pas immédiatement absorbée par les organes parasites (en frottement, en échauffement), mais est transformée en énergie potentielle qui tend à réagir immédiatement sur la partie mobile.

Pour étudier le mouvement d'un tel appareil,

il faut écrire que le moment instantané d'impulsion est égal à la somme des trois moments instantanés suivants :

1° Moment instantané de réaction dû à l'inertie;

2° Moment instantané de réaction dû au déplacement d'un corps dans un milieu qui l'entoure;

3° Moment instantané dû à la déformation occasionnée par le déplacement de la partie mobile.

Supposons pour limiter le problème que l'appareil oscillant soit oscillant rotatif, soit θ , l'angle de déviation.

Alors soit M , le moment d'impulsion, $K \frac{d^2\theta}{dt^2}$, où K est le moment d'inertie, sera le premier couple de réaction; $A \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^x$ sera le deuxième couple de réaction, en pratique x peut être pris égal à 1; $B\theta$ ou $B \sin \theta$ ou plus généralement encore $B\varphi(\theta)$ le troisième couple de réaction, en pratique $\varphi(\theta)$ se confond avec θ , parce que $\varphi(\theta)$ s'annule pour $\theta = 0$, et que θ est toujours très petit

$$\left\{ \varphi(\theta) = \varphi(0) + \theta\varphi'(0) + \frac{\theta^2}{1.2} \varphi''(0) + \dots \right\}$$

En sorte que l'équation du mouvement est

$$K \frac{d^2\theta}{dt^2} + A \frac{d\theta}{dt} + B\theta = M.$$

Supposons que M soit nul, c'est-à-dire que la cause du mouvement ait disparu au moment considéré.

Nous aurons :

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

ou, en posant

$$\frac{A}{K} = 2m \quad \frac{B}{K} = n^2$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2m \frac{d\theta}{dt} + n^2\theta = 0.$$

La solution générale (1) (traité d'analyse) est

$$\theta = \mu e^{(-m + \sqrt{m^2 - n^2})t} + \nu e^{(-m - \sqrt{m^2 - n^2})t}$$

(1) Pour résoudre cette équation différentielle, on posera $\theta = e^{\alpha t}$, en substituant dans l'équation différentielle, on aura une équation du deuxième degré en α

$$\alpha^2 + 2m\alpha + n^2 = 0$$

qui donnera pour α les deux solutions

$$\alpha_1 = -m + \sqrt{m^2 - n^2} \quad \alpha_2 = -m - \sqrt{m^2 - n^2}.$$

On voit ainsi que :

$$\theta_1 = e^{(-m + \sqrt{m^2 - n^2})t} \quad \text{et} \quad \theta_2 = e^{(-m - \sqrt{m^2 - n^2})t}$$

sont deux solutions. On démontre, en analyse, que si on connaît deux solutions indépendantes, l'équation générale est

$$\theta = \mu\theta_1 + \nu\theta_2.$$

ou encore

$$(1) \theta = e^{-mt} \left\{ \mu e^{\sqrt{m^2 - n^2}t} + \nu e^{-\sqrt{m^2 - n^2}t} \right\}$$

D'après les conditions du problème, m est essentiellement positif; comme e^{-mt} tend ainsi vers zéro lorsque t croît indéfiniment, on voit que θ tend alors vers zéro.

Il y a deux cas à considérer :

$m^2 - n^2 =$ le nombre positif p^2 ($p^2 < m^2$)

$m^2 - n^2 =$ le nombre négatif p^2 ($p^2 < m^2$)

Dans le premier cas, l'équation devient

$$(2) \quad 0 = \mu e^{(-m+p)t} + \nu e^{(-m-p)t}$$

et

$$(3) \frac{d\theta}{dt} = -(m-p)\mu e^{-(m-p)t} - (m+p)\nu e^{-(m+p)t}$$

On voit que $\frac{d\theta}{dt}$ s'annule pour $0t = \infty$, comme θ d'ailleurs, $\frac{d\theta}{dt}$ s'annulera peut-être au cas où μ et ν sont de signes contraires pour une valeur positive et *une seule* de t , comprise entre zéro et l'infini.

En somme, θ et $\frac{d\theta}{dt}$ s'annuleront ensemble pour $\theta = \infty$, quant à $\frac{d\theta}{dt}$, il pourra s'annuler en changeant de signe une fois avant le silence

correspondant à $\theta = \infty$, $\theta = 0$ et $\frac{d\theta}{dt} = 0$, mais une fois seulement.

Physiquement parlant, l'équipage change une fois *au plus* de direction avant d'arriver à l'équilibre.

On dit alors que l'appareil est *apériodique*. Dans le deuxième cas, on peut poser

$$m^2 - n^2 = -p^2 = \omega^2(\sqrt{-1})^2$$

L'équation (1) devient alors

$$\begin{aligned} (4) \quad \theta &= e^{-mt} \left\{ \mu(\sin \cot + \sqrt{-1} \sin \omega t) + \right. \\ &\quad \left. + \nu'(\sin \cot - \sqrt{-1} \sin \omega t) \right\} = \\ &= e^{-mt} (\mu' \sin \cot + \nu' \sin \omega t). \end{aligned}$$

Si on suppose qu'à l'origine du temps (pour $t = 0$), on avait $\theta = 0$, on aura $\mu' = 0$, et

$$\theta = \nu' e^{-mt} \sin \omega t.$$

Pour déterminer la constante ν' , admettons qu'à l'origine du temps, on ait donné à l'équipage une impulsion correspondant à une vitesse v_0 , on aura

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_0 = v_0 = \left[\nu' e^{-mt} \left\{ -m \sin \omega t + \omega \cos \omega t \right\} \right]_{t=0}$$

ou

$$v_0 = + v' \omega$$

et, par conséquent :

$$(5) \quad \theta = \frac{v_0}{\omega} e^{-mt} \sin \omega t.$$

$$(6) \quad \frac{d\theta}{dt} = \frac{v_0}{\omega} e^{-mt} \left\{ -m \sin \omega t + \omega \cos \omega t \right\}.$$

Discussion. — L'équation (5) nous montre que θ est produit d'un facteur périodique $\sin \omega t$ et d'un facteur évanouissant avec $\frac{1}{t}$.

Si on égale l'expression de la vitesse à 0, pour obtenir les époques où l'oscillation change de signe, on aura ainsi :

$$m \sin \omega t + \omega \cos \omega t = 0$$

ou, en posant : $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega}{m}$

$$\sin(\omega t - \varphi) = 0, \quad \text{et} \quad \omega t = \varphi + k\pi.$$

On voit qu'ainsi la durée d'une oscillation simple est constante, car si t_p est l'époque d'un commencement d'une oscillation, t_{p+1} la fin de cette oscillation, on a pour durée $\frac{1}{2} T$ de l'oscillation :

$$\begin{aligned} \frac{T}{2} &= t_{p+1} - t_p \\ &= \frac{\varphi + p\pi}{\omega} - \left(\frac{\varphi + (p-1)\pi}{\omega} \right) = \frac{\pi}{\omega} = \text{cons t.} \end{aligned}$$

L'oscillation complète (aller et retour) est donc :

$$(7) \quad T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

Décroissement logarithmique. — Calculons l'amplitude de chaque oscillation maxima.

Remarquons que

$$\sin \varphi = \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + m^2}} = \frac{\omega}{n},$$

d'où

$$(8) \quad \frac{\sin \varphi}{\omega} = \frac{1}{n} \quad \left(\text{ou } \sin \omega t_1 = \frac{\omega}{n} \right).$$

On a ainsi :

$$(6) \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta_1 = \frac{v_0}{n} e^{-mt_1} \\ \theta_2 = \frac{v_0}{n} e^{-m\left(t_1 + \frac{T}{2}\right)} \\ \dots \\ \theta_p = \frac{v_0}{n} e^{-m\left(t_1 + \frac{p-1}{2} T\right)} \end{array} \right.$$

et ainsi

$$(10) \quad \frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{\theta_2}{\theta_3} = \dots = \frac{\theta_p}{\theta_{p+1}} = e^{m \frac{T}{2}},$$

$\frac{\omega T}{2}$ est appelé *décroissement logarithmique*. Si on observe un appareil oscillant, on pourra lire θ_1

et θ_2 , évaluer $\frac{T}{2}$, ces trois grandeurs qui sont ainsi des quantités connues.

On a alors :

$$(11) \begin{cases} m = \frac{2}{T} L\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right) \\ n = (m^2 + \omega^2)^{\frac{1}{2}} = \left[m^2 + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \end{cases}$$

On détermine ainsi par l'expérience les coefficients de l'équation fondamentale, et en se reportant à l'équation :

$$\theta_1 = \frac{v_0}{n} e^{-mt_1},$$

on en déduit v_0 , connaissant expérimentalement t_1 et θ_1 , v_0 est l'*inconnue finale* de toute mesure.

On peut, au cas où m est très petit, obtenir une valeur très approchée plus rapidement calculable.

En effet, si m est très petit par rapport à n , $\frac{\omega}{n}$ est très voisin de 1, puisque $m^2 - n^2 = -\omega^2$; donc, d'après (8),

$$\sin \omega t_1 = \frac{\omega}{n} = 1 + \varepsilon \quad \text{et} \quad \omega t_1 = \frac{\pi}{2}$$

à un infiniment près d'ordre supérieur et

$$t_1 = \frac{\pi}{2\omega};$$

or

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{\theta_3}{\theta_2} = \dots e^{-m \frac{T}{2}}$$

donne

$$\frac{\theta_3}{\theta_1} = e^{-mT} = e^{-m \frac{T}{t_1} \times t_1}.$$

D'ailleurs

$$\frac{T}{t_1} = \frac{\frac{2\pi}{\omega}}{\frac{\pi}{2\omega}} = 4 \text{ (à } \varepsilon^2 \text{ près)}$$

donc

$$\frac{\theta_3}{\theta_1} = e^{-4mt_1}$$

comme $n = \omega$ (à ε^2 près), ou $n = \frac{2\pi}{T}$, l'expression :

$$\theta_1 = \frac{v_0}{n} e^{-mt_1}$$

devient

$$\theta_1 \left[1 + \frac{\theta_1 - \theta_3}{\theta_3} \right]^{\frac{1}{4}} = \frac{v_0 T}{2\pi}$$

ou, en développant et négligeant les termes infiniment petits d'ordre supérieur, on a

$$(12) \quad \frac{2\pi}{T} \left(\theta_1 + \frac{\theta_1 - \theta_3}{4} \right) = v_0.$$

Amortissements critiques. — Si l'on prend l'équation générale :

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

et que l'on fasse varier les coefficients K, A et B, ou tous en même temps ou un seulement, on aura des systèmes de coefficients pour lesquels l'oscillation sera périodiquement amortie et d'autres systèmes pour lesquels l'oscillation sera apériodique, de sorte que l'on conçoit que deux des coefficients restant fixes et le troisième variant seul, il existe une valeur de ce coefficient pour laquelle le système oscillant cessera d'être périodique pour devenir apériodique.

En particulier, supposons que nous fassions varier A seulement en le faisant croître à partir d'une valeur très petite, jusqu'à une valeur minimale de $A = 2\sqrt{BK}$ (ou $m^2 - n^2 = 0$); alors :

$$m^2 - n^2 = \omega_1^2 \sqrt{-1},$$

ω_1 étant très petit.

L'oscillation sera encore périodique, mais

$$(7) \quad T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1},$$

sera, d'une part, devenu très grand, autrement dit : dans ce mouvement oscillant amorti, jouis-

sant de toutes les propriétés d'un tel mouvement, la durée d'oscillation sera beaucoup plus grande et plus facile à observer. De plus, la formule (10) :

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = e^{-m \frac{T}{2}},$$

indique que si m augmente, entraînant l'augmentation de T , comme on vient de voir, le rapport $\frac{\theta_1}{\theta_2}$ augmente aussi (même rapidement), autrement dit : le mouvement tend à s'amortir plus rapidement.

Ces deux propriétés constituent deux avantages très appréciables dans les observations ; on en comprendra la portée lorsqu'on étudiera les propriétés balistiques des galvanomètres.

On peut remarquer aussi que si, A et B restant fixes, on fait croître K depuis des valeurs voisines de zéro, on arrivera à une valeur pour laquelle le système oscillant cessera d'être apériodique pour devenir périodique. Ce procédé peut être employé pour faire devenir apériodique un appareil périodique, il suffira d'augmenter convenablement le moment d'inertie de la partie oscillante. Il suffira d'ajouter deux sphères symétriquement placées par rapport à l'axe d'oscillation.

Enfin, supposons K et A constants et faisons croître B , depuis une valeur très faible. Il arrivera un moment où l'appareil oscillant cessera d'être apériodique pour devenir périodique. C'est un procédé employé dans le wattmètre de MM. Blondel et Labour.

Cas d'un couple extérieur constant. — Dans ce cas, l'équation générale devient :

$$K \frac{d^2\theta}{dt^2} + A \frac{d\theta}{dt} + B\theta = M.$$

Posons :

$$M = B\theta_0.$$

L'équation peut s'écrire :

$$(13) \quad \left\{ \begin{array}{l} K \frac{d^2(\theta - \theta_0)}{dt^2} + A \frac{d(\theta - \theta_0)}{dt} + \\ + B(\theta - \theta_0) = 0. \end{array} \right.$$

Et le problème revient au problème précédent, avec cette différence que la position vers laquelle tendent les oscillations n'est plus le zéro, mais une position correspondante à la position θ_0 .

Cas d'un couple initial instantané ou plutôt extrêmement court. — Soit τ , la durée très courte, alors le couple extérieur dans l'intervalle (0 à τ), sera de la forme $\Phi(t)$, avec la condition $\Psi(t) = 0$ pour toutes les valeurs non comprises dans l'intervalle.

L'équation générale devient :

$$K \frac{d^2\theta}{dt^2} + A \frac{d\theta}{dt} + B\theta = \Psi(t).$$

Intégrons entre 0 et τ , en remarquant que, dans cet intervalle, θ et $d\theta$ n'ont pu prendre de valeurs sensibles, c'est-à-dire $\theta = 0$; alors :

$$K \int_0^\tau \frac{d^2\theta}{dt^2} dt = \int_0^\tau \Psi(t) dt,$$

et ainsi :

$$Kv_0 = U.$$

En posant :

$$(14) \quad U = \int_0^\tau \Psi(t) dt.$$

On voit ainsi que tout se passera comme si on avait donné à l'appareil oscillant une impulsion initiale :

$$v_0 = \frac{U}{K}.$$

On pourra donc, d'après ce qui précède, mesurer U , si on connaît K .

Or, K est facile à déterminer de la manière suivante :

Supposons que nous ayons observé une série

ou bien avec les notations ordinaires :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2m \frac{d\theta}{dt} + n\theta = a_1 \cos \Omega t + b_1 \sin \Omega t.$$

La solution générale est :

$$(17) \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta = \alpha \cos \Omega t + \beta \sin \Omega t + \\ + e^{-mt} \{ \mu' \cos \omega t + \nu' \sin \omega t \}, \end{array} \right.$$

où :

$$\alpha = \frac{a_1(n^2 - \Omega^2) - 2b_1m\Omega}{(n^2 - \Omega^2)^2 + 4m^2\Omega^2},$$

$$\beta = \frac{2a_1m\Omega + b_1(n^2 - \Omega^2)}{(n^2 - \Omega^2)^2 + 4m^2\Omega^2},$$

α et β étant des coefficients bien déterminés et

$$e^{-mt} \{ \mu' \cos \omega t + \nu' \sin \omega t \},$$

la solution générale de :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + m \frac{d\theta}{dt} + n\theta = 0.$$

On voit donc que l'oscillation θ ne rappellera pas la forme du couple impulseur, à moins toutefois que K et A soit extrêmement faible par rapport à B , alors on aura :

$$B\theta = a \cos \Omega t + b \sin \Omega t.$$

Cette remarque aura son application dans l'étude de l'oscillographe de M. Blondel.

Reprenons l'équation (16) et différencions-la deux fois, nous aurons :

$$(18) \quad \left\{ \begin{array}{l} K \frac{d^4\theta}{dt^4} + A \frac{d^3\theta}{dt^3} + C \frac{d^2\theta}{dt^2} = \\ \Omega^2(a \cos \Omega t + b \sin \Omega t). \end{array} \right.$$

Ajoutons (16) et (18) membre à membre, après avoir multiplié (16) par Ω^2 et avoir posé

$$u = \frac{d^2\theta}{dt^2} + \Omega^2\theta,$$

nous aurons :

$$K \frac{d^2u}{dt^2} + A \frac{du}{dt} + Bu = 0.$$

Autrement dit, u est de la forme

$$e^{-mt} \{ \mu' \cos \omega t + \nu' \sin \omega t \}$$

de sorte que la résolution de l'équation (16) se ramène à la résolution de l'équation :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \Omega^2\theta = e^{-mt} \{ \mu' \cos \omega t + \nu' \sin \omega t \}$$

Cette équation peut être utile dans l'étude des systèmes oscillants.

Remarquons que les valeurs de α et β données par la formule (17) montrent que α et β sont très petits si Ω est grand par rapport à m et n . Dans ce cas, on voit que l'appareil n'éprouve pas

d'oscillation sensible, la discussion très simple sera complétée par le lecteur.

Cas plus général. — Supposons que le système oscillant soumis à un couple périodique prenne une position d'équilibre sensible $\theta = \theta_0$, supposons le couple de la forme $K[h + \psi(t)]$ dans lequel h est une constante, et $\psi(t)$ une expression de la forme périodique :

$$a_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + a_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots$$

L'équation générale devient alors

$$K \left[\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2m \frac{d\theta}{dt} + n\theta \right] = K[h + \psi(t)]$$

ou

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2m \frac{d\theta}{dt} + n\theta = h + \psi(t),$$

ou, en prenant $n\theta_1 = h$,

$$\frac{d^2(\theta - \theta_1)}{dt^2} + 2m \frac{d(\theta - \theta_1)}{dt} + n(\theta - \theta_1) = \psi(t).$$

Comme θ est supposé sensiblement constant et égal à θ_0 , $\frac{d^2(\theta - \theta_1)}{dt^2}$ et $\frac{d(\theta - \theta_1)}{dt}$ sont sensi-

blement nuls, de sorte que si T est la période de $\psi(t)$ et qu'on intègre de 0 à T_1 on aura :

$$n \int_0^T (\theta - \theta_1) dt = \int_0^T \psi(t) dt = \text{donc } 0.$$

Par conséquent, θ ou $\theta_0 = \theta_1$; autrement dit

$$\theta_0 = \frac{h}{n};$$

c'est le cas qui se présente lorsqu'on mesure le voltage ou l'intensité d'une dynamo dont le collecteur a peu de lames.

Galvanométrie. — Il y a deux catégories de galvanomètres

1° Les galvanomètres à aimant mobile et circuit fixe;

2° Les galvanomètres à circuit mobile et aimant fixe.

Nous ne décrivons pas la boussole des tangentes qui entre dans la première catégorie, car cet appareil appartient beaucoup plus à l'histoire qu'à la pratique.

Galvanomètre Thomson. — Considérons deux petits aimants horizontaux parallèles à la façon de deux côtés opposés d'un rectangle et *pratiquement* égaux comme dimensions et comme moment magnétique, supposons de plus ces aimants dirigés en sens contraire.

Si ces aimants sont suspendus par une tige rigide capable de tourner autour de son axe, le couple qui dirigera ces aimants de moment magnétique M_1 et M_2 dans un champ dont la com-

posante horizontale est H , sera

$$(HM_1 - HM_2) \sin \alpha.$$

En appelant α l'angle qui fait la direction des aimants et la composante H , cette relation peut s'écrire

$$H(M_1 - M_2) \sin \alpha.$$

On voit ainsi que ce couple, toutes choses égales d'ailleurs, sera d'autant plus faible que $M_1 - M_2$ sera plus petit, autrement le champ directeur H ne produira sur le système de ces aimants qu'une action extrêmement faible.

Un tel système s'appelle : Équipage astatique.

Ceci posé, supposons que l'on entoure le premier aimant par une bobine enroulée dans un sens et le second aimant par une bobine enroulée en sens contraire, et que l'on fasse parcourir à ces bobines (mises en série) un courant i ; dans ces conditions, le système astatique sera *très sensible à l'action du courant*.

Pour préciser, supposons les faces de la bobine parallèles à H , on aura sous l'action du courant i une déviation α par rapport à la direction H répondant à l'équation

$$A_1 M_1 i \cos \alpha + A_2 M_2 i \cos \alpha = (M_1 - M_2) H \sin \alpha$$

A_1 et A_2 étant les constantes définissant magné-

tiquement les bobines ; si on suppose que ces bobines soient égales et disposées de la même façon par rapport à chaque aimant, nous aurons

$$A_1 = A_2 = A \text{ (}^1\text{)},$$

l'équation devient ainsi

$$A(M_1 + M_2)i \cos \alpha = (M_1 - M_2)H \sin \alpha$$

ou

$$\operatorname{tg} \alpha = A i \frac{M_1 + M_2}{M_1 - M_2} \times \frac{1}{H}.$$

On voit donc que, pour le même système de deux bobines et le même courant, la déviation sera d'autant plus grande que $\frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2}$, d'une part, et H , d'autre part, seront petits, et que, toutes les autres caractéristiques restant constantes, $\operatorname{tg} \alpha$ est proportionnel à i .

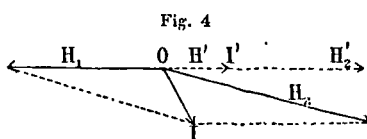
Pour que $\frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2}$ soit le plus petit possible, on s'applique à ce que les deux aimants, soient le plus sensiblement égaux possible.

Pour que H soit le plus petit possible, on procédera de deux façons, en apparence distinctes, suivant que l'appareil est destiné aux mesures sur terre ou sur mer.

Galvanomètre terrestre. — On aura un champ terrestre dont la composante horizontale

(¹) Dans le cas d'une seule spire circulaire de rayon ρ , on aurait $A = \frac{2\pi}{\rho}$.

en grandeur et direction est H_1 (fig. 4), plaçons, au-dessus de l'équipage, un aimant horizontal dit directeur symétrique dont le centre soit sur



le prolongement du fil de suspension des aimants, si cet aimant

peut se déplacer en hauteur et autour d'un axe rigide prolongea le fil de suspension, on pourra faire varier la composante horizontale du champ résultant de l'aimant directeur aux environs des aimants de l'équipage. Soit H_2 , cette composante horizontale (fig. 4). La résultante de H_1 et H_2 sera donc H' , la sensibilité sera d'autant plus grande que H_1 différera peu de H_2 , les aimants prendront donc la direction OI . Si maintenant on fait tourner l'aimant directeur dans le sens de la flèche, le point I , si $H_2 > H_1$, tournera dans le même sens et lorsque H_2 sera opposée à H_1 , H' ou OI sera de même sens que H_2 . Remontons l'aimant directeur, H_2 diminuera, et si on le remonte lentement, il viendra un moment où, en faisant tourner l'aimant directeur pour opposer les actions de H_1 et H_2 , OI cessera de prendre la direction H_2 , pour prendre la direction de H_1 ; ce renversement

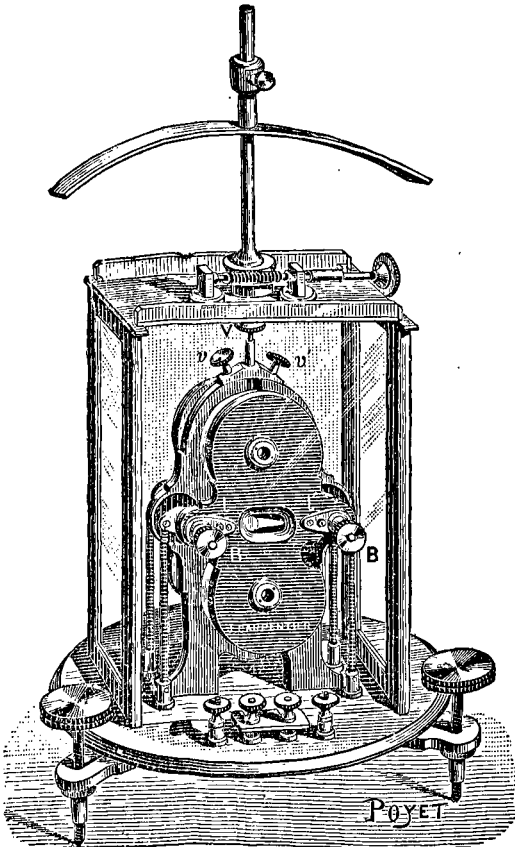
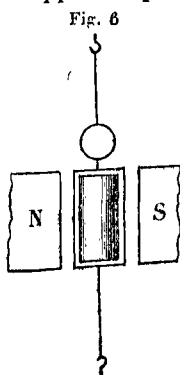


Fig. 5. — Galvanomètre Thomson.

arrivera lorsque H_2 cessera d'être supérieur à H_1 pour lui devenir inférieur. Au point de vue physique, on constatera qu'on est arrivé à ce point lorsque l'équipage se tournera à la fin de l'opération bout pour bout. On aura donc les aimants dans un champ $H_1 - H_2$ extrêmement petit, le maximum de sensibilité de l'appareil sera donc obtenu.

L'appareil terrestre de la construction J. Carpentier est représenté par la *fig. 5*. L'équipage mobile est composé d'une tige légère en aluminium.

Galvanomètre marin. — L'appareil est enveloppé complètement dans une boîte en acier



formant un écran magnétique, on obtient, dans l'intérieur de cette boîte, un champ H' à l'aide d'aimants réglables de l'extérieur, le tout est suspendu à la Cardan.

Galvanomètre Deprez - d'Arsonval. — Ce galvanomètre est la reproduction du siphon recorder de sir W. Thomson. Entre les deux branches d'un fort aimant permanent (*fig. 6*), on dispose un équipage mobile armé d'un miroir,

les fils de suspension amènent le courant. Dans l'intérieur de l'équipage se trouve placé un anneau de fer doux pour concentrer le champ.

Pour les *très faibles déviations*, on a la relation

$$i = \Delta\theta;$$

où i est le courant (quelques milliampères) et θ la déviation; la formule étant facile à établir nous n'insisterons pas.

Ce type de galvanomètre est universellement employé, soit comme aperiodique pour la mesure des courants, soit comme balistique (réglable facilement à l'a-

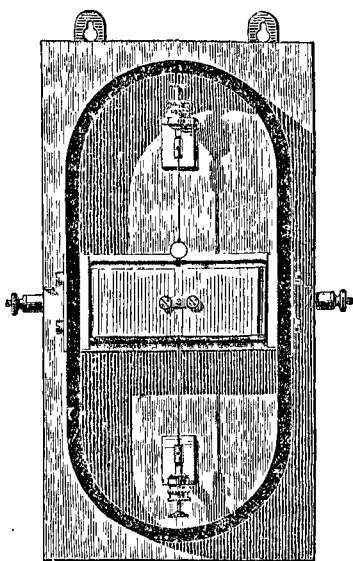


Fig. 7.

Galvanomètre Deprez-d'Arsonval balistique, amortissement critique) pour les décharges (Fig. 7).

CHAPITRE III

ÉLECTRODYNAMOMÈTRES ET WATTMÈTRES

Lorsqu'on met en présence deux circuits parcourus par des courants I et I' , l'énergie potentielle du système ainsi constitué est exprimée algébriquement par la formule

$$(1) \quad W = MI'$$

dans laquelle M est une fonction des constantes géométriques du système (1).

On conçoit, dès maintenant, que l'un des deux circuits peut être mobile et donner, par son déplacement, des indications qui servent à la mesure du produit II' .

Mais le facteur M varie avec la position de l'équipage mobile et la proportionnalité cesse dès qu'on admet un déplacement fini de la bobine mobile.

(1) M désigne le coefficient d'induction mutuelle des bobines, à un facteur numérique près, dépendant du système d'unités.

C'est pourquoi on ramène d'ordinaire au zéro la déviation de la bobine mobile des électrodynamomètres. Et celui de Weber, qui fait exception à cette règle, n'est employé que pour des déviations extrêmement faibles.

Pour établir l'équation générale d'équilibre, on remarquera que, si C est le couple mécanique qui fait équilibre au couple électrodynamique dans une position quelconque mais déterminée de l'équipage mobile, on aura, d'après le théorème de d'Alembert :

$$Cd\theta = dM II'$$

dM étant la variation élémentaire du coefficient M et I et I' étant les courants *constants* à mesurer.

$$D'où C = \frac{dM}{d\theta} II'.$$

Cette équation est générale, elle peut servir à expliquer le fonctionnement, soit des appareils à déviation, soit des appareils à 0.

En ce qui concerne d'abord les *appareils à déviation*, $\frac{dM}{d\theta}$ est pratiquement constant dans les limites d'emploi des électrodynamomètres à déviation faible et à déviation de Weber et Giltay Bellati.

Ils sont très peu employés (le dernier n'est

utilisé que pour la mesure de très faibles courants).

Nous renvoyons donc, pour leur description, à l'ouvrage de M. Amagnat.

En ce qui concerne maintenant les appareils à ample déviation et à lecture directe, tels que les ampèremètres et wattmètres industriels à cadran, $\frac{dM}{d\theta}$ est loin d'être constant. La graduation de ces appareils est empiriquement déterminée par comparaison avec les étalons secondaires.

Appareils de réduction à zéro. — On voit, d'après l'équation, que si, *par un procédé quelconque*, on ramène toujours les deux bobines dans la même position relative, $\frac{dM}{d\theta}$ devenant constant, il en résulte que le produit II' est proportionnel au couple qu'il faut justement appliquer à la partie mobile pour la ramener à cette position.

Les appareils basés sur le principe que nous avons exposé se prêtent évidemment à la mesure, soit des *intensités*, soit des *puissances*.

Pour la première, les deux bobines sont mises en série dans le circuit d'utilisation $C = M'i^2$. Pour la seconde, la bobine fixe est encore insérée dans le circuit d'utilisation, mais la bobine mo-

bile est montée en dérivation sur le circuit, Elle est composée d'un grand nombre de tours de fil fin, offrant une grande résistance (1).

Il en résulte que son courant $I' = \frac{e}{R}$,

et $C = \frac{M'eI}{R} = M'eI$.

Le couple mesure la puissance.

Si le courant subit une oscillation de courte période par rapport à la période propre de l'appareil, le couple est proportionnel au carré moyen de l'intensité, comme il résulte nettement des principes généraux exposés au Chap. III et de l'équation même établie dans le présent chapitre.

Les électrodynamomètres mesurent donc l'intensité efficace des courants alternatifs.

Les mêmes observations s'appliquent aux wattmètres : le couple mesure alors $\frac{I}{T} \int_0^T ei dt$, c'est-à-dire la puissance.

Nous passerons en revue rapidement les prin-

(1) Et une self négligeable dans le cas de la mesure de puissance des courants alternatifs. A cet effet, on ne place, sur la bobine, que quelques tours de fils et on dispose dans ce circuit une résistance sans self ni capacité.

cipaux électrodynamomètres et wattmètres.

Balances de Thomson. — Les deux bobines mobiles ont, à la position de repos à laquelle, du reste, on les ramène toujours dans la réalisation de la mesure, respectivement les mêmes axes que les bobines fixes.

Celles-ci sont divisées chacune en deux sections superposées à une distance faible, juste suffisante pour la présence et le déplacement des bobines mobiles.

Ces dernières sont placées horizontalement, aux *extrémités* d'un même fléau de balance, suspendu par les fils mêmes qui portent le courant, à la manière très ingénieuse que nous signalons plus loin aux détails de construction. Les enroulements des bobines mobiles étant tels qu'elles ont la même polarité, le magnétisme terrestre n'a aucune action sur elles.

Les seuls couples agissant sur le fléau sont : le couple électrodynamique $M'i^2$ et les couples mécaniques obtenus au moyen de poids. Ces poids sont de deux sortes, comme ceux qui servent à l'équilibre de certaines balances de précision : un poids P agissant à l'extrémité du fléau et un *cavalier* d'appoint, porté par un charriot glissant le long du fléau. Cela dispense d'une variété infinie de poids, en utilisant la variation

de bras de levier. Le couple de gravité est alors

$$lP + xp,$$

et l'équation d'équilibre est

$$lP + xp = M'i^2,$$

l étant la distance du plateau à l'axe de rotation, x , la distance du même axe au cavalier.

Dans les balances de Thomson, dont la *fig. 8* représente un modèle, le plateau P est remplacé par un auget A recevant les poids P et le cavalier par un curseur en forme d'index repérant sa position sur une réglette horizontale invariablement fixée au fléau. Les divisions de la réglette sont égales et la lecture faite donne entrée dans une table où l'opérateur trouve le courant correspondant. Pour abréger la durée des mesures, le constructeur a placé, parallèlement à la réglette, une règle fixe donnant directement ces courants. On reconnaît celle-ci, sur la figure, à ses divisions paraboliques.

Pour augmenter le champ d'utilisation de la balance, on a pris quatre jeux de poids P et p .

Si on a, en effet,

$$x.p + lP = M'i^2,$$

LECTRODYNAMOMÈTRES ET WATTMÈTRES

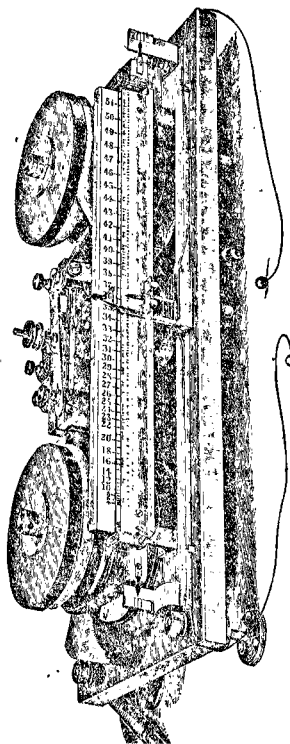


Fig. 8. — Balance de Thomson

on a successivement :

$$x(4p) + l(4P) = M'(2i)^2,$$

$$x(16p) + l(16P) = M'(4i)^2,$$

$$x(64p) + l(64P) = M'(8i)^2,$$

de sorte que les poids quadruples permettent de mesurer, par la même lecture, les intensités double, etc. (1). Toutefois, il est mauvais de se servir de la quatrième graduation, car, avec les courants élevés qu'elle suppose, les bobines se déforment légèrement, M' varie donc et les lectures sont faussées. Il y a cinq modèles commerciaux de balances de Thomson. Reproduisons le tableau complet donné dans l'ouvrage de M. Armagnat. Dans ce tableau, R désigne le nombre par lequel il faut multiplier la lecture sur la grande échelle pour obtenir l'intensité cherchée.

Désignation de la balance	Centi-ampère	Déci-ampère	Déca-ampère	Hecto-ampère	Kilo-ampère
Chariot seul K=	0,0025	0,025	0,25	1,5	5
" + poids n° 1, K=	0,0050	0,050	0,50	3	10
" + poids n° 2, K=	0,0100	0,100	1	6	20
" + poids n° 3, K=	0,0200	0,200	2	12	50
Intensité minima	0,0177	0,177	1,77	7,43	35,4
Intensité maxima	1,028	10,28	102,8	616	2570

(1) Pour la première graduation, p représente le poids du chariot seul.

On peut compter sur une exactitude moyenne réelle de 1 pour 1 000, ces balances sont donc d'excellents appareils ayant cet avantage très grand de rester constamment semblables à elles-mêmes.

Détails de construction (1). — Les détails de construction se lisent facilement (*fig. 9*) ; nous appellerons spécialement l'attention sur le mode

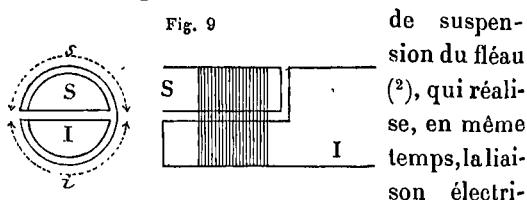


Fig. 9

de suspension du fléau (2), qui réalise, en même temps, la liaison électrique

des bobines fixes et des bobines mobiles. Nous ferons remarquer que les fils fins employés n'apportent dans le mouvement du fléau qu'un couple suffisamment petit pour être négligé par rapport aux autres couples.

Les balances de Thomson sont employées dans tous les laboratoires du monde ; les laboratoires anglais emploient aussi couramment des wattmètres de même construction.

(1) Voir, pour détails complémentaires et manipulation, la brochure donnée avec chaque balance.

(2) La *fig. 9* indique la coupe et le profil de la suspension.

Balance électrodynamique de Pellat. — L'action des courants dans l'électrodynamomètre de Pellat est encore équilibrée par des poids. L'appareil se compose d'une bobine longue et d'une bobine courte intérieure portée par un fléau normalement à la première. Les dimensions relatives sont telles que le champ environnant la bobine intérieure est pratiquement uniforme et ces conditions permettent le calcul de la constante M' .

On peut encore, en écrivant que le couple exercé par le champ H de la grande bobine sur la seconde est $H\mu$, μ étant le moment magnétique de la bobine mobile, et en substituant respectivement dans

$$\begin{aligned} H &= 4\pi NI, \\ \mu &= \pi \frac{d^2}{4} nI, \\ C &= \pi^2 d^2 NnI^2. \end{aligned}$$

où N et n sont les nombres de tours de fils de la bobine fixe et de la bobine mobile, où d est le diamètre, où, en fonction du poids p au bout du bras de levier l :

$$pgl = \pi^2 d^2 NnI^2$$

ou

$$I = \frac{1}{\pi d} \sqrt{\frac{pgl}{Nn}}.$$

Mais le calcul précédent est inexact, si le champ H est modifié par le magnétisme terrestre. Ne pouvant évaluer l'action de ce dernier, on l'élimine en faisant une nouvelle pesée (p'), après avoir renversé le courant dans la bobine fixe. La formule devient évidemment :

$$I = \frac{1}{\pi d} \sqrt{\frac{(p - p')gl}{2Nn}}$$

M. Pellat évalue la précision à $\frac{1}{2000}$.

Il n'a été construit qu'un électrodynamomètre de ce genre, à l'aide duquel on étalonne les appareils dérivés en usage dans les laboratoires. Les faibles dimensions de la bobine extérieure s'opposent au calcul de la constante dans la formule $I = K \sqrt{p - p'}$. Ces appareils offrent, comme les bobines de Thomson, une très grande constance dans leur étalonnement.

Depuis l'année 1889, le Laboratoire central d'Électricité utilise la balance de Pellat comme appareil étalon de départ.

Électrodynamomètre de Siemens. — L'action électrodynamique est équilibrée, ici, par la tension d'un ressort. Le système est composé de deux bobines plates ayant leurs axes de symétrie horizontaux et normaux l'un à l'autre. La bobine mobile est composée de quelques tours de fil,

dont les extrémités libres plongent dans des godets de mercure placés dans le prolongement du fil de suspension (fig. 10).

On voit que l'équipage porte un index qu'on ramènera au zéro et que la suspension en porte un autre qui repère sur un cadran l'amplitude de la torsion. On a divisé ce cadran en degrés et l'équivalent de la déviation, en ampères, se lit dans une table.

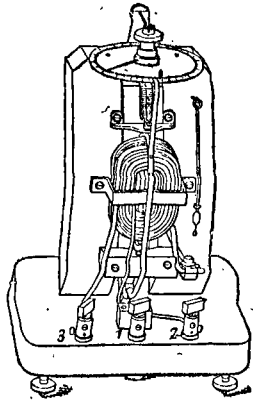
Wattmètres. — On emploie, dans l'industrie, des wattmètres de construction analogue. Mais ils ont tous l'inconvénient d'avoir un champ de sensibilité très étroitement limité. C'est ce qui a conduit

MM. A. Blondel et E. Labour à réaliser l'appareil connu sous le nom de wattmètre universel. .

La bobine de volts est suspendue entre deux bobines de courants qu'on peut, à volonté, remplacer par d'autres bobines pour modifier l'échelle des intensités mesurables.

Avec trois ou quatre jeux de bobines de cou-

Fig. 10



rant, on peut obtenir une sensibilité constante pour des intensités variant de 0 à 2500 ampères.

L'appareil se prête aussi aux nombreuses combinaisons des mesures de puissance.

Cet appareil réalise aussi un amortissement qui fait défaut aux wattmètres ordinaires. Cet amortissement est obtenu en faisant naître dans un appendice inférieur de l'équipage des courants de Foucault. L'appendice est un cylindre en fer se déplaçant entre les pôles d'un petit électro-aimant.

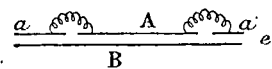
CHAPITRE IV

ELECTROMÈTRES

Les appareils électrostatiques, appelés électromètres, servent à l'évaluation des différences de potentiels. Nous les diviserons en deux classes dont nous étudierons dans la suite les principaux types :

1° Les électromètres *absolus*, qui donnent, par une seule opération, en général de pesée, la valeur absolue de la différence de potentiel étudiée ; 2° les électromètres *relatifs*, qui nécessitent l'emploi d'un étalon de potentiel connu, servant à les étalonner. Nous allons décrire d'abord les électromètre absolus.

Électromètre absolu de sir W. Thomson. — Imaginons deux plateaux circulaires A et B (*fig. 11*), d'une

étendue considérable,  *Fig. 11*

par rapport à leur distance, et communiquons à ces plateaux des potentiels différents V_A et V_B .

L'attraction qui s'exerce entre eux est une fonction connue de la différence $V_A - V_B$, et si nous avons un moyen pratique d'évaluer la force attractive entre les plateaux, nous en déduirons la différence de potentiel au moyen de la formule par laquelle on aura relié ces deux grandeurs.

L'établissement de cette formule n'offre aucune difficulté, si on remarque que les plateaux ont pris des charges électriques égales et opposées, réparties avec une égale densité, que nous désignerons par σ , et si l'on observe de plus que le champ est uniforme entre les deux plateaux — on sait, d'après une loi de Coulomb, que son intensité H est égale à $4\pi\sigma$. Elle est égale aussi à $\frac{dV}{dn}$, et comme le potentiel croît uniformément d'une armature à l'autre :

$$(2) \quad H = - \frac{dV}{dn} = \frac{V_A - V_B}{e}$$

Égalant les deux valeurs de H :

$$(3) \quad \frac{V_A - V_B}{e} = 4\pi\sigma,$$

on tire :

$$\sigma = \frac{V_A - V_B}{4\pi e}.$$

Il est dès lors possible d'exprimer la tension

par unité de surface de A, et, par suite, l'attraction à laquelle est soumise la surface S du plateau A. On sait que la tension exercée sur l'unité de masse est $2\pi\sigma$; soit $2\pi\sigma^2$ par unité de surface, et $2\pi\sigma^2S$, pour la surface S.

La force attractive

$$(4) \quad F = 2\pi\sigma^2S = \frac{(V_A - V_B)}{8\pi e^2}.$$

Mais la formule ainsi établie n'est d'aucune façon applicable à la force exercée sur la totalité du plateau A, puisqu'elle ne tient aucun compte des irrégularités du champ sur les bords. Il devait venir à l'idée de supprimer ces irrégularités sur le contour du disque attiré, et c'est ce que Sir William Thomson a ingénieusement réalisé de la manière suivante.

Dans la région uniforme du plateau A (*fig. 11*) il a découpé le disque circulaire A, qui constitue l'armature mobile uniformément chargée. L'anneau *aa'* qui entoure ce disque est maintenu fixe et au même potentiel que lui. Puisqu'il a pour objet de protéger le disque intérieur des irrégularités qui se produiraient sur ses bords, Sir William Thomson lui a donné le nom d'*anneau de garde*.

Telles sont les dispositions prises pour rendre

applicable en pratique la formule déjà établie ;

$$(4) \quad F = \frac{V^2 S}{8\pi e^2}.$$

On en tire la différence de potentiel cherchée ;

$$V = e \sqrt{\frac{8\pi F}{S}}$$

et sa mesure revient à l'évaluation des trois quantités e , S et F , la surface S du disque est mesurée une fois pour toutes, la distance e est facilement évaluée à la vis micrométrique ; enfin la force F est évaluée au moyen de *poids*.

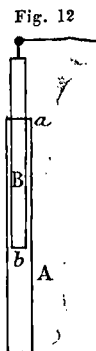
A cet effet, les diverses dispositions données à l'appareil par Sir W. Thomson comportent toutes une balance à laquelle est suspendu le disque attiré. La force électrique F qui fait pencher le fléau est équilibrée par des poids placés dans un plateau.

La construction et l'utilisation de cet appareil de précision, du reste inusité dans la pratique industrielle (il n'y a que quelques exemplaires au monde), exigerait beaucoup de soins et beaucoup de temps. Nous n'insisterons pas non plus sur les précautions prises pour *maintenir* et *vérifier* la constance des potentiels en présence, nous citerons seulement les appareils accessoires employés à cet effet, le replenisher et la jauge :

on les trouvera décrits dans les Mémoires de Sir W. Thomson, dans l'ouvrage de Maxwell ou dans les traités de MM. Vaschy, Mascart ou de M. Deprez.

L'électromètre absolu de S. W. Thomson n'a pas d'utilisation industrielle, MM. Abraham et Lemoine, dans la pensée de *supprimer* les réglages délicats du Thomson ont proposé un appareil qui peut être utilisé pour les mesures de laboratoire industriel.

Électromètre absolu de MM. Bichat et Blondlot.—Considérons deux cylindres concentriques A et B de rayons peu différents (*fig. 12*), et dont la portion commune *ab* soit une faible partie de la longueur. Établissons entre eux une différence de potentiel *V* et compensons par des poids la force *attractive* qui s'exerce entre eux. Elle est, par raison de symétrie, parallèle à l'axe commun des cylindres dont elle tend à diminuer la portion commune.



Si dl représente ce déplacement que tend à donner la force f , le travail de cette force est $f dl$. Or, on sait qu'il est égal à la diminution d'énergie électrique du condensateur, et que celle-

ci est représentée par $\frac{1}{2} cV^2$, c représentant la capacité variable du condensateur cylindrique, et V , la différence des potentiels de ses armatures, différence maintenue constante et qu'on se propose de mesurer. La diminution d'énergie électrique

$$(1) \quad dW = \text{donc} \quad \frac{1}{2} V^2 dc = fdl.$$

Nous ne rappellerons pas comment se calcule la capacité d'un condensateur, mais nous savons que, si r_1 est le rayon du cylindre intérieur et r_2 , celui du cylindre extérieur, l , la position de longueur commune

$$c = \frac{l}{2L \frac{r_2}{r_1}};$$

en dérivant par rapport à l et portant dans l'équation (1)

$$\frac{dc}{dl} = \frac{1}{2L \frac{r_2}{r_1}};$$

on obtient l'équation (2) qu'on peut écrire :

$$(2) \quad V^2 = 4fL \frac{r_2}{r_1}$$

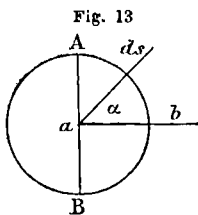
ou enfin

$$V = \sqrt{4fL \frac{r_2}{r_1}}.$$

La théorie qui conduit à cette formule suppose les cylindres exactement centrés ; c'est un point délicat dans la construction de cet appareil ; les inventeurs se sont arrêtés, pour la suspension du cylindre B, à l'emploi de deux couteaux croisés semblables à ceux qui suspendent les plateaux d'une balance de précision. Nous nous contenterons de ces indications, et nous passerons à l'étude d'un électromètre dont la construction est plus difficile encore, mais dont le principe est d'une remarquable simplicité, et dont l'usage offrirait une grande commodité, si on employait la méthode du miroir pour effectuer les lectures.

Il a été indiqué par M. Lippmann pour la mesure des faibles différences de potentiels.

Électromètre absolu de M. Lippmann. — Considérons une sphère divisée par un plan diamétral AB en deux hémisphères dont l'une est fixe, et dont l'autre peut se mouvoir normalement au plan de division (fig. 13).



Portons *solidairement* les deux hémisphères *distincts* au potentiel V ; appelons C, la capacité

de la sphère, R , son rayon, Q , sa charge

$$(1) \quad Q = CV.$$

On peut l'écrire aussi ;

$$(2) \quad Q = 4\pi R^2\sigma$$

en sorte que, de ces deux égalités, on tire pour la densité σ la valeur ;

$$(3) \quad \sigma = \frac{CV}{4\pi R^2}.$$

Ceci posé, la valeur de la tension superficielle est, d'après un théorème de Thomson :

$$(4) \quad p = 2\pi\sigma^2$$

et la force qui tend à séparer l'hémisphère mobile est la résultante de ces tensions. Cette résultante est, par symétrie (*fig. 13*), normale au plan de séparation AB , elle est, par conséquent, la somme des projections sur le diamètre ab normal au plan AB des tensions appliquées aux éléments ds de l'hémisphère mobile : chacune de ces tensions est dirigée suivant le rayon qui va du centre à l'élément ds ; si α est son angle avec la

Fig. 14

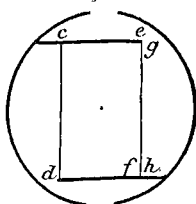


Fig. 14

direction fixe ab , la projection de la tension propre à l'élément ds , est $pds \cos \alpha$,

Mais $ds \cos \alpha$ est la projection dS de cet élément sur le plan AB.

La force répulsive cherchée :

$$(5) \quad F = p \iint ds \cos \alpha = p \iint dS = p\pi R^2.$$

Des égalités (3) et (4), on tire :

$$p = \frac{C^2 V^2}{8R^4 \pi},$$

et, en substituant dans (5), on obtient pour la répulsion :

$$(6) \quad F = \frac{C^2 V^2}{8R^2}.$$

Si cette répulsion est équilibrée par le poids P de l'hémisphère mobile et si celui-ci est suspendu à l'hémisphère fixe par trois fils verticaux cd, ef, gh (fig. 14), l'angle θ dont ceux-ci s'écartent de la verticale sous l'action de la force F permet la mesure de cette répulsion quand on connaît P , car $\text{tg } \theta = \frac{F}{P}$. On en tire le potentiel V par la relation 6. Il suffirait, pour lire θ , d'accoler un miroir sur les fils ef et gh et de lire la déviation d'une image sur une échelle verticale. Malheureusement, la construction de cet électromètre est

difficile, et c'est ce qui fait, malgré son principe si simple, qu'il n'est pas du tout employé.

Les électromètres les plus usuels sont de simples *indicateurs*, d'après lesquels on ne peut pas avoir absolument la valeur en volts d'une différence de potentiels ; on la lit sur une graduation précédemment faite par comparaison avec un électromètre absolu. Cette graduation est si peu absolue qu'elle est susceptible de varier avec le temps et les conditions, et qu'il faut de temps à autre procéder à ce qu'on nomme en terme d'industrie l'étalonnage de l'appareil, c'est-à-dire la revision de sa graduation.

Ces considérations justifient le nom d'électromètre relatif que nous leur avons donné précédemment :

Le prototype de ces appareils est l'électromètre relatif de sir William Thomson. Mais nous en étudierons d'abord le principe en lui prêtant une réalisation plus simple, plus symétrique, et qui en fera comprendre mieux la théorie.

Imaginons l'électromètre de Bichat et Blondlot rendu symétrique. Le cylindre B (*fig. 15*), est

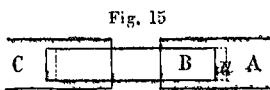


Fig. 15

entouré à ses deux extrémités de deux cylindres A et C,

chacun d'assez grande longueur par rapport

à la portion commune, et ces cylindres sont portés respectivement aux potentiels V_a , V_b , V_c . Si l'on applique au cylindre intérieur B une force f mesurable qui lui imprime un glissement dl (fig. 15), le travail de cette force est $f dl$. Or, il est égal à l'accroissement d'énergie potentielle du système, facilement calculable de la manière suivante : chaque moitié symétrique forme un condensateur dont les armatures conservent des potentiels invariables, et dont la capacité varie proportionnellement à la longueur : il est du reste facile de voir que les capacités, par suite, les énergies électriques des deux condensateurs, varient en sens inverses.

Si $K (V_a - V_b)^2 dl$ est l'accroissement d'énergie de l'un, $K (V_b - V_c)^2 dl$ est la diminution d'énergie de l'autre, la constante K étant la même dans les deux expressions par raison de symétrie. En égalant le travail de la force à l'accroissement d'énergie potentielle, on obtient l'équation :

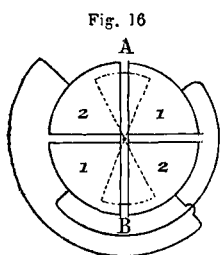
$$f dl = K dl \{ (V_a - V_b)^2 - (V_b - V_c)^2 \}$$

d'où

$$f = \frac{K}{3} \left((V_a - \frac{V_b + V_c}{2}) (V_a - V_c) \right).$$

C'est la même formule que nous retrouverons dans l'électromètre de Thomson.

Électromètre à quadrants de sir William Thomson. — Au lieu d'un cylindre qui se déplace parallèlement à son axe, la partie mobile de cet appareil est une aiguille horizontale, qui tourne autour d'un axe vertical. Elle est renfer-



mée à l'intérieur d'une botte plate divisée en quatre parties distinctes, appelées quadrants, et reliées en croix comme l'indique la *fig. 16*. Quand les deux paires de quadrants sont au même potentiel, l'ai-

guille n'est soumise à aucune torsion du fil qui la supporte et son plan de symétrie AB est par construction confondu avec celui des quadrants.

Mais portons l'aiguille à un potentiel V , la 1^{re} paire de quadrant au potentiel V_1 , la seconde, au potentiel V_2 .

Chaque paire de quadrants forme avec l'aiguille un condensateur, dont la charge est proportionnelle à la différence des potentiels. La force qui, dans chacun, tend à déplacer l'aiguille, est, d'après une loi bien connue de Coulomb, proportionnelle au carré de la charge électrique ou de la densité.

L'aiguille est donc sollicitée par la pre-

mière paire de quadrants avec une force égale à $K(V - V)^2$; elle est sollicitée dans la direction opposée par la seconde paire de quadrants avec une force $K(V - V)^2$.

La constante K est la même en raison de la symétrie et du faible déplacement. La résultante qui meut l'aiguille est donc :

$$K(V_2 - V_1)(2V - V_2 - V_1).$$

Mais son moment est équilibré par le couple de torsion du fil qui suspend l'aiguille ; et si, pour le faible déplacement de celle-ci, nous le supposons proportionnel et égal à cA , l'équation d'équilibre peut s'écrire, en somme

$$A = a(V_2 - V_1) \left(V - \frac{V_2 + V_1}{2} \right).$$

Cette relation peut être utilisée pratiquement de diverses manières que nous allons indiquer.

Première méthode. — Pour mesurer une faible différence de potentiel $V_1 - V_2$, on peut établir, entre les paires de quadrants, cette différence et porter l'aiguille à un potentiel beaucoup plus élevé.

Si on néglige devant V la demi-somme $\frac{V_1 + V_2}{2}$, la formule se réduit à

$$\theta = a(V_2 - V_1)V.$$

Seconde méthode. — Si on porte les quadrants à des potentiels égaux et contraires, $V_1 = -V_2$, on supprime rigoureusement le terme $\frac{V_1 + V_2}{2}$; et la formule se réduit à $\theta = 2aVV_2$.

Il suffit d'un nombre pair d'éléments de piles identiques, groupés en série et dont les extrémités sont reliées aux quadrants et le milieu à la terre.

Telle est la méthode employée par M. Mascart pour mesurer l'excès V du potentiel de l'aiguille sur le potentiel de la cage en communication électrique avec le sol. En étudiant avec soin un électromètre de M. Mascart, M. Gouy a montré que la déviation de l'aiguille est, en effet, proportionnelle à $2V_2$, différence de potentiel des quadrants, tant que celle-ci ne dépasse pas $\frac{8}{15}$ d'unité électrostatique, mais que la proportionnalité n'existe plus au-delà. On doit alors, dans l'établissement de la formule d'équilibre, calculer plus rigoureusement l'énergie électrique du système, et cesser de considérer les condensateurs formés par l'aiguille et chaque paire de quadrants comme des condensateurs fermés. On trouvera dans le tome VII du *Journal de Physique*, année 1888, l'établissement d'une formule en complet accord avec l'expérience.

Troisième méthode. — Si on réunit l'aiguille

à la première paire de quadrants $V_1 = V$, la formule se réduit à $\theta = a(V_1 - N_2)^2$, les lectures sont proportionnelles au carré de la différence de potentiels. C'est la seule des méthodes que nous avons vues qui soit propre aux exercices d'alternatifs.

Il suffit que l'alternance soit courte par rapport à la période d'oscillation de l'aiguille, et celle-ci prend une position qui correspond à la déviation :

$$0 = \frac{a}{T} \int_0^T (V_1 - V_2)^2 dt.$$

L'électromètre gradué en continu, donnera donc, en alternatif, la mesure des différences de potentiels efficaces.

CHAPITRE V

DES ERREURS

On ne saurait prétendre, quand on évalue une grandeur, trouver le nombre qui exprime exactement le résultat de la comparaison avec l'unité ; l'imperfection de notre organisme et de nos méthodes ne permet pas d'atteindre un tel résultat. Ce que nous pouvons, en général, affirmer, c'est que le nombre qui mesure une grandeur, est compris entre deux nombres A et B assez voisins l'un de l'autre.

Appelons a_0 , le nombre qui mesure *exactement* une grandeur et que nous ne pouvons jamais évaluer sûrement, soit b le nombre que nous donne une mesure, on appellera erreur absolue de cette mesure, la valeur d'ailleurs *inconnue*, de $b - a_0$, et erreur relative, la valeur de $\frac{b - a_0}{a_0}$.

Il y a deux catégories d'erreurs :

- 1° Les erreurs systématiques ;
- 2° Les erreurs accidentelles.

1. Erreurs systématiques. — Une erreur est dite systématique, lorsqu'elle est constante dans toutes les mesures d'une même grandeur, faites dans les mêmes conditions ; ou même, si sans être constante, elle varie suivant une loi assignable.

Il y a trois catégories d'erreurs systématiques :

α) Erreurs systématiques personnelles.

β) Erreurs systématiques de méthode ou d'hypothèse.

γ) Erreurs systématiques instrumentales.

Les noms donnés à ces erreurs les définissent suffisamment.

Du fait que les erreurs systématiques se produisent dans le même sens, il est illusoire de songer à les supprimer ou à atténuer leurs effets par la *combinaison de déterminations successives* ; il faut donc, avec le plus grand soin, les éviter ; ceci revient à dire qu'il faut, dans les manipulations, opérer avec toutes les précautions possibles.

2. Erreurs accidentelles. — Les erreurs accidentelles sont celles qui, indépendamment des erreurs systématiques, sont commises lorsque les opérations ont été faites soigneusement avec toute la précision dont la méthode est susceptible.

Ces erreurs ne suivent aucune loi physique assignable (elles sont de plus inévitables), elles ne sont régies que par la loi des grands nombres, elles sont du domaine du calcul des probabilités.

Les erreurs accidentelles peuvent être : 1° instrumentales, si elles proviennent de la manœuvre des instruments ; 2° théoriques, si elles proviennent de fautes de calcul ; 3° personnelles, si elles proviennent de l'insuffisance des organes des opérateurs.

Par définition même, elles offrent les caractères suivants :

α) Il y a égale probabilité pour les erreurs positives ou négatives d'égale valeur absolue et, pour un très grand nombre d'expériences, les erreurs égales et de signe contraire, sont également fréquentes.

β) Pour chaque espèce d'observation, on peut concevoir un nombre k , tel que toutes les erreurs accidentelles soient comprises entre $-k$ et $+k$.

γ) Les erreurs ne sont pas également réparties entre $+k$ et $-k$, les plus petites sont les plus fréquentes (1).

Moyenne et résidus. — Si on a fait p mesures

(1) Pour l'étude complète de la Théorie des Erreurs, voir les travaux de Poisson, Lagrange, Laplace, etc.

directes d'une même grandeur et qu'on ait trouvé $a_1, a_2, a_3 \dots a_p$; si ces p mesures ont été faites avec le même soin, par la même méthode, et purgées le plus possible des erreurs systématiques, on aura, d'après les lois ci-dessus énoncées sur les erreurs accidentelles, une valeur se rapprochant plus de la valeur véritable en prenant la moyenne :

$$a_0 = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_p}{p},$$

au lieu d'un des p résultats trouvés qu'on serait amené à choisir au hasard.

On appellera résidus les p différences

$$u_1 = a_0 - a_1,$$

.....

$$u_p = a_0 - a_p.$$

Ces résidus donneront une idée de la façon dont la mesure a été faite; plus ils seront petits et plus les erreurs accidentelles seront petites.

Il faut bien remarquer que si ce procédé diminue les effets des erreurs accidentelles, il n'atténue en rien les effets des erreurs systématiques.

On doit se prémunir contre une faute de logique trop fréquente. Supposons que, parmi les p résidus, r résidus soient très grands par

rapport aux $(p - r)$ autres (on suppose le nombre r petit par rapport au nombre p) ; beaucoup de personnes suppriment les r résultats relatifs aux grands résidus. Rien n'est moins légitime, car il se peut que les résultats proviennent d'opérations pour lesquelles une erreur systématique se soit éliminée fortuitement, de sorte que le rejet des meilleurs résultats entrainerait une moyenne bien moins précise que leur conservation. Le mieux à faire, dans ce cas, est de recommencer toutes les opérations, si cela est possible, ou bien de garder tous les résultats. Le rejet d'un résultat ne sera justifié qu'autant que l'opérateur l'aura noté *douteux*, au moment où il aura effectué la mesure.

3. Erreurs relatives. — Il est bien évident que le plus intéressant dans une erreur n'est pas sa valeur absolue, mais sa valeur relative, et nous allons donner les théorèmes les plus importants sur la question.

Erreur relative d'un produit. — Dans un produit de nombres mesurant des grandeurs, l'erreur relative, possible sur le produit, sera la somme des valeurs absolues des erreurs relatives commises sur chacun des facteurs (si toutefois ces erreurs relatives sont suffisamment petites).

Démontrons pour le cas de deux facteurs ; soient a et b , les valeurs qu'on aurait dû trouver ; a_0 et b_0 les valeurs trouvées, avec une présomption d'erreur relative ; α_0 pour la première mesure, β_0 pour la seconde.

On aura :

$$a_0(1 + \alpha_0) > a > a_0(1 - \alpha_0),$$

et

$$b_0(1 + \beta_0) > b > b_0(1 - \beta_0).$$

d'où

$$a_0 b_0 (1 + \alpha_0 + \beta_0 + \alpha_0 \beta_0) > ab > a_0 b_0 [1 - (\alpha_0 + \beta_0) + \alpha_0 \beta_0].$$

Si α_0 et β_0 sont *très faibles* par rapport à 1, on aura encore sensiblement :

$$a_0 b_0 [1 + \alpha_0 + \beta_0] \leq ab > a_0 b_0 [1 - (\alpha_0 + \beta_0)].$$

On généraliserait facilement pour plusieurs facteurs.

Il ne faudrait pas toutefois dire que, dans le produit de deux nombres mensuels de deux grandeurs évaluées avec l'approximation $\alpha_0 = \beta_0 = \frac{1}{10}$ par exemple, le résultat soit connu avec une approximation de $\alpha_0 + \beta_0 = \frac{2}{10}$; ce serait faux, car l'approximation est alors $\frac{21}{100}$, comme on s'en rendrait compte facilement.

Un théorème analogue existe pour le quotient; nous nous contenterons de l'énoncer.

Erreur relative d'un quotient. — Dans un quotient de deux nombres mesurant des grandeurs, l'erreur relative maxima possible sur le quotient, sera la somme des valeurs absolues des erreurs relatives commises sur le dividende et le diviseur (si toutefois ces erreurs relatives sont suffisamment petites).

Erreur relative d'une fonction complexe. — On peut généraliser comme il suit :

Soit $x = f(abc\dots)$, une relation physique entre la mesure d'une grandeur et les mesures $abc\dots$ d'autres grandeurs, soient $\Delta a, \Delta b, \Delta c\dots$, les erreurs absolues commises sur $a, b, c\dots$, entraînant une erreur absolue Δx sur x , on aura, si $\Delta a, \Delta b, \Delta c$ sont suffisamment petits :

$$\Delta x = \Delta a \frac{\partial f}{\partial a} + \Delta b \frac{\partial f}{\partial b} + \dots,$$

ou

$$\frac{\Delta x}{x} = \sum \frac{\Delta a}{a} \cdot \frac{\frac{\partial f}{\partial a} \times a}{f}.$$

En remarquant que $\frac{\Delta x}{x}, \frac{\Delta a}{a}, \frac{\Delta b}{b}$ sont des erreurs relatives, on aura une relation générale sur les erreurs relatives de mesures de grandeurs physiques liées par la relation $x = f(abc\dots)$.

On pourra l'appliquer au cas où $f(abc\dots) = abc\dots$ et en déduire la généralisation du théorème précédent.

En pratique, il est impossible, comme nous l'avons dit plus haut, de connaître la valeur exacte des erreurs qu'on commet, car si on les connaissait on ne les commettrait pas. Toutefois toute mesure d'une grandeur est illusoire, si on ne connaît pas le maximum de l'erreur qu'on a pu commettre. Si, par un procédé quelconque, on sait que Δn est le maximum de l'erreur absolue dans la mesure d'une grandeur, pour laquelle le résultat trouvé est n , on dira que $\frac{\Delta n}{n}$ est l'*approximation* avec laquelle on est sûr d'avoir effectué la mesure.

Toutes les remarques et démonstrations développées précédemment sur les erreurs relatives s'appliquent aux approximations.

CHAPITRE VI

—

MESURE DES DIFFÉRENCES DE POTENTIEL

I. COURANT CONTINU

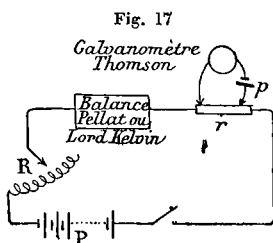
La première partie de ce chapitre sera consacrée à l'examen de deux problèmes, qui se présentent fréquemment : 1° la mesure d'une différence de potentiel à partir des étalons ; 2° la comparaison de deux d.d.p.

Quand on veut mesurer une différence de potentiel continue, on ne peut généralement pas recourir aux étalons absolus : 1° piles définies chimiquement ; 2° électromètres calculables ; 3° électrodynamomètres calculables avec résistance étalonnée. On établit donc pratiquement un étalon secondaire qui pourra être une pile non polarisable ou un ensemble formé par un galvanomètre et une résistance étalonnée.

Nous ne citerons pas les électromètres comme

étalons secondaires vu la difficulté de conserver leur constance.

1° Si on réalise le montage représenté par la *fig. 17*, dans laquelle la pile à étalonner p est placée avec un galvanomètre sensible en dérivation sur la résistance étalonnée r , on peut régler le courant I dans le circuit principal de façon que la chute rI fasse équilibre à p .



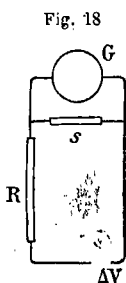
On mesure ainsi cette f.é.m. avec la précision que comporte la balance. Celle-ci a été préalablement étalonée par comparaison avec l'électro-dynamomètre absolu de Pellat ou à l'aide de la méthode de dépôt d'argent de Sir W. Thomson (Lord Kelvin).

On verra plus loin différentes méthodes de comparaison qui permettent d'utiliser la pile ainsi étalonée à la mesure des différences de potentiel. Nous les développons dans le paragraphe intitulé : *Méthode de comparaison*.

Voltmètre étalon. — On peut encore utiliser la pile étalonée à la graduation d'un voltmètre qui donnera la mesure de la d.d.p. par lecture directe.

La *fig. 18* représente le montage nécessaire à cette opération :

G est un galvanomètre Deprez-d'Arsonval d'une sensibilité de 10Ω environ, dont l'équipage mobile est en fil de maillechort, parce que les autres résistances S et R sont faites de ce métal, et qu'il est indispensable à la précision d'avoir le même coefficient de température (d'ailleurs faible), pour les différentes parties du montage.



Plaçant la pile non polarisable ⁽¹⁾ en circuit, on détermine R et S de façon à lire sur l'échelle 1 millimètre par chaque centième de volt. Ceci fait, on peut passer à telle graduation que l'on désire. Soit, par exemple, à déterminer les résistances réglables de façon à lire 1 millimètre pour n volts.

Il suffit de calculer les courants dans le galvanomètre pour les valeurs R et S des résistances sous $\frac{1}{100}$ de volt, et pour les valeurs R_n et S_n sous n volts, et écrire que ces intensités sont égales :

$$\frac{S}{R(G + S) + GS} = \frac{nS_n}{R_n(G_n + S_n) + GS_n}$$

(1) En général, une Leclanché à électrode de zinc de grande surface.

On devra faire que le courant dans la résistance ne dépasse pas $\frac{1}{400}$ amp. environ ; ce qui assigne une limite inférieure à R_n ; on n'en déduira pas qu'il faut choisir R_n *a priori*, car les résistances employées comme shunts ne sont pas suffisamment divisées, en général, mais on choisira S_n de façon que le calcul donne, pour R_n , une valeur d'ordre de grandeur convenable.

On peut obtenir ainsi facilement des étalonnements depuis 1 millimètre pour $\frac{1}{3000}$ volt jusqu'à 1 millimètre pour 5 volts environ.

Il est indispensable de bien vérifier l'horizontalité du galvanomètre et la symétrie de l'échelle par rapport au miroir. Il sera bon de limiter les lectures à environ 150 millimètres d'échelle ; au delà, l'écart entre l'angle et sa tangente serait moins négligeable.

Nous avons vu comment un galvanomètre à miroir (un Deprez-d'Arsonval pratiquement) peut être étalonné comme voltmètre.

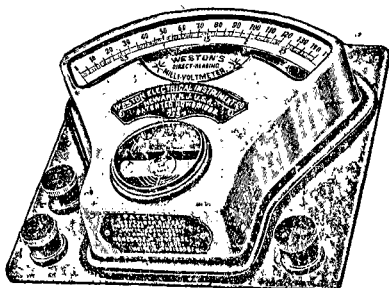
Le même principe est applicable aux galvanomètres à aiguilles de l'industrie, et c'est la maison Weston de Newark (U. S. A.) qui l'a utilisé la première (*fig. 19*). Les appareils construits par cette maison sont des galvanomètres Deprez-d'Arsonval, dans lesquels le fil de suspension est remplacé par un pivotage et des ressorts.

Des appareils de même genre ont été réalisés depuis par les maisons Carpentier en France, Hartmann et Braun en Allemagne, et enfin, la maison Chauvin et Arnoux en France.

Dans l'examen des méthodes de comparaison des d.d.p. nous ne citerons que pour mémoire les méthodes d'opposition et d'élongation.

La première est d'application rare parce qu'elle

Fig. 19



suppose réalisées des conditions trop spéciales, la seconde ⁽¹⁾ a pour principe la comparaison des élongations obtenues en déchargeant un condensateur chargé successivement sous les deux différences de potentiel à comparer. Elle offre l'inconvénient général des lectures d'élongation, et on

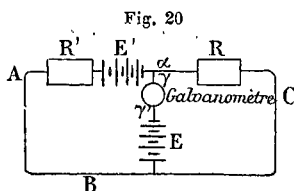
(1) Quelquefois désignée sous le nom de méthode de Law.

doit lui préférer les lectures de déviation permanente, et encore mieux l'observation du silence au galvanomètre, si c'est possible. C'est le cas de la méthode de Poggendorf.

Méthode de Poggendorf. — Si, dans un montage conforme à celui de la *fig. 20*, on relie par une clé les points α et γ , et qu'on règle les résistances R et R' de façon à observer le silence au galvanomètre g , on a la relation :

$$\frac{E}{E'} = \frac{R}{R + R'}$$

en appelant E' la *différence de potentiel* aux bornes de la pile en série. Ce rapport est souvent assez rapproché du rapport exact des f.é.m. à comparer pour les besoins de la pratique (à la résistance intérieure près de la pile E').



Si on veut comparer rigoureusement les *forces électromotrices* des deux piles, il faut éviter de faire débiter la pile E' et lui substituer dans le circuit principal une pile *témoin* qui pourra fournir sans varier le courant nécessaire à deux expériences : Dans la première, on met E dans la branche galvano-

métrique, et on a l'équation déjà vue :

$$(1) \quad \frac{E}{E''} = \frac{R}{R + R'}$$

en appelant E'' la d.d.p. aux bornes de la pile témoin.

La seconde expérience se fait de même avec la pile E' dans la branche galvanométrique, et l'équilibre s'obtient par un ajustement nouveau des résistances, dont la somme $R_1 + R'_1$ est toutefois *maintenue constante*, pour assurer la constance même de E'' .

L'équilibre (2) s'exprime par l'équation :

$$(2) \quad \frac{E'}{E''} = \frac{R_1}{R + R'}$$

En divisant (1) et (2) membre à membre, on a :

$$\frac{E}{E'} = \frac{R}{R_1}$$

En pratique, on commencera par mettre une résistance r' dans la branche du galvanomètre, de façon à éviter de faire débiter les piles E et E' pendant l'ajustement. Cette résistance sera ensuite supprimée lorsqu'on sera au voisinage de l'équilibre.

Quant à la constance de la somme $R + R'$, il

sera facile de la réaliser en employant deux boîtes identiques, de façon qu'à toute fiche absente d'une des boîtes corresponde une fiche placée dans l'autre.

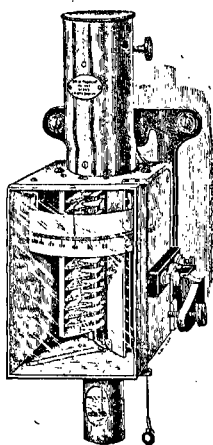
II. — MESURE DES DIFFÉRENCES DE POTENTIEL ALTERNATIVES

On peut employer les électromètres pour mesurer les différences de potentiel alternatives de fréquence faible, c'est-à-dire telles que la capacité de ces électromètres n'apporte pas de perturbations appréciables aux réseaux ou aux lectures. On sait, en effet, que leur capacité est extrêmement faible, mais le produit de ce faible facteur par une fréquence élevée arrive à cesser d'être négligeable. Les électromètres qu'on emploie dans ce but ne sont évidemment pas les appareils délicats que nous avons étudiés sous le nom d'« électromètres absolus », mais il leur faut subir un étalonnage par comparaison. On le fait au moyen de courant continu, par comparaison avec un voltmètre étalon.

A cette classe d'appareils appartiennent les électromètres multicellulaires de Sir William Thomson et le voltmètre électrostatique d'Ayrton et Mather.

Dans le premier, l'équipage mobile est une légère aiguille à ailettes, suspendue verticalement par un fil dont la torsion fournit le couple mécanique antagoniste. La partie fixe se com-

Fig. 21



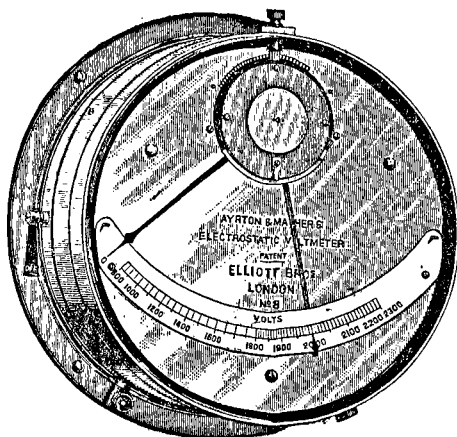
pose d'une double série de cellules étagées, disposées comme deux éléments opposés de l'électromètre à quadrants du même auteur. On met en communication avec l'aiguille un des pôles de la différence de potentiel à mesurer et on relie l'ensemble des cellules à l'autre. La *fig. 21* indique clairement le mode de repérage des lectures et la mise en position de l'appareil. La clé figuree

à droite permet de décharger l'appareil. Les mouvements de l'équipage sont amortis par le frottement d'un disque se déplaçant dans la glycérine. Le même constructeur a réalisé des appareils analogues à cadran horizontal.

La *fig. 22* représente une vue extérieure de l'électromètre construit sur le même principe par MM. Ayrton et Mather. L'équipage, suspendu

horizontalement, est composé d'un bâti supportant deux vanes courbes. Celles-ci se déplacent dans les intervalles limités par trois aubes fixes cylindriques. Ici l'effort directeur n'est plus produit par la torsion d'un fil, mais par la pesanteur, agissant sur une petite masse attachée à

Fig. 22



l'aiguille. Signalons encore, dans cet appareil, un dispositif réglable, analogue au parafoudre, et produisant la décharge des quadrants, lorsque le voltage appliqué devient trop élevé.

En comparant les graduations dans les *fig. 21* et *22*, on voit que la seconde réalise l'uniformité des divisions sur une plus large échelle. En

variant la forme des aubes courbes, les constructeurs peuvent obtenir l'uniformité, ou, au contraire, l'exagération des divisions dans telle ou telle partie de l'échelle.

On fait aussi la mesure industrielle des différences de potentiel alternatives par des *voltmètres à fer doux*, dont le principe est le même que celui des appareils électromagnétiques, dans lesquels on remplacerait l'aimant polarisé par un fer doux.

Si l'appareil était symétrique, un courant de fréquence suffisamment faible ⁽¹⁾, provoquerait des oscillations synchrones. Celles-ci diminuent si, à voltage constant, on élève la fréquence du courant, et elles s'annulent quand la fréquence devient suffisamment élevée. C'est le cas des voltmètres industriels Carpentier. Pour mesurer par une déviation la valeur du voltage alternatif, les appareils à fer doux doivent être asymétriques. Tels sont les appareils industriels Richard, Thomson. Ce dernier a, grâce à une combinaison convenable d'éléments entre eux, l'avantage déjà signalé pour l'échelle de l'électromètre d'Ayrton et Mather. Les indications de ces ap-

(1) Il faut, pour qu'il en soit ainsi, que la durée d'oscillation du courant soit inférieure à la durée d'oscillation propre de l'appareil.

pareils sont très sensibles aux variations de la fréquence ; aussi ne doit-on pas les étalonner à courant continu comme les électromètres, pour les utiliser indistinctement à toute fréquence ; mais on doit les étalonner avec un courant de fréquence égale à celle qu'on a en vue, par comparaison avec un électromètre.

En résumé, les deux précédentes classes d'appareils sont impropres à la mesure des d.d.p., à fréquences très élevées ; les uns, à cause de leur capacité et l'autre en raison de leur inductance. Cette lacune est comblée par les *voltmètres calorifiques*. Leur principe est de mesurer les volts par la dilatation d'un conducteur.

La chaleur développée dans ce conducteur $= \frac{E_{eff}^2}{R}$ par seconde.

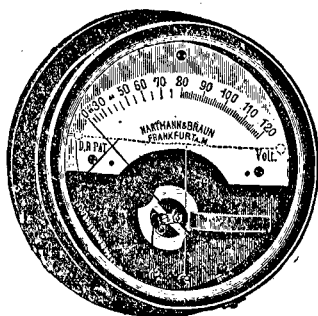
R étant la résistance ohmique, nécessairement très élevée, du conducteur.

Un équilibre presque instantané se produit entre les calories développées par effet Joule et les calories rayonnées. Ce qui fixe la température du fil, est pratiquement son excès sur la température ambiante : celui-ci est repéré par un allongement donné du fil qui, par conséquent, repère la valeur du voltage efficace.

Ces appareils sont, en raison même de leur

construction, d'une remarquable apériodicité; ils ne peuvent, en effet, dépasser la position

Fig. 23



d'équilibre, le fil n'ayant pas d'élasticité appréciable.

Le premier appareil construit sur ce principe est l'appareil de Cardew.

Ils jouissent aussi des avan-

tages de donner des indications indépendantes des influences extérieures et de la forme des ondu-
lations.

Divers constructeurs, la maison J. Richard et la maison Hartmann et Braun, en particulier, ont réalisé des modèles plus ramassés, la *fig. 23* représente la construction Hartmann et Braun.

CHAPITRE VII

MESURE DES INTENSITÉS

Nous avons vu que l'établissement primordial d'un étalon de voltage avait été réalisé au moyen d'une mesure d'intensité. Mais il va ressortir clairement de ce qui suit que le point de départ des mesures *pratiques* d'intensité consiste dans l'établissement d'un étalon d'intensité à courant continu au moyen d'un voltmètre étalon préalablement établi.

La préférence donnée aux appareils électrodynamiques pour la détermination des étalons primaires de voltage tient à leur plus grande sensibilité; mais celle-ci implique une plus grande délicatesse de fonctionnement, qui la rend moins pratique, et détermine les praticiens à revenir à l'emploi du voltmètre pour les mêmes courants d'intensité.

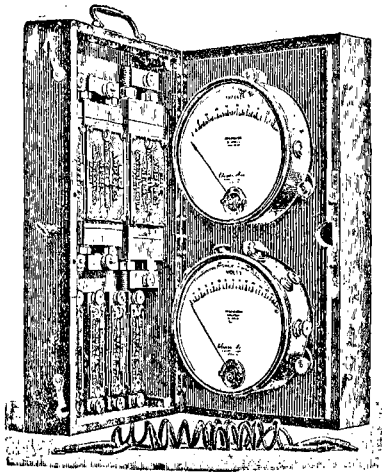
I. COURANT CONTINU

Quant on veut mesurer d'une façon précise une intensité, ou qu'on veut étalonner un ampèremètre en circuit, on mesure une différence de potentiel aux bornes d'une résistance connue. On prend comme métal pour constituer cette résistance un métal à faible coefficient de température, afin que la correction due à l'échauffement soit faible; nous citerons le maillechort, dont le coefficient de température est inférieur à 0,0004, et la manganine, dont le coefficient est pratiquement nul. Les constructeurs livrent des résistances étalonnées depuis $\frac{1}{10\ 000}$ d'ohm environ jusqu'à quelques ohms.

Cette méthode, appelée potentiométrique, sert à tous les étalonnements et à presque toutes les mesures de laboratoire et sert même à la plupart des mesures d'usine. Certains constructeurs ont cependant réalisé des ampèremètres destinés à la mesure directe des intensités faibles; tels sont les ampèremètres construits par la maison Weston de Newark (U. S. A), de même manière que les voltmètres du même nom. Mais il est indispensable pour le courant élevé d'employer la méthode po-

tentiométrique, qui possède en outre l'avantage d'une plus grande élasticité. Les ampèremètres qu'on rencontre le plus souvent en pratique sont donc des millivoltmètres avec un jeu de résistances appropriées et l'appareil ainsi réalisé est, dans la plus grande mesure, adaptable aux dif-

Fig. 24



férentes intensités par le simple changement de la résistance employée comme shunt.

Citons les ampèremètres ou millivoltmètres Weston, qui sont les premiers en date, les voltmètres et les résistances Carpentier et les ampèremètres universels de la maison Chauvin et

Arnoux (*fig. 24*). On rencontre aussi, en pratique, des ampèremètres à fer doux mobile sous l'action d'une bobine, et la réaction antagoniste d'un aimant ou d'un ressort. Il y a lieu de distinguer deux cas au point de vue des courants alternatifs, auxquels le second appareil s'applique seul. Quand ils doivent fonctionner en courant continu, on étalonne ces appareils à fer doux par comparaison avec ceux qui précèdent.

II. COURANTS ALTERNATIFS

Pour les intensités de basse fréquence, on peut employer des appareils électrodynamiques tels que la balance de Thomson étalonnée par son constructeur ou des électrodynamomètres proprement dits étalonnés par comparaison avec un ampèremètre étalon à courant continu.

Ces appareils, en conséquence de leur amortissement, ne sont d'aucune utilité dans l'indication des variations très brusques des courants.

Comme nous l'avons dit au paragraphe précédent, les appareils à fer doux asymétriques conviennent également à la mesure des courants alternatifs, mais l'influence de la fréquence est très sensible, et il convient de répéter l'étalon-

nage par chaque période, par comparaison avec un électrodynamomètre ou une balance Thomson.

Si on veut obtenir des indications indépendantes de la fréquence, on peut recourir aux appareils à fil chaud, dont le principe réside, comme celui des voltmètres de même nom, dans la dilatation d'un conducteur parcouru par un courant. Ce conducteur est un fil fin en platinoïde, mis en dérivation aux bornes d'une résistance non inductive. Parmi les ampèremètres de ce genre se rencontrent, en pratique, ceux d'Hartmann et Braun.

L'équilibre de température est très rapide, et ces appareils permettent de *repérer* les courants au démarrage ou à l'arrêt de moteurs alternatifs. Ils présentent l'inconvénient de brûler parfois par les coups de self-induction.

En résumé, nous avons reconnu, pour les ampèremètres comme pour les voltmètres, l'existence de trois classes d'appareils :

La première est propre au courant continu.

La seconde convient au courant continu et aux courants alternatifs.

La troisième mesure les courants continus et alternatifs et décèle les périodes variables de courant.

CHAPITRE VIII

—

MESURE DES RÉSISTANCES

Les méthodes affectées à ces mesures diffèrent suivant l'ordre de grandeur des résistances, c'est-à-dire suivant les propriétés ou l'usage des substances : isolants et conducteurs. Nous partagerons cette étude en trois parties :

1° Mesure des petites résistances, c'est-à-dire celles dont la valeur ne dépasse pas un ohm environ.

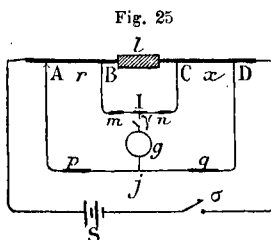
2° Mesure des résistances courantes, c'est à dire celles dont la valeur ne dépasse pas, environ, quatre ou cinq mégohms au maximum.

3° Mesure des très grandes résistances et, en particulier, mesure des isolements.

Mesure des petites résistances. — Nous citerons les deux méthodes de Sir W. Thomson et de Hockin-Matthiessen.

Méthode de Sir W. Thomson. — Soit à comparer la résistance étalonnée AB et la résistance

inconnue CD (fig. 25). On les unit par une jonction l de résistance *négligeable* et on les met en circuit avec une pile S, par l'intermédiaire d'une clé σ . On constitue, au moyen de résistances ajustables, deux dérivationes $ApqD$, $BmnC$, et on complète le montage



par un galvanomètre Ij , faisant pont entre les dérivationes, comme l'indique la figure.

L'observation du silence au galvanomètre, quand on ferme successivement les clés σ et γ , est le critérium de la méthode. Les relations entre les résistances et les courants en jeu dans cette hypothèse se réduisent à deux équations qu'il est facile d'établir si on convient, en effet, de donner les mêmes lettres aux courants qu'aux résistances correspondantes, en les distinguant par des majuscules, on a, en raison du silence au galvanomètre :

$$M = N, \quad P = Q, \quad R = X,$$

et les relations de Kirchoff, appliquées aux deux circuits adjacents au galvanomètre, deviennent deux équations linéaires et homogènes par rap-

port aux mêmes variables M, P et R :

$$Mm + Pp + Rr = 0,$$

$$Mn + Pq + Rx = 0.$$

Pour rendre possible la comparaison de x et r , il suffit d'une troisième équation que la construction réalise :

C'est l'égalité $\frac{m}{n} = \frac{p}{q}$.

Dès lors, chacun de ces rapports $= \frac{r}{x}$,

ce qui donne $x = \frac{n \cdot r}{m}$.

Remarque. — Nous ne discuterons pas cette méthode *excellente*, nous indiquerons seulement les recommandations suivantes :

1° La sensibilité de la méthode diminuera si

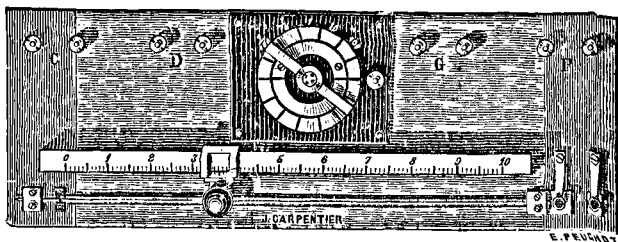


Fig. 26. — Pont de Thomson.

la résistance l augmente, elle augmentera lorsque le galvanomètre sera choisi plus sensible.

2° Pour pouvoir négliger la résistance des fils aboutissant à A, B, C et D, il est nécessaire de prendre les résistances m , n , p et q telles que $m + n$ et $p + q > 10\,000$ ohms.

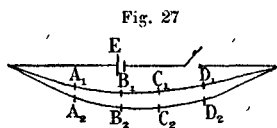
3° Il faudra éviter de faire passer des courants trop forts dans AB ou dans x , car l'échauffement pendant la mesure altérerait toute précision.

La fig. 26 représente la réalisation de cette méthode par la maison J. Carpentier.

Méthode d'Hockin-Matthiessen. — Le principe de la méthode est le suivant (fig. 27) :

Si, sur deux dérivationes fixes aux bornes d'une pile de force électromotrice E, on détermine deux groupes de

4 points $A_1 B_1 C_1 D_1$,
 $A_2 B_2 C_2 D_2$, tels que
 les dérivationes $A_1 A_2$,
 $B_1 B_2$, $C_1 C_2$ et $D_1 D_2$

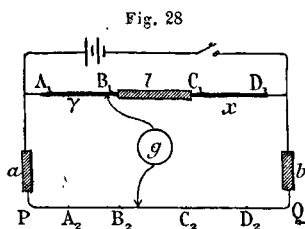


d'un galvanomètre correspondant au silence de cet appareil, on a évidemment, entre les résistances en jeu, les relations suivantes, indépendamment de la grandeur de la f. é. m. :

$$\frac{\text{résist. } A_1 B_1}{\text{résist. } A_2 B_2} = \frac{\text{résist. } B_1 C_1}{\text{résist. } B_2 C_2} = \frac{\text{résist. } C_1 D_1}{\text{résist. } C_2 D_2}.$$

Le montage de la méthode est indiqué par la fig. 28, a et b sont deux boîtes identiques éta-

lonnées de 10 000 ohms, par exemple, PQ est un fil calibré dont la résistance est de 1 ohm. On



fait en sorte que la somme des résistances introduites par a et par b soit constante, autrement dit, toute

fiche enlevée à a sera placée en la position correspondante de b, et réciproquement. En particulier, si, pour les quatre réductions au zéro, il n'est pas utile de toucher aux boîtes a et b, on aura :

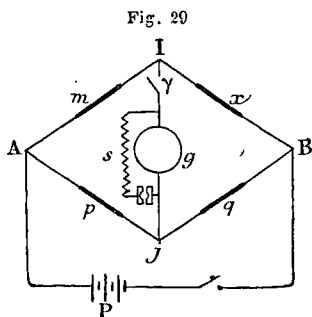
$$\frac{r}{x} = \frac{\text{résist. } A_2B_2}{\text{résist. } C_2D_2}.$$

Cette méthode est très *précise*, à la condition de prendre un galvanomètre sensible et d'assurer ainsi à chaque lecture de 0 une très grande précision.

Pour la comparaison des étalons et le calibrage d'un fil par la méthode Carey Forster, nous renvoyons à l'excellent ouvrage de M. Vaschy : *Traité d'Électricité et de Magnétisme*.

Mesure des résistances courantes. — La méthode dite du Pont de Wheatstone étant d'une très grande précision et universellement répandue, nous ne citerons que celle-là.

Méthode du Pont de Wheatstone. — Le schéma de la méthode est représenté par la *fig. 29*. On a deux dérivations, AIB, d'une part, et AjB, d'autre part, en vertu du principe énoncé par la méthode Hockin-Matthiessen, si le



galvanomètre ne bouge pas lorsqu'on ferme successivement les clés σ et γ , on a la relation :

$$\frac{m}{p} = \frac{x}{q}.$$

Donc, si m , p et q sont connus, x sera déterminé par la formule :

$$x = \frac{m \cdot q}{p} = m \frac{q}{p}.$$

En général, on ne fait varier qu'une résistance m , dite de comparaison, les résistances p et q étant laissées constantes.

Le galvanomètre ne sert que d'appareil de zéro et on peut accroître progressivement sa sensibilité en augmentant la résistance s jusqu'à suppression complète.

Les types industriels ont reçu des formes variées que nous ne décrirons pas ; le meilleur modèle est celui des ponts décades, construit

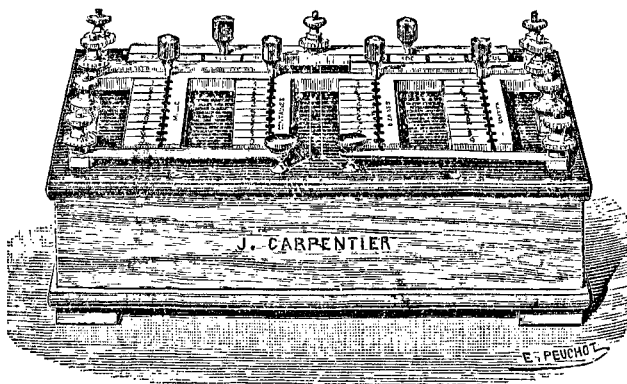


Fig. 30. — Boîte de résistance de 36 bobines disposées en décades avec pont de Wheatstone.

couramment et dont un des avantages est d'utiliser le minimum de fiches (fig. 30).

Chaque fiche ne commande pas une résistance unique, mais une décade, c'est-à-dire une série de résistances égales dont on peut prendre autant d'unités qu'on veut. La branche de comparaison comporte ordinairement une décade de mille ⁽¹⁾, une de centaines, une de dizaines et

⁽¹⁾ C'est-à-dire que chaque bobine de la décade a une résistance de 1000 ohms.

une des unités. Ces résistances sont placées *entre les plots marqués d'un numéro*. Les plots qui, sur la figure, sont placés en file parallèle au plus grand côté de la boîte, correspondent aux résistances p et q . Les clés placées à l'avant de la boîte correspondent l'une au circuit de la pile, l'autre au circuit du galvanomètre. Sur la boîte se trouve l'indication de la température d'éta-
lonnement du galvanomètre.

Les décades doivent rigoureusement se composer de *dix* bobines égales parfaitement étalonnées. C'est une simplification regrettable de limiter à 9 le nombre de ces bobines, car on ne peut pas ainsi vérifier une branche à l'aide des autres.

Pour éviter les insuccès qui se présentent, dans l'emploi du Pont, aux opérateurs inaccoutumés aux mesures, nous ferons les recommandations pratiques suivantes dont il faudra tenir compte soigneusement :

- 1° Ne jamais mettre les doigts sur les parties métalliques des fiches et, s'il est besoin de les nettoyer, faire usage de papier émeri triple zéro ;
- 2° Ne jamais enfoncer brutalement les fiches pour ne pas altérer les contacts ; on se contentera d'enfoncer *légèrement* les fiches en les tournant ;
- 3° Enlever soigneusement les poussières avec

un chiffon bien sec ou, dans les rainures, avec un tampon de papier buvard.

4° Dans une mesure, appuyer la clé de pile avant celle du galvanomètre. Car, en agissant autrement, on relèverait, au galvanomètre, un régime variable.

Sensibilité et précision de la méthode. — Nous avons vu que le réglage du Pont de Wheatstone conduit à la formule

$$x = m \frac{q}{p}.$$

$\frac{q}{p}$ est parfaitement connu et parfaitement déterminé si la construction de la boîte est bonne. Toute l'incertitude repose sur l'ajustement de la résistance m qui correspond au silence absolu du galvanomètre. En général, ce nombre est compris entre deux entiers consécutifs qui donnent :

m_1 , une déviation θ_1 à droite,
 $m_1 + 1$, une déviation θ_2 à gauche.

Nous pouvons sensiblement écrire :

$$\frac{m - m_1}{\theta_1} = \frac{m_1 + 1 - m}{\theta_2} = \frac{1}{\theta_1 + \theta_2},$$

d'où

$$m = m_1 + \frac{\theta_1}{\theta_1 + \theta_2}.$$

Calculons l'approximation obtenue avec cette interpolation. Supposons que l'œil apprécie θ_1 et θ_2 à $\frac{1}{5}$ de millimètre près. Les deux lectures sont donc comprises entre

$$\theta_1 - \frac{1}{5} \text{ et } \theta_1 + \frac{1}{5}, \text{ d'une part,}$$

$$\theta_2 - \frac{1}{5} \text{ et } \theta_2 + \frac{1}{5}, \text{ d'autre part.}$$

La plus petite valeur à présumer pour m est donc

$$m' = m_1 + \frac{\theta_1 - \frac{1}{5}}{\theta_1 + \theta_2 + \frac{2}{5}}.$$

La plus grande valeur à présumer pour m est donc

$$m'' = m_1 + \frac{\theta_1 + \frac{1}{5}}{\theta_1 + \theta_2 - \frac{2}{5}}, \text{ et}$$

$$\epsilon = m'' - m' = \frac{\frac{4}{5} \theta_1}{\left(\theta_1 + \theta_2 - \frac{2}{5}\right) \left(\theta_1 + \theta_2 + \frac{2}{5}\right)}.$$

Si, par exemple, $m_1 = 1\,200$,

$$\theta_1 = 50,$$

$$\theta_2 = 60,$$

nous aurons

$$\varepsilon = \frac{1}{302} \text{ ohm, et}$$

$$\frac{\varepsilon}{m_1} = \frac{1}{302 \times 1\,200} = \frac{1}{362.400}.$$

On voit que plus l'imperfection du zéro sera appréciable, plus l'approximation sera grande. Par une analyse que nous ne développerons pas ici, on démontre que cette imperfection du zéro est le mieux accusée :

1° Si le rapport entre la constante du galvanomètre et sa résistance est le plus grand possible ;

2° Si la force électromotrice de la pile a la valeur la plus grande compatible avec la conservation de la boîte (3 à 4 éléments environ au plus) ;

3° Si $(m + p)(q + x)$ est le plus petit possible, autrement dit si la somme des résistances partant d'une même borne du galvanomètre diffère d'aussi peu que possible de la somme des deux autres résistances.

On a proposé de remplacer le galvanomètre par un téléphone en remplaçant la pile par une source de courant variable. Le silence du téléphone remplacerait le silence du galvanomètre, cette méthode ne peut être utilisée que dans les mesures

grossières, car le silence absolu du téléphone n'est jamais obtenu, les branches de résistances n'étant pas rigoureusement dépourvues de self-induction et de capacité, — c'est ajouter au problème une condition de plus sans ajouter d'équation en plus.

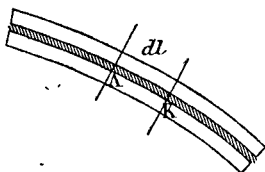
Avant de quitter le sujet, nous devons recommander de tenir compte de la résistance des fils ou des conducteurs de secours. Supposons, en effet, qu'on mesure une résistance de 100ω , à l'aide de fils d'une résistance de $\frac{1}{100} \omega$; on pourra objecter que la mesure d'un centième d'ohm au Pont de Wheatstone est peu rigoureuse ; supposons donc qu'on commette de ce fait une erreur de 10% , l'erreur sur un $\frac{1}{100}$ d'ohm sera donc $\frac{1}{1000}$ ohm ; par conséquent, on aura, de ce fait, sur la mesure des 100 ohms, une erreur relative introduite de $\frac{\frac{1}{1000}}{\frac{1}{100}} = \frac{1}{100000}$, négligeable dans la plupart des mesures.

Mesure des grandes résistances. — Les mesures de grandes résistances se rencontrant principalement (presque exclusivement) dans l'étude des *propriétés* isolantes des matériaux, c'est-à-dire des *propriétés* qu'ont certains matériaux, dits isolants, d'offrir une grande résis-

tance au passage du courant ; nous allons définir exactement les grandeurs à mesurer ; cela fera l'objet du paragraphe suivant.

Étude d'un câble. — Dans un câble parcouru par un courant (*fig. 31*), nous pouvons

Fig. 31



observer trois faits au point de vue électrique :

1° Une dissipation d'électricité par conduction dans l'isolant ;
 2° Une dissipation par la charge de cet isolant qui forme un véritable condensateur cylindrique dont l'âme présente un potentiel variable avec la section, tandis que l'extérieur est à un potentiel sensiblement constant et que nous supposerons tel dans ce qui suit ;

3° Un courant dans le conducteur métallique.

Nous nous proposons de calculer ces diverses quantités, en considérant un élément du câble de longueur dl pendant le temps très court dt .

Soient maintenant :

ρ , la résistance de l'âme du fil par unité de longueur ;

C , la capacité du fil isolé par unité de longueur ;

R , la résistance du diélectrique par unité de longueur.

Le courant traversant le diélectrique, du fait de sa faible conduction, est

$$(1) \quad i_1 = \frac{Vdl}{R}.$$

La charge de l'élément considéré du condensateur sera

$$(2) \quad Q = CVdl.$$

Le courant dû à la capacité sera

$$(3) \quad i_2 = C \frac{\partial V}{\partial t} dl.$$

Étudions maintenant le courant dans le fil. En K, le potentiel étant V , le courant qui traverse le fil est

$$i_3 = \frac{1}{\rho} \frac{\partial V}{\partial l},$$

et en A, il est

$$i_4 = \frac{1}{\rho} \frac{(\partial V + \partial V)}{\partial l}.$$

On a la relation

$$i_1 + i_2 = i_4 - i_3,$$

or,

$$i_4 - i_3 = \left(\frac{\partial V + \partial V}{\partial l} - \frac{\partial V}{\partial l} \right) \frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 V}{\partial l^2} dl.$$

Et l'équation de répartition de V (1) est :

$$(4) \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 V}{\partial l^2} - C \frac{\partial V}{\partial t} - \frac{V}{R} = 0.$$

Calculons le travail dissipé par le câble pendant le temps dt , nous aurons

$$d\mathcal{E} = (i_1 + i_2)Vdt,$$

$$d\mathcal{E} = \left[\frac{V}{R} dl + C \frac{\partial V}{\partial t} dl \right] Vdt,$$

et

$$\mathcal{E} = \int_0^t \int_0^l \frac{V^2}{R} dt dl + \int_0^t \int_0^l CV \frac{\partial V}{\partial t} dt dl.$$

En posant $V^2 = u$, on aura

$$(5) \quad \mathcal{E} = \int_0^t \int_0^l \frac{u}{R} dt dl + \frac{1}{2} \int_0^t C(u_t - u_0) dl.$$

(1) Cette équation a été autrefois étudiée par Fourier dans la *Théorie mécanique de la chaleur*; elle se trouve dans l'ouvrage de Vaschy (2^e vol.) à l'étude de la propagation électrique. Enfin si on suppose R très grand, on retombe sur l'équation indiquée déjà par Lord Kelvin et Blakesley.

Cherchons maintenant la quantité d'électricité dissipée

$$Q = \int_0^l \int_0^t (i_1 + i_2) dt,$$

ou

$$(6) \quad Q = \int_0^l \int_0^t \frac{V}{R} dt dl + \int_0^l C(V_t - V_0) dl.$$

La formule (5) nous montre que le travail dissipé du fait de la capacité *est nul* dans l'étendue de la période (au cas du régime périodique), ce qui revient à dire que l'énergie absorbée à un moment déterminé de la période est restituée à une autre époque de la période ; *il est nécessaire de faire la remarque suivante* : si la forme de la fonction V est très irrégulière ⁽¹⁾, il se peut que le câble ait à absorber (ou à restituer) pendant un temps *très court* une quantité notable d'énergie ; on voit, en effet, sur la seconde intégrale de (5), que la valeur de l'énergie dépend de u_t ; dans ces conditions, le câble pourra être détruit ; en tous les cas, il subira des tensions disruptives beaucoup *plus élevées*,

(1) Comme celle des anciens générateurs alternatifs du secteur des Champs-Élysées actuellement remplacés.

beaucoup *plus dangereuses pour le bon fonctionnement du câble isolé.*

Dans le cas du régime continu, $\frac{dV}{dt} = 0$ et les oscillations énergétiques n'ont plus lieu.

En résumé : on voit que pour l'isolant d'un câble (comme pour tous les organismes d'ailleurs), *ce sont les maxima des elongations qui sont à redouter. En plus des essais qu'on aurait eu à faire, si le régime était continu, on devra soumettre le câble servant au courant alternatif à une différence de potentiel de trois à cinq fois environ supérieure à la valeur de la différence de potentiel efficace du régime.*

Une précaution ne devra pas être omise dans la réception : elle consistera à interrompre et à rétablir rapidement un grand nombre de fois l'épreuve ci-dessus indiquée avant de soumettre le câble à l'essai continu de trois quarts d'heure à une heure ; quoique, en général, le câble mauvais se détériore au commencement de l'opération, il est bon de faire une épreuve prolongée, car un câble médiocre va se détériorant avec le temps.

La première intégrale de l'équation (5) montre que la perte d'énergie est, dans tous les cas, toutes choses égales d'ailleurs, inversement proportionnelle à R. La connaissance de R est donc

indispensable à rechercher. La relation (6) va nous permettre de trouver R.

Supposons que le régime auquel le câble est soumis soit continu et que le câble soit assez court pour qu'on puisse supposer $V = \text{const.}$, quelle que soit la longueur l du câble.

Alors

$$(7) \quad Q = \frac{V}{R} l, t,$$

Et le courant qui passera sera

$$I = \frac{V}{\left(\frac{R}{l}\right)}.$$

D'où le principe suivant de méthode :

On portera l'âme du câble à un potentiel V_1 ; l'extérieur du câble à un potentiel V_2 , on mesurera le courant résultant I et la résistance par unité de longueur sera donnée par l'expression $\frac{V_1 - V_2}{I}$. En général, les fabricants donnent les résistances d'isolement de leur câble en mégohms kilomètre. C'est la résistance d'isolement avec le kilomètre comme unité de longueur.

Nous allons passer en revue trois méthodes principales d'obtenir la résistance kilométrique ;

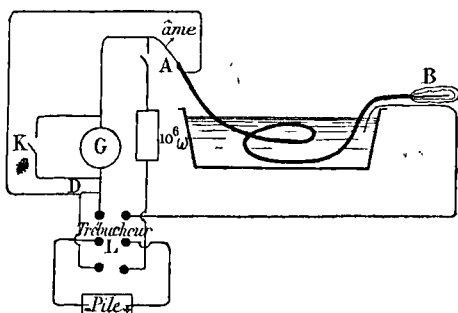
- α) Méthode de comparaison ;
- β) Méthode de la perte de charge ;

γ) Méthode comparative de Clarke et de Bright.

Mais avant d'aborder ces descriptions des méthodes, nous devons *rappeler* qu'il est nécessaire, quand on donne la valeur d'un isolement, de *fournir en même temps que tous les renseignements sur la méthode employée, la température relevée et la force électromotrice utilisée* (1).

Méthode de comparaison. — On commencera par décaper le câble soigneusement à ses

Fig. 32



deux bouts et on couvrira l'extrémité B (*fig. 32*) de couches successives de paraffine pour éviter les dérivations à cette extrémité. Le câble, sauf les

(1) La paraffine ne sera un bon isolant qu'à la condition de ne pas avoir été portée à une température trop élevée lui donnant l'aspect grisâtre. On enduira l'extrémité B avec un pinceau.

bouts, sera plongé dans un bain d'eau, l'extrémité A de l'âme du câble sera reliée par l'intermédiaire d'un galvanomètre très sensible au pôle négatif d'une forte pile, le pôle positif de la pile sera relié à l'eau du baquet.

On trouvera de plus, sur la *fig.* 32, une clé K de court circuit de galvanomètre servant à l'amortissement et une clé L permettant d'établir ou d'interrompre le circuit général.

Fermons L, on notera sur G une déviation θ_1 ; si E_1 est la différence du potentiel de la pile, m_1 , le shunt, Δ , la constante permanente du galvanomètre, nous aurons :

$$\theta_1 = \frac{\Delta}{m_1} \times \frac{E_1 l}{x},$$

en désignant par x , la résistance d'isolement de la longueur 1 kilomètre du câble immergé.

Remplaçons maintenant le câble par un mégohm étalonné ou, à son défaut, par 10^3 (ou même 10^4) ohms; c'est-à-dire supprimons le baquet et joignons A et C aux extrémités de la résistance étalonnée (1).

En appelant θ_2 , la déviation, m_2 , le pouvoir multiplicateur du shunt correspondant, Δ , la

(1) C'est une exigence très justifiée des administrations des postes de divers pays.

constante permanente du galvanomètre, E_2 , la différence de potentiel nouvelle, nous aurons

$$\theta_2 = \frac{\Delta}{m_2} \frac{E_2}{10^6}.$$

Et, en divisant les deux équations obtenues membre à membre

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{m_2}{m_1} \frac{E_1}{E_2} \times \frac{10^6}{x} \times l,$$

d'où

$$x = \frac{m_2}{m_1} \frac{\theta_2}{\theta_1} \times \frac{E_1}{E_2} \times 10^6 \times l.$$

Si l est exprimé en kilomètres, on aura la valeur de l'isolement en mégohms par kilomètre.

Le rapport $\frac{E_1}{E_2}$ sera mesuré par la méthode de Law.

Nous avons conseillé de réunir le pôle négatif de la pile à l'issu du câble. Cette précaution est *absolument nécessaire*, car le courant de ce sens agira électrolytiquement pour aggraver le défaut, tandis que le courant en sens contraire augmenterait la résistance du défaut par le fait de l'oxydation de la surface de l'âme à cet endroit.

Si on fait durer l'observation précédente et

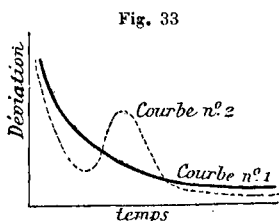
qu'on suive la déviation du galvanomètre, on voit qu'elle varie continuellement dans le même sens et tend ordinairement vers une limite pratique, de sorte que, *pour fixer les idées*, on admet tacitement qu'un câble restera plongé 24 heures et que l'on notera les isollements aux diverses époques de l'immersion ; les intervalles de temps, au début, seront très rapprochés pour devenir très larges dès que le régime permanent tendra à être atteint.

Avec les courants *positifs* ou *negatifs*, au cas où il n'y a pas *blessure*, la courbe des déviations en fonction du temps est donnée par la *fig. 33*, courbe n° 1.

S'il y a un défaut, le courant positif donne encore la même courbe, mais le

courant négatif donne une courbe de la forme indiquée par la *fig. 33*, courbe n° 2.

Les expérimentateurs très exercés arrivent à déceler les plus petites hésitations dans la marche du spot et à *démasquer* ainsi parfois l'insuffisance d'un câble qui paraîtrait excellent aux personnes moins rompues aux essais d'isolement.



Si on recommence une expérience, il faudra toujours *avoir soin de décharger le câble*; sans cette précaution, on arriverait aux résultats les plus contradictoires.

Autant qu'il sera possible, on ne devra pas se servir de la terre comme retour. Tous les fils, le baquet, la pile seront isolés *avec le plus grand soin* ⁽¹⁾, l'opérateur fera bien de s'isoler aussi et de ne toucher les clés qu'avec un bâton de paraffine. Il est, d'ailleurs, absolument nécessaire de tenir les instruments en parfait état de propreté.

Une autre précaution nécessaire dans ces mesures, sera la suivante : on enroulera les extrémités A des parties émergeantes de l'isolant du câble par un fil fin et nu et on rejoindra l'extrémité de ce fil en D (*fig. 32*); de cette façon, les pertes par les extrémités du câble ne passeront pas par le galvanomètre et seul le flux ayant traversé l'isolant passera par le galvanomètre ⁽²⁾.

Méthode de la perte de charge. Principe.

(1) Avec un galvanomètre Thomson d'une sensibilité de 10000 Ω , il suffit à l'opérateur non isolé de frôler un fil recouvert de gutta pour obtenir une déviation.

(2) Cette méthode est enseignée par l'auteur du *Laboratoire central d'électricité*, depuis 1894; elle a été proposée depuis par MM. Prece en Angleterre et Picou en France.

— Chargeons un condensateur d'une capacité C au potentiel V , puis déchargeons-le à travers une résistance R (qui peut être celle d'isolement d'un câble) pendant un temps T . Pendant le temps dt , on a un courant I de décharge

$$I dt = dq = C dv$$

où dq est la quantité soustraite au condensateur, dv , la chute de potentiel du condensateur.

D'autre part, on sait par la loi d'Ohm applicable pendant ce temps très court (le régime variant, en effet, très peu pendant le temps dt peut être supposé permanent),

$$I = \frac{v}{R},$$

d'où

$$\frac{dt}{R} = C \frac{dv}{v}.$$

En intégrant pendant le temps T , on aura

$$R = \frac{T}{CL \left(\frac{V}{\sqrt{V}} \right)}.$$

Pour obtenir $L \left(\frac{V}{\sqrt{V}} \right)$, on déchargera le condensateur immédiatement après l'avoir chargé, dans un galvanomètre balistique, soit θ , la dévia-

tion. Puis, on le rechargera et on le déchargera d'abord à travers la résistance R pendant le temps T, et ensuite dans le *même* galvanomètre balistique, soit θ , la déviation

$$R = \frac{T}{2,303 (\text{Log } \theta - \text{Log } \theta')} \times \frac{I}{C}.$$

On pourrait modifier cette méthode en faisant les mesures pendant la charge au lieu d'opérer pendant la décharge.

Quand on mesure, avec cette méthode et la précédente, un même échantillon (un isolateur, un câble, etc.), avec les mêmes précautions, on obtient des résultats quelque peu discordants, d'où nécessité de spécifier les méthodes utiles ; c'est qu'en effet, on ne tient pas compte dans l'une et l'autre méthode, de la totalité des phénomènes, autrement dit, les erreurs systématiques ne sont pas les mêmes dans l'une et l'autre méthode, de sorte que les méthodes d'isolement doivent être considérées comme des méthodes approchées où l'opérateur ne devra pas s'étonner des différences de 5 et 6 % et plus.

L'état atmosphérique extérieur a, *pour certaines mesures d'isolement*, une grande influence, au cas où on voudrait faire une mesure de haute précision, il serait nécessaire de tenir

compte de la température, de l'état hygrométrique, etc.

Une application de la dernière méthode consistera à mesurer la résistance d'isolement, soit d'un condensateur, soit d'un électromètre industriel, un multicellulaire, par exemple ; dans le premier cas, le condensateur lui-même étalonné servira à la mesure de son isolement ; il s'introduira, pour le second cas, une petite complication dont le lecteur triomphera facilement (*fig. 9*).

Méthode de Clarke et de Bright. — Cette méthode est principalement utilisée pour mesurer la résistance d'isolement des épissures (joints des câbles). Dans une cuve *très bien isolée*, remplie d'eau salée, on isole, comme il a été dit plus haut, un des bouts du câble, l'âme à l'autre bout est reliée au pôle *néгатif* d'une pile (*fig. 32*) ; le pôle positif de cette pile est relié à une armature d'un condensateur dont l'autre armature est reliée à la cuve par une lame de cuivre qui plonge en partie dans l'eau. Aux bornes du condensateur, se trouve placé, en dérivation, un galvanomètre balistique par l'intermédiaire d'une clé L.

Le galvanomètre étant hors du circuit par l'ouverture de la clé L, on note un temps T (égal à plusieurs minutes) de charge du conden-

sateur, on décharge après le condensateur dans le galvanomètre. On recommence pendant le même temps T sur une longueur de 2 à 10 mètres de câble intact (longueur déterminée par les cahiers des charges). Pour que l'épissure soit acceptable, il faut que la deuxième déviation soit supérieure à la première.

C'est une méthode dérivée de la précédente. Pour éviter les erreurs dues aux dérivations, on emploiera l'artifice déjà indiqué.

Mesure de la résistance d'une plaque d'isolant. — Supposons une plaque en gutta d'épaisseur suffisamment constante et cherchons sur elle à déterminer la résistivité de la gutta dont cette plaque est un échantillon. La feuille en gutta est placée entre deux plaques a et b , on peut remplacer ces plaques par des feuilles d'étain collées. La couche de colle liquide sera alors *assez faible* pour éviter toute erreur due à sa masse, il faudra aussi choisir une colle qui n'ait *aucune action* sur la matière dont on mesure la résistivité. On prendra pour la plaque A des dimensions plus faibles que pour la plaque B et on entourera A d'une autre plaque (ou feuille) à la manière de l'anneau de garde utilisé dans l'électromètre absolu de Sir W. Thomson (*fig. 11*).

Le montage est tel que *toute l'électricité* qui

passer par l'anneau de garde *ne passe pas* par le galvanomètre. On évite ainsi toute erreur due aux dérivations *rampantes* de surface, dont les valeurs échappent aux estimations et sont souvent de l'ordre de la grandeur principale à mesurer.

Isolement d'une installation. — Lorsqu'une installation vient d'être terminée, ou même *de temps à autre* en cours d'exploitation, il est nécessaire de vérifier l'état d'isolement des lignes qui la composent.

On arrivera à ce but de deux façons différentes :

1° Après avoir déconnecté préalablement tous les appareils d'utilisation, machines, lampes, etc., on appliquera une des méthodes ci-dessus indiquées suivant l'ordre de grandeur de l'isolement. Les extrémités de la résistance à mesurer sont, dans ce cas, l'âme du câble et une terre franche (*une canalisation d'eau ou de gaz, par exemple*).

2° On peut employer des appareils spéciaux dits « ohmmètres » qui permettent de lire directement les résistances d'isolement cherchées ; les résultats ainsi obtenus n'ont pas la précision qu'une installation de laboratoire fournirait, mais, dans la pratique générale, les résultats sont

suffisamment approchés pour renseigner l'ingénieur sur la valeur de l'isolement d'une installation.

Principe de l'Ohmmètre J. Carpentier. — Cet ohmmètre (*fig. 34*) est basé sur le principe suivant :

Supposons dans un même champ (ou chacun dans un champ constant) un ensemble formé de deux cadres rectangulaires à angle droit suspendus librement par leur axe commun vertical. Si ces deux cadres sont aux bornes d'une même pile, que le circuit de l'un de ces cadres soit invariable et que la résistance R du circuit de l'autre cadre soit variable, le système complet oscillant formé par les deux cadres prendra dans l'espace une position qui dépendra uniquement de la valeur de R . En shuntant convenablement le premier cadre, on pourra obtenir des graduations multiples.

La force électromotrice est donnée par une petite magnéto à main. La rotation doit être assez rapide, car il est nécessaire d'obtenir des couples sur chaque cadre suffisamment puissant pour rendre négligeable l'action des petits boudins de fils fins qui amènent le courant aux cadres.

Ces appareils sont gradués ordinairement

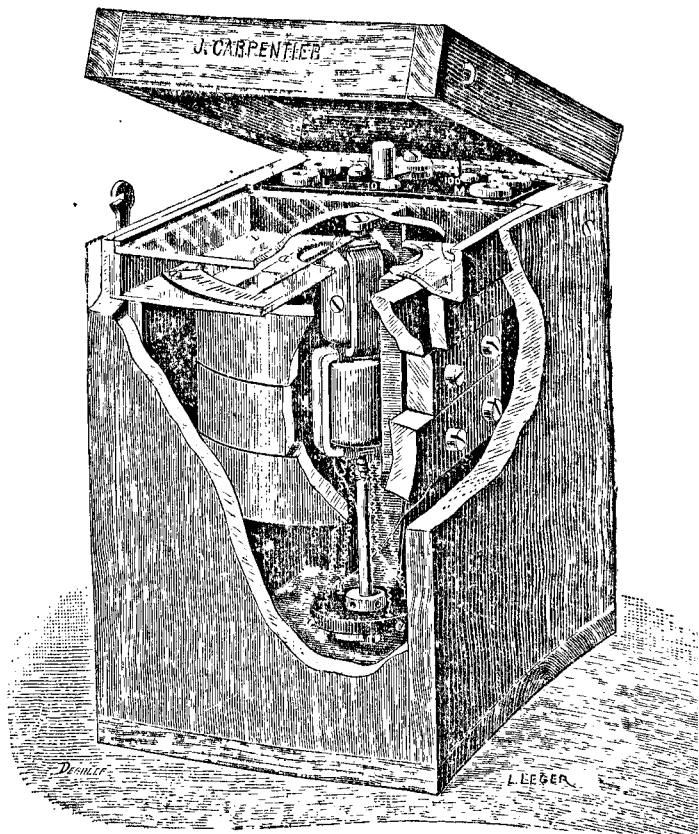


Fig. 34. — Ohmmètre.

jusqu'à 5 mégohms et les résultats peuvent être considérés comme exacts à 5 % près.

Contrôle des réseaux. — Les expériences de contrôle que nous allons étudier :

1° Contrôle à l'usine, pour vérifier l'ensemble des canalisations qui y aboutissent, et découvrir les défauts qui peuvent s'y produire ;

2° Contrôle au réseau pour localiser les défauts et permettre d'y porter remède.

1° *Mesure à l'usine de l'isolement général du réseau.* — La mesure de l'isolement général du réseau s'effectue à l'usine ; et, suivant les conditions du fonctionnement, elle est effectuée soit au repos, soit en marche.

a) *Mesure au repos.* — Si nous désignons par X , la résistance d'isolement entre un quelconque des câbles et la terre, elle se réduit à $\frac{X_1 X_2}{X_1 + X_2}$ si les fils sont au nombre de deux seulement. On peut mesurer séparément la résistance d'isolement de chaque fil à la terre, ou directement la résistance réduite par une mesure unique. C'est le problème précédemment traité.

b) *Mesure en marche.* — On sait que la marche modifie l'isolement des câbles en alternatifs, en raison des phénomènes de capacité qui

se produisent (1), mais les mesures d'isolement en marche sont même alors faussées par la capacité, et on ne peut avoir la valeur vraie des pertes d'une canalisation à courants alternatifs ni par des mesures au repos, ni par des mesures en marche.

Par conséquent, l'ingénieur chargé du service devra se montrer *très exigeant pour les mesures au repos*.

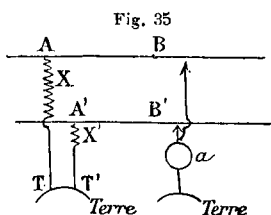
Nous ne décrirons donc ces dernières qu'en vue du courant continu, et nous distinguerons, dans cette étude, le cas où la canalisation est à 2 fils et celui où elle est à n fils.

I. Distribution à deux fils. — Toutes les méthodes connues ont l'inconvénient d'exiger la mise à la terre d'un des points du réseau, ce qui modifie le fonctionnement normal et un peu aussi l'isolement. Mais les mesures n'en gardent pas moins leur valeur comparative et suffisante pour les besoins pratiques. On met à la terre successivement un point de chacun des conducteurs par l'intermédiaire d'un ampèremètre ou d'un voltmètre et, de la déviation observée, on

(1) Ajoutons, pour montrer l'importance de cette altération, qu'un isolement de quelques mégohms peut baisser à quelques milliers d'ohms.

peut déduire la résistance réduite, ainsi que nous allons le montrer.

a) *Méthode de l'ampèremètre.* — Soient X et X', les résistances d'isolement des fils à la



terre, représentées (fig. 35) par les résistances AT, A'T,

à l'ampèremètre mis successivement en communication avec B et B'. Ces deux points

ont des potentiels dont la différence est le voltage de distribution U. En négligeant devant X et X', la résistance de l'ampèremètre et des tronçons de ligne AB, A'B', on a pour valeurs des deux lectures à l'ampèremètre :

$$i = \frac{U}{X'}, \quad i' = \frac{U}{X}.$$

Donc, en ajoutant :

$$i + i' = U \left(\frac{1}{X} + \frac{1}{X'} \right),$$

donc enfin :

$$\frac{1}{X} + \frac{1}{X'} = \frac{i + i'}{U}.$$

Cette méthode doit être appliquée avec beau-

coup de soie et il est bon d'ajouter, si on n'a aucune indication sur les valeurs de X et X' une résistance ρ en série avec l'ampèremètre.

β) *Méthode du voltmètre*. — En substituant à l'ampèremètre, un voltmètre de résistance R , on fait, dans les mêmes circonstances que tout à l'heure, deux lectures u et u' . Si pour chacune on applique la loi de Kirchhoff au point T (en conservant la même figure et les mêmes notations que tout à l'heure), il vient :

$$\frac{u}{X} + \frac{u}{R} = \frac{U - u}{X'}$$

$$\frac{u'}{X'} + \frac{u'}{R} = \frac{U - u'}{X},$$

et, par addition,

$$\frac{u + u'}{R} = (U - u - u') \left(\frac{1}{X} + \frac{1}{X'} \right),$$

d'où

$$\frac{1}{X} + \frac{1}{X'} + \frac{u + u'}{R(U - u - u')}.$$

II. Distribution à n fils. — Il est évident que cette méthode est inapplicable à plus de deux fils. M. Alfred Lartigue, ingénieur de l'usine de Hall l'a généralisée par l'emploi d'une perte auxiliaire ⁽¹⁾ qu'il mesure au moyen d'un ampère-

⁽¹⁾ *Contrôle des Installations électriques*, de M. Monmerqué, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

mètre sensible. Si X_1, X_2, \dots, X_n , sont les résistances d'isolement à la terre des n fils de distribution aboutissant aux bornes A_1, A_2, \dots, A_n , U_1, U_2, \dots, U_n , les *expressions algébriques* des différences de potentiel des mêmes fils à la terre (au voltage normal de la distribution), on a continuellement, d'après la loi de Kirchhoff, appliquée à la terre :

$$(1) \quad \frac{U_1}{X_1} + \frac{U_2}{X_2} + \dots + \frac{U_n}{X_n} = 0.$$

La mise à la terre, à travers une résistance suffisante d'un point quelconque A_i du réseau, donne lieu à la modification u des voltages U_1, U_2, \dots, U_n (1), et à la propagation d'un courant i dans la résistance ρ . Et, dans ces nouvelles conditions, la même loi de Kirchhoff donne l'équation (2) :

$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{U_1 - u}{X_1} + \frac{U_2 - u}{X_2} + \dots + \\ + \frac{U_n - u}{X_n} + i = 0. \end{array} \right.$$

(1) Les différences de potentiel entre chaque ligne étant maintenues constantes, il est évident que si la différence de potentiel entre une ligne et la terre varie de u , on remarquera la même différence sur chaque ligne.

Retranchant cette seconde équation de la première, on a :

$$(3) \quad i = u \left[\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n} \right],$$

d'où enfin,

$$\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n} = \frac{i}{u}.$$

On voit que la méthode utilise un ampère-mètre sensible à la lecture du courant, et un électromètre à la détermination des voltages U_1, U_2, \dots, U_n .

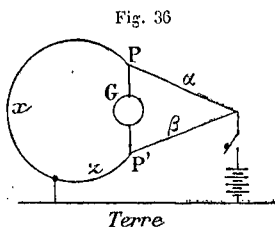
M. A. Lartigue a combiné, avec des appareils Jules Richard, un enregistreur de résistances réduites d'isolement dont on trouvera la description et le diagramme dans le traité du *Contrôle des Installations électriques* de A. Monmerqué.

Quand, au moyen de ces méthodes, l'isolement général est reconnu insuffisant, il faut en rechercher la cause dans les différentes parties du réseau et jusque chez l'abonné. On a recours alors au *sectionnement* du réseau, dont nous allons donner maintenant quelques notions.

Localisation des défauts d'isolement par le sectionnement du réseau. — — Si, comme

nous l'avons supposé, l'isolement général du réseau a paru insuffisant, on sectionne ce réseau et on étudie semblablement chaque portion. Sectionnant de nouveau celles où l'isolement est insuffisant, on localise le défaut à un groupe simple de conducteurs ou à un conducteur séparé. Les méthodes ordinaires de mesure deviennent applicables dans ce dernier cas ; souvent aussi on recourt, au lieu d'elles, à l'une des méthodes suivantes, qu'il nous reste maintenant à indiquer.

Méthode de la boucle. — Lorsqu'on peut disposer d'un autre conducteur que celui qu'on



soupçonne défectueux, on pourra boucler ces deux câbles à leurs extrémités et par l'adjonction de deux résistances comme l'indique la fig. 36, établir un véritable Pont de Wheatstone, dont le circuit de pile sera en grande partie composé par la terre.

On pourra déterminer α et β tels que :

$$\frac{x}{\alpha} = \frac{r}{\beta} = \frac{x+r}{\alpha+\beta}.$$

Or $\alpha + r$ est connu, c'est la somme des résistances des deux câbles, on a ainsi :

$$x = \alpha \frac{R}{\alpha + \beta}$$

$$y = \beta \frac{R}{\alpha + \beta}.$$

Ces relations permettront de localiser le défaut si toutefois il n'y a qu'une seule terre.

Mesure de la résistance intérieure d'une pile. — 1° *Méthode de la demi-déviatiou.* —

On met en circuit la pile, une résistance *convenable* et un galvanomètre. On note la déviation θ ; puis on recommence, en changeant la résistance jusqu'à ce que la déviation soit $\frac{\theta}{2}$; si

r est la 1^{re} résistance intercalée,

r' " 2^e " " "

G est la résistance du galvanomètre,

ρ " " de la pile.

On aura évidemment, en écrivant que les déviations sont inversement proportionnelles aux résistances et l'hypothèse $\rho = r' - (2r + G)$; que la f.é.m. de la pile n'a pas changé

$$\rho = r' - (2r + G).$$

2° *Méthode de Siemens.* — On met en circuit

la pile, une résistance calibrée à curseur PS, un galvanomètre de résistance G. On détermine un deuxième point S' sur la résistance calibrée, tel qu'une résistance R (en dérivation sur le galvanomètre) étant successivement placée entre S et A, entre S' et A ensuite, le galvanomètre accuse la même déviation, on a alors

$$\rho = b + G - a.$$

où $a - b$ est la résistance comprise entre la pile et S'.

3° *Méthode de Thomson.* — On met en circuit la pile de force électromotrice E et de résistance ρ , une résistance r et un galvanomètre G de résistance G, on note la déviation. On shunte ensuite la pile par une résistance R, et on fait varier r jusqu'à reproduire la première déviation, soit r' , la valeur de la résistance, on a

$$\rho = R \frac{r - r'}{r' + G}.$$

4° *Méthode de Mance.* — On met la pile à la place de la résistance à mesurer dans le montage du pont de Wheatstone, la branche où se trouve habituellement la pile est munie seulement d'une clé γ ; si ρ est la résistance de la

pile, a et b . les deux résistances non consécutives du pont et c , la troisième résistance, on aura

$$\rho = \frac{a \cdot b}{c},$$

lorsque la déviation du galvanomètre sera indépendante de l'ouverture ou de la fermeture de la clé γ .

CHAPITRE IX

MESURE DES CAPACITÉS

La capacité est définie géométriquement (1) et on peut prendre de cette définition géométrique un point de départ pour la construction d'établons.

On se rappellera aussi que des capacités en série peuvent être remplacées par une capacité C unique telle que

$$\frac{1}{C} = \Sigma \frac{1}{c}.$$

On se rappellera que des capacités en quantités peuvent être remplacées par une capacité somme des capacités.

Nous indiquerons pour la mesure des capacités les méthodes suivantes :

(1) Pour cette question et les questions analogues d'électrotechnie, voir l'excellent ouvrage de Minel : *Introduction à l'Électricité Industrielle*. Encyclopédie Scientifique des Aide-Mémoire, Gauthier-Villars et Masson, éditeurs.

Méthode de Sir W. Thomson. — Le principe de la méthode est le suivant : si deux condensateurs sont également chargés et qu'on les réunisse en opposition, leurs charges se neutraliseront, si les charges n'étaient pas égales, l'ensemble des deux condensateurs mis en opposition pourra donner dans un galvanomètre une déviation proportionnelle à la charge résiduelle du système. Le sens de la déviation indique d'ailleurs lequel des deux condensateurs est le plus chargé.

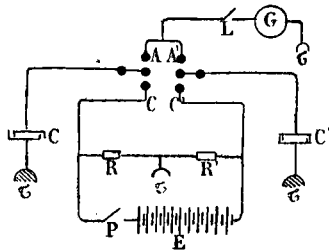
L'application de la méthode repose sur l'égalisation possible des charges communiquées aux deux condensa-

teurs et sur la réalisation du silence au galvanomètre balistique dans la décharge résiduelle. La *fig.* 37 qui représente le montage de la

méthode indique clairement que l'égalisation des charges est rendue possible par le départage des potentiels respectifs de charge des condensateurs à l'aide de deux résistances R et R' .

Le courant produit par la pile dans le circuit

Fig. 37



de charge PRR' établit aux bornes des résistances respectivement les voltages Ri et $R'i$ qui doivent servir à charger séparément les condensateurs C et C' . Il suffira d'abaisser le trébucheur sur CC' après avoir fermé la clé P .

Les condensateurs prennent alors les charges respectives CRi et $C'R'i$. Quand, par la manœuvre du trébucheur, on met en opposition les condensateurs, l'ensemble conservera une charge égale à $(CR - C'R')i$. Si enfin on décharge l'ensemble au moyen de la clé L , dans le galvanomètre G , on observe une élongation proportionnelle à cette charge. On peut la réduire en agissant sur les résistances réglables R et R' et obtenir le silence absolu quand on a réalisé la condition $CR = C'R'$.

Discussion. — Supposons qu'avec des valeurs entières des résistances des boîtes réglables, on ne puisse obtenir le silence, ce qui est le cas le plus fréquent. Dans ces conditions, on observe, avec R et R' , une déviation θ_1 , avec $R + 1$ et R' une déviation opposée θ_2 . Nous supposons toujours les boîtes de résistance très bien étalonnées. Un calcul facile montre que l'expression précédente de c' devient

$$C' = C \frac{R + \frac{\theta_1}{\theta_1 + \theta_2}}{R'}$$

Supposons que les valeurs lues pour θ_1 et θ_2 puissent être entachées d'une erreur d'un demi-millimètre ⁽¹⁾ alors la plus grande valeur que pourra prendre C' sera

$$C' + \Delta C' = \frac{C}{R'} \left(R + \frac{\theta_1 + \frac{1}{2}}{\theta_1 + \theta_2 - 1} \right)$$

d'où

$$\Delta C' = \frac{C}{R'} \left\{ \frac{1}{2} \frac{3\theta_1 + \theta_2}{(\theta_1 + \theta_2 - 1)(\theta_1 + \theta_2)} \right\}$$

et l'erreur relative maxima sur c' sera

$$\frac{\Delta C'}{C'} = \frac{1}{2} \frac{3\theta_1 + \theta_2}{(\theta_1 + \theta_2 - 1) [R(\theta_1 + \theta_2) + \theta_1]}$$

Prenons, par exemple

$$\theta_1 = 2 \quad \theta_2 = 4 \quad R = 1000 \pi$$

$$\frac{\Delta C'}{C'} = \frac{1}{2} \times \frac{10}{5} \times \frac{1}{6002} = \frac{1}{6000}$$

Telle est l'approximation de la méthode, dans les conditions idéales où nous nous sommes placés.

Cette approximation donne une idée de la précision de la mesure, toutefois il faut nettement comprendre le sens du résultat, il indique

(1) Erreur supérieure à l'erreur usuelle avec une échelle nettement divisée.

qu'à l'état présent, avec les conditions extérieures notées ou non notées, l'erreur relative est $\leq \frac{1}{6000}$, mais les capacités des câbles varient avec les conditions extérieures suivant des lois peu connues, de sorte que toutes ces mesures sont entachées d'erreurs systématiques théoriques, qui retirent au calcul le caractère absolu de précision qu'on rencontre dans les recherches analogues sur les résistances des fils métalliques (1).

Nous avons implicitement supposé que les condensateurs ou câbles soumis aux essais avaient la même durée totale de charge et de décharge. Or, il est loin d'en être ainsi en pratique, surtout en ce qui concerne les câbles. D'un silence observé avec une durée déterminée de charge et de décharge, on ne peut pas déduire certainement qu'il y a neutralisation rigoureuse des charges, car les différentes capacités ont des durées de décharge très inégales, et celles des câbles notamment sont très supérieures à celles des condensateurs commerciaux. La précaution à prendre consiste à répéter plusieurs fois les épreuves en faisant varier et notant les durées

(1) Erreur supérieure à l'erreur usuelle avec une échelle nettement divisée.

de la charge et de la décharge, c'est-à-dire les temps écoulés entre les deux positions du trébucheur et entre la dernière manœuvre du trébucheur et la fermeture de la clé L.

On prendra pour *capacité de régime du câble* (1), à la différence notée de potentiel de charge, la valeur trouvée avec un temps de charge tel que, si on l'augmente, on retrouve la même valeur.

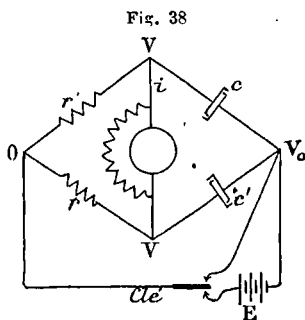
Cette méthode donne d'excellents résultats, si on a soin de bien *isoler* son installation et de ne pas se tromper dans le montage un peu long et de *décharger le câble après chaque opération*. L'isolement de l'installation est de toute nécessité à cause du temps t' qu'on laisse à la charge du câble pour se neutraliser avec la charge du condensateur étalonné.

Méthodes de de Sauty et de Gott. — Cette méthode met en principe la substitution des deux condensateurs à comparer à deux des résistances du parallélogramme de Wheatstone et l'observation du silence au galvanomètre *balistique* pendant la charge ou la décharge du système.

Comme le représente la figure du montage (*fig. 38*), les condensateurs sont placés dans deux

(1) C'est ordinairement ce qui se présente.

branches consécutives du parallélogramme de



Wheatstone aboutissant à un même pôle de la pile. Les résistances r et r' sont supposées sans self ni capacité. Si on règle ces résistances de façon à observer le silence au galvanomètre

pendant le régime variable d'ouverture ou de fermeture de pile, on a entre les valeurs des capacités et des résistances la proportion

$$\frac{c}{c'} = \frac{r}{r'}$$

Cette méthode ne peut être conseillée en pratique à cause de son manque de précision. En effet :

1° Elle suppose que les condensateurs ont une *période variable égale*, ce qui est loin d'exister, surtout lorsqu'on compare la capacité d'un câble à celle d'un condensateur étalonné.

2° Les résistances ne sont jamais dépourvues complètement de self-induction et de capacité⁽¹⁾.

(1) Chaperon avait indiqué une règle pour le hobi-nage qui évitait à peu près complètement le self et la capacité.

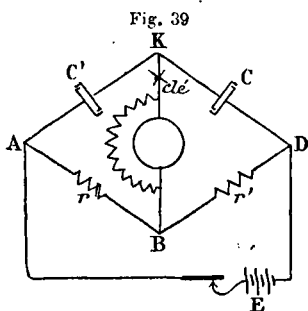
M. Gott a modifié d'une façon heureuse cette méthode en la mettant à l'abri des deux critiques précédentes.

Comme le représente la *fig. 39*, les condensateurs sont placés dans deux branches du pont aboutissant à un même pôle du galvanomètre balistique.

Si on ferme la clé de pile, le galvanomètre étant ouvert, le voltage se répartira dans la branche ABD proportionnellement aux résistances, dans la branche AKD en raison inverse des capacités, si on ferme alors la branche du galvanomètre, celui-ci ne restera au silence qu'à la condition que

$$\frac{C'}{C} = \frac{r'}{r}.$$

Lorsqu'il est possible d'établir égalité absolue de voltage entre K et B, la fermeture de la clé du galvanomètre n'introduira aucune période variable dans le système tout entier, il n'y aura donc aucune intervention des périodes variables des condensateurs et des selfs ou capacités des



résistances r et r' . Mais s'il n'est pas possible d'ajuster r et r' de manière à éviter toute différence de voltage entre K et B, la différence existante produira une décharge à travers le galvanomètre balistique et tous les éléments des périodes variables inconnues du système entrera en jeu. En sorte qu'il est illusoire de calculer la précision de la méthode.

En pratique, on peut donner au montage une disposition qui permette toujours d'obtenir l'équilibre désiré. Il suffit de réunir r et r' par un fil calibré de la résistance d'un ohm (dans le cas où les boîtes r et r' progressent ohm par ohm, et prendre la dérivation au galvanomètre à l'aide d'un curseur.

Méthode de la perte de charge. — La méthode de la perte de charge permet de mesurer la capacité d'un condensateur sous la forme du rapport d'un temps à une résistance, expression homogène à une capacité. Elle permet donc de se passer de condensateur étalon, mais elle est peu précise.

La méthode consiste à repérer deux instants de la charge ou de la décharge d'un condensateur et à mesurer les élongations.

Reprenant la méthode développée pour la mesure des résistances isolements, et l'équation

obtenue, que nous reproduisons ici

$$c = \frac{1}{R} \frac{T}{2,303 (\text{Log } \theta - \text{Log } \theta')}$$

on obtient la mesure de la capacité en fonction d'une résistance étalonnée et d'un temps qu'on peut repérer au moyen d'une montre à secondes.

Comparaison de deux capacités au galvanomètre balistique. — On chargera un des condensateurs de capacité C_1 sur une différence de potentiel V_1 , l'élongation du balistique pendant la décharge sera θ_1 ; on chargera l'autre condensateur de capacité C_2 sous la d.d.p. V_2 , l'élongation sera θ_2 , nous aurons

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{C_1}{C_2} \times \frac{V_1}{V_2}.$$

Or, le rapport $\frac{V_1}{V_2}$ pourra être déterminé par la méthode de Law déjà indiquée.

CHAPITRE X



MESURE DES COEFFICIENTS DE SELF-INDUCTION

Pour toute catégorie de mesures, il est nécessaire de bien considérer les conditions de fonctionnement des appareils dont on cherche les constantes : le choix de la méthode sera déterminé par ces considérations ; cette vérité, évidente pour quiconque a opéré, se rencontre plus dans la mesure des coefficients d'induction que partout ailleurs. On remarquera, en effet, qu'en général, les circuits à l'étude enveloppent, peu ou beaucoup, des matières magnétiques, de sorte que les coefficients d'induction dépendent de l'intensité et de la forme des courants qui ont servi à la mesurer.

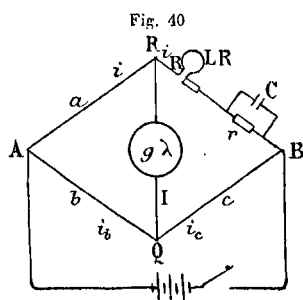
Les premières méthodes qui se présentent à l'esprit sont les méthodes de comparaison. Théoriquement, elles sont séduisantes, car les coefficients d'induction étant des fonctions connues

des distances (théorème de Neumann), on a pensé d'abord à réaliser pratiquement des circuits dont le coefficient de self-induction pourrait être calculé. Malheureusement le fait, pour un coefficient d'induction, d'être une fonction seulement des longueurs, entraîne pour une bobine la nécessité de *rester toujours semblable à elle-même* et c'est justement cette condition qui est irréalisable pratiquement, et qui a empêché de construire des étalons de self-induction, comme on a construit des étalons de résistance et de capacité. Les méthodes de comparaison directe ne sont donc pas employées. Toutefois le lecteur peut trouver la description de celle de Maxwell dans l'ouvrage de M. Vaschy. Elle est analogue à la méthode indiquée par de Sauty pour la comparaison des capacités (voir le chapitre précédent), et on peut lui faire la même critique qu'elle est difficile à réaliser si les deux bobines ont des périodes variables différentes.

Pour la mesure des coefficients d'induction, la propriété d'être : 1° homogène au produit d'une capacité par le carré d'une résistance ; 2° homogène au produit d'une résistance par un temps, suggère l'idée de déterminer les valeurs de ces coefficients : 1° à l'aide de résistance et de capacité (méthode de Maxwell) ; 2° à

l'aide d'une résistance et d'un temps (méthodes d'Ayrton et Perry, lord Rayleigh et Ledebor).

Méthode de mesure de la self-induction à l'aide d'une capacité et d'une résistance r non inductive (Maxwell). — On établit d'abord l'équilibre du pont de Wheatstone en permanent, d'une façon aussi complète que possible, avec les éléments de la fig. 40 :



est la bobine dont on cherche la self-inductance L , et dont la résistance est R ; a , b , c , r , sont des résistances sans self. Cet équi-

libre obtenu, on fermera une fois pour toutes le circuit du galvanomètre, et lorsqu'on fermera la clé de pile on cherchera à obtenir le silence au galvanomètre en agissant sur le condensateur C , dont on peut faire varier la capacité. On a, à tout moment, d'après les lois de Kirchhoff :

$$(1) \quad I = i_a - i_r = i_c - i_b$$

avec

$$(2) \quad gI + \lambda \frac{dI}{dt} = i_b b - i_a a = \\ = \left[Ri_r + L \frac{di_r}{dt} + v \right] - i_c c$$

v étant la différence de potentiel aux bornes du condensateur ; λ , la self du galvanomètre et g , sa résistance. Soit i' , le courant qui charge le condensateur pendant la période d'établissement du courant, soit i'' , le courant qui traverse r , on a

$$(3) \quad i' + i'' = i_n$$

ou

$$(4) \quad i' = \frac{dq}{dt} = C \frac{dv}{dt}$$

d'où

$$(5) \quad i'' + C \frac{dv}{dt} = i_n$$

or,

$$(6) \quad v = r i''$$

puisque la résistance r est sans self, donc

$$(7) \quad \frac{v}{r} + C \frac{dv}{dt} = i_n$$

et, en différentiant

$$\frac{dv}{dt} + Cr \frac{d^2v}{dt^2} = r \frac{di_n}{dt}$$

d'où on tire

$$C \frac{dv}{dt} = Cr \frac{di_n}{dt} - C^2 r \frac{d^2v}{dt^2}$$

substituant cette valeur dans l'équation (7), on a

$$\frac{v}{r} + Cr \frac{di_n}{dt} - C^2 r \frac{d^2v}{dt^2} = i_n$$

d'où

$$(8) \quad v = ri_n - Cr^2 \frac{di_n}{dt} + C^2 r^2 \frac{d^2 v}{dt^2}.$$

Remplaçons dans (2), nous aurons

$$gl + \lambda \frac{dI}{dt} = bi_b - ai_a = (R + r) i_n + \\ + (L - Cr^2) \frac{di_n}{dt} + C^2 r^2 \frac{d^2 v}{dt^2} - i_c c.$$

Intégrons dans les limites (0 à t) de la période variable

$$(9) \quad g \int_0^t I dt + \lambda \int_0^t dI = b \int_0^t i_b dt - a \int_0^t i_a dt = \\ = (R + r) \int_0^t i_n dt + (L - Cr^2) \int_0^t di_n + \\ + Cr^{22} \int_0^t \frac{d^2 v}{dt^2} dt - c \int_0^t i_c dt.$$

Remarquons que $\int_0^t dI = 0$ puisqu'au commencement et à la fin de la période variable $I = 0$.

$$\text{Posons ensuite } q = \int_0^t I dt$$

$$\alpha = \int_0^t i_a dt \quad \beta = \int_0^t i_b dt \quad \gamma = \int_0^t i_c dt \quad \rho = \int_0^t i_n dt$$

l'équation (9) peut s'écrire

$$(10) \quad gq = b\beta - ax = (R + r)\rho + \\ + (L - Cr^2) \left[i_n \right]_0^t - C^2 r^2 \int \frac{d^2 v}{dt^2} dt - c\gamma$$

or, les équations (1) peuvent s'intégrer pendant la période variable, et donnent

$$q = \alpha - \rho = \gamma - \beta$$

nous en tirons

$$aq = \alpha a - a\rho$$

$$bq = b\gamma - b\beta$$

d'où en ajoutant

$$(a + b)q = (b\gamma - a\rho) + (ax - b\beta)$$

ou, en vertu de (10)

$$(a + b)q = b\gamma - a\rho - gq$$

qu'on peut écrire

$$(a + b + g)q = b\gamma - a\rho$$

et l'on en tire

$$\gamma = \left[(a + b + g)q + a\rho \right] \frac{1}{b}.$$

Portons dans l'égalité constituée par les termes extrêmes de (10)

$$gq = \left[R + r - \frac{a}{b} c \right] \rho + (L - Cr^2) \left[i_n \right]_0^t + \\ + C^2 r^2 \int_0^t \frac{d^2 v}{dt^2} dt - \frac{c}{b} (a + b + g)q$$

or, puisqu'on a établi l'équilibre préalable en permanent

$$R + r = \frac{a}{b} c.$$

Ainsi

$$\begin{aligned} q [c(a + b) + g(b + c)] &= \\ &= b(L - Cr^2) [i_n]_0^t + bC^2r^2 \int_0^t \frac{d^2v}{dt^2} dt, \end{aligned}$$

or, la dernière intégrale

$$C^2r^2 \int_0^t \frac{d^2v}{dt^2} dt = C^2r^2 \left[\frac{dv}{dt} \right]_0^t = C^2r^2 [i']_0^t = 0$$

et

$$q [c(a + b) + g(b + c)] = b(C - cr^2)i_n.$$

La décharge balistique, proportionnelle à $\int_0^t Idt = q$, sera nulle si $(L - Cr^2)i_n = 0$, ou $L - Cr^2 = 0$.

Dispositif pratique. — Pratiquement, pour obtenir l'équilibre absolu en permanent, on place entre les branches AQ et QB un fil d'une résistance d'un ohm *au moins*, sur lequel peut se déplacer un couteau M conduisant au galvanomètre (genre Thomson).

De plus, un galvanomètre d'Arsonval shunté par une résistance sans self permet d'évaluer le courant i_n dans la branche du pont qui contient

la bobine. Ces dispositifs sont représentés par la *fig. 41*.

Les opérations sont les suivantes:

1° Calibrage du pont en régime permanent. On note le courant i traversant PB;

2° La clé S étant maintenue

fermée, on abaissera la clé S', et on fera varier c ou r , de façon à obtenir balistiquement le silence au galvanomètre. Lorsqu'il est atteint, on a

$$L - C \left(\frac{r}{1000} \right)^2 = 0$$

où

L est exprimée en henrys,

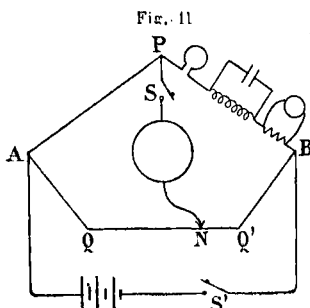
C " microfarads,

r " ohms.

Cette méthode est employée très utilement pour la mesure des self-inductions des appareils téléphoniques et télégraphiques.

M. Massin, Ingénieur des Télégraphes, a imaginé, pour remplacer le fil QQ', un rhéostat continu qui rend la mesure très commode et très rapide.

Il peut arriver que le spot quittant sa position



d'équilibre, s'arrête brusquement dans son mouvement pour reprendre dans l'autre sens un mouvement régulier. C'est que, dans ce cas, la seconde intégrale, nulle à ses limites, qui sont celles de décharge du condensateur, n'a pas la même limite supérieure que celle de décharge de la self-induction, de sorte que le galvanomètre commence à intégrer une partie de cet effet, pour intégrer ensuite la décharge complémentaire, de signe contraire à la précédente. Dans ce cas, en diminuant C , on aura, comme coefficient de cette seconde intégrale, un coefficient plus faible qui l'empêchera d'être prépondérant. On devra avoir soin de prendre une capacité divisée en centièmes de microfarads.

Une critique pour l'exécution consiste à faire remarquer que bien peu de constructeurs livrent des boîtes de résistance exemptes à la fois de self et de capacité; pour ces mesures, il faut employer des boîtes dont les bobines sont enroulées comme l'avait indiqué Chaperon.

Dans le cas fréquent où on ne posséderait pas un rhéostat continu, on peut procéder comme l'a indiqué M. Massin.

1^{re} *Opération* : Équilibre en permanent.

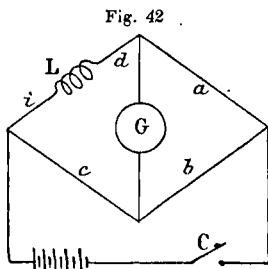
2^e *Opération* : La capacité étant supprimée, on obtient une élongation balistique θ_1 .

3^e Opération : La capacité C est mise à sa place ordinaire, mais la bobine est remplacée par une égale résistance sans self. On obtient une élancement θ_2 de sens contraire à la première.

La valeur de L est donnée par la formule

$$C \left(\frac{r}{1000} \right)^2 = \frac{\theta_1}{\theta_2}.$$

Méthode de Lord Rayleigh. — Sur la *fig.* 42, on voit que si L est une bobine de self placée dans une branche du pont de Wheatstone et qu'en permanent on ait équilibre, si on ferme la clé C, on aura une impulsion au galvanomètre dû à l'action du courant i ou de la branche qui contient



L sur cette bobine de self, la force électromotrice instantanée agissante est Li ; soit α_1 l'élancement. Décalibrons le pont par l'adjonction d'une faible résistance ρ par rapport à d ; le courant i qui traverse la branche contenant ne sera pas *sensiblement modifié* et tout se passera comme si on avait ajouté une force électromotrice ρi donnant en permanent une déviation α_2 .

Il en résulte que si K_1 et K_2 sont les constantes en balistique et en permanent du galvanomètre, on a

$$\frac{Li}{\rho i} = \frac{\frac{\alpha_1}{K_1} \times \mu}{\frac{\alpha_2}{K_2} \times \mu}$$

où μ est une constante de proportionnalité; on a donc

$$\frac{L}{\rho} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \times \frac{K_2}{K_1}$$

$\frac{K_2}{K_1}$ pourra être facilement déterminé.

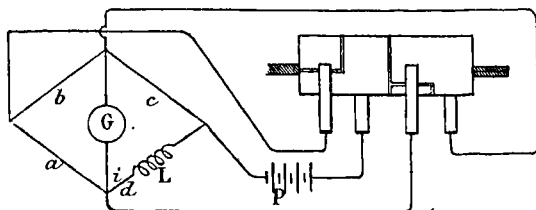
M. Ledebœr a proposé d'employer le procédé de répétition à l'aide d'un commutateur automatique. La sensibilité de la méthode en est augmentée, car tout se passe comme si on considérait une force électromotrice $n.L.i$.

Méthode d'Ayrton et Perry. — Ces expérimentateurs se sont appliqués à superposer les effets dus à la force électromotrice inductive de la bobine L avec la f.é.m. ohmique de la résistance ρ de *décalibrage* du pont.

Ils ont employé un commutateur tournant de vitesse uniforme. Ce commutateur est destiné à établir un court circuit dans la branche galvanométrique et alternativement ouvrir et fermer le circuit de pile (*fig. 43*).

Si t est le temps qui s'écoule entre la fermeture du circuit de pile et le court circuitage du

Fig. 43



galvanomètre, on a, au moment de l'équilibre, la relation

$$Li = \rho it \quad \text{ou} \quad L = \rho t.$$

Méthode de Joubert. — Si on a un courant dont la force électromotrice soit parfaitement sinusoïdale

$$E = E_0 \sin \omega t.$$

Si ce circuit a une résistance r et un coefficient de self-induction L , on aura, si I_0 est le courant efficace traversé

$$E_0^2 = I_0^2 (r^2 + L^2 \omega^2).$$

Si on fait varier r par l'adjonction d'une résistance non inductive ρ , on aura

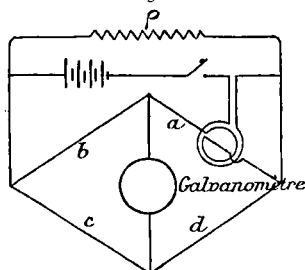
$$E_0^2 = I_0^2 [(r + \rho)^2 + L^2 \omega^2].$$

Toutes les constantes, sauf L , peuvent être lues sur un appareil, ces deux équations permettront donc de déterminer L .

Malheureusement, les forces sinusoïdales sont difficiles à obtenir pratiquement.

Mesure d'un coefficient d'induction mutuelle par sa comparaison avec un coefficient de self-induction (Méthode indiquée par Maxwell). — Nous supposons que, dans un pont de Wheatstone, la première bobine dont on considère la self soit dans une des branches,

Fig. 44



tandis que la deuxième bobine dont on considère le coefficient d'induction mutuelle avec la première, soit dans le circuit de pile (fig. 44).

On établit l'équilibre en permanent, puis on cherche la résistance ρ qu'il est nécessaire de placer en shunt sur le circuit de pile pour que le silence persiste au balistique, lorsque le galva-

nomètre étant fermé, on ferme la clé de pile. On a alors

$$Li' - Mi = 0$$

où L et M sont des coefficients d'induction ; i et i' , les courants parcourant la branche du pont et le circuit de pile en permanent. On a ainsi

$$\frac{L}{M} = \frac{i}{i'} = a \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{\rho} \right) + \frac{s + b}{\rho}.$$

Le calcul en est facile.

SYMBOLES DES QUANTITÉS PHYSIQUES

*Recommandés par la Commission des Notations de la Chambre
cago en*

(Les noms en italiques sont ceux dont l'adoption provisoire a
Engineers)

Quantités physiques	Symboles	Équations de définition	Dimensions des quantités physiques
<i>Fondamentales</i>			
Longueur	L, l	//	L
Masse	M	//	M
Temps.	T, t	//	T
<i>Géométriques</i>			
Surface	S, s	$S = L.L$	L^2
Volume	V	$V = L.L.L$	L^3
Angle	α, β	$\alpha = \frac{\text{arc}}{\text{rayon}}$	un nombre
<i>Mécaniques</i>			
Vitesse	v	$v = \frac{L}{T}$	LT^{-1}
Vitesse angulaire . . .	ω	$\omega = \frac{v}{L}$	T^{-1}
Accélération	a	$a = \frac{v}{T}$	LT^{-2}
Force	F	$F = M.A$	LMT^{-2}
Énergie ou travail (<i>work</i>)	W	$W = F.L$	L^2MT^{-2}

ET ABREVIATIONS D'UNITES

des délégués du Congrès international des Électriciens de Chi-
1893

été recommandée par *The American Institute of Electrical*
en mai 1894)

Noms des unités C.G.S.	Abréviations des unités C.G.S.	Unités pratiques	Abréviations des unités pratiques
Centimètre	cm	Mètre	m
Masse du gramme	g	Masse du kilogramme	kg
Seconde	s	Minute, heure	m : h
Centimètre carré	cm ²	Mètre-carré	m ²
Centimètre cube	cm ³	Mètre-cube	m ³
Radian	//	Degré, minute, seconde, grade	//
Centimètre par seconde	cm:s	Mètre par seconde	m : s
Radian par seconde	//	Tour par minute	t : m
Centimètre par seconde par seconde	cm:s ²	Mètre par seconde par seconde	m:s ²
Dyne	dyne	Gramme : kilogramme	g ; kg
Erg.	erg	Kilogrammètre	kmg

SYMBOLES DES QUANTITÉS PHYSIQUES

Quantités physiques	Symboles	Équations de définition	Dimensions des quantités physiques
<i>Mécaniques (suite)</i>			
Puissance	P	$P = \frac{W}{T}$	L^2MT^{-3}
Pression	p	$p = \frac{F}{S}$	$L^{-1}MT^{-2}$
Moment d'inertie. . .	K	$M. L^2$	L^2M
<i>Magnétiques</i>			
Intensité de pôle. . .	m	$F = \frac{m^2}{L^2}$	$L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}$
Moment magnétique. .	\mathcal{M}	$\mathcal{M} = ml$	$L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}$
Intensité d'aimantation.	\mathcal{J}	$\mathcal{J} = \frac{\mathcal{M}}{V}$	$L^{-\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}$
Intensité de champ . .	\mathcal{H}	$\mathcal{H} = \frac{F}{m}$	$L^{-\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}$
Flux de force magnét. .	Φ	$\Phi = H. S$	$L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}$
Induction magnétique .	\mathcal{B}	$\mathcal{B} = \mu\mathcal{H}$	$L^{-\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}$
Perméabilité (magnét.).	μ	$\mu = \frac{\mathcal{B}}{\mathcal{H}}$	un nombre
Susceptibilité (magnét.).	κ	$\kappa = \frac{\mathcal{J}}{\mathcal{H}}$	un nombre
Réductivité (magnétique)	ν	$\nu = \frac{1}{\mu}$	un nombre
Réductance (rés. magn.)	\mathcal{R}	$\mathcal{R} = \frac{L}{S}$	L^{-1}

ET ABRÉVIATIONS D'UNITÉS (Suite)

Noms des unités C.G.S.	Abréviations des unités C.G.S.	Unités pratiques	Abréviations des unités pratiques	
Erg par seconde	erg:s	Kilogrammètre par seconde	kgm : s	
Dyne par centimètre carré	dyne:cm ²		Kilogramme par centimètre-carré	kg : cm ²
Gramme-masse-centi- mètre-carré	g-cm ²			
"	—	Pas d'unités pratiques spéciales	—	
"	—		—	
"	—		—	
<i>Gauss</i>	Pas d'abréviations		—	—
<i>Weber</i>			—	—
<i>Gauss</i>			—	—
"			—	—
"			—	—
"			—	—
<i>Oersted</i>			—	—

SYMBOLES DES QUANTITÉS PHYSIQUES

Quantités physiques	Symboles	Équations de définition	Dimensions des quantités physiques
<i>Électromagnétiques</i>			
Résistance	R, r	$R = \frac{E}{I}$	LT^{-1}
Conductance	G	$G = \frac{1}{R}$	$L^{-1}T$
Force électromotrice .	E, e	$E = RI$	$L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-2}$
Différence de potentiel.	U, u	$U = RI$	—
Intensité de courant. .	I, i	$I = \frac{E}{R}$	$L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}$
Quantité d'électricité .	Q, q	$Q = IT$	$L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}$
Capacité	C, c	$C = \frac{Q}{E}$	$L^{-1}T^2$
Énergie électrique . .	W	$W = EIT$	L^2MT^{-2}
Puissance électrique. .	P	$P = EI$	L^2MT^{-3}
Résistivité (rés. spécif.)	ρ	$\rho = \frac{RS}{L}$	L^2T^{-1}
Conductibilité (cond.sp.)	γ	$\gamma = \frac{1}{\rho}$	$L^{-2}T$
Coefficient d'induction .	L, l	$L = \frac{\Phi}{I}$	L
Force magnétisante . .	\mathcal{H}	$\mathcal{H} = \frac{4\pi NI}{L}$	$L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}$
Force magnétomotrice .	\mathcal{F}	$\mathcal{F} = 4\pi NI$	$L^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}$

ET ABRÉVIATIONS D'UNITÉS (*Suite et fin*)

Noms des unités C.G.S.	Abréviations des unités C.G.S.	Unités pratiques	Abréviations des unités pratiques
<i>Oersted</i>	Pas d'abréviations	Ohm	ohm
"		Mho	mho
"		Volt	v
"		Ampère	a
"		Coulomb; ampère-heure	c; a-h
"		Farad	f
Erg		Joule; watt-heure	j; w-h
Erg par seconde		Watt; kilowatt	w; kw
"		Ohm-centimètre	ohm-cm
"		"	"
Centimètre		Henry	h
<i>Gauss</i>		"	"
<i>Gilbert</i>		Ampère-tour	a-t

(Extrait de l'*Industrie électrique*).

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Introduction (généralités sur les grandeurs) . . .	5
Grandeurs et unités électriques.	13
Lecture des appareils électrométriques	25
Étude des appareils généraux de mesures. . .	31
Galvanomètres (appareils électro-magnétiques).	49
Électrodynamomètres et Wattmètres (appareils électrodynamiques)	56
Electromètres (appareils électrostatiques). . .	69
Étude sommaire des erreurs.	84
Mesure des différences de potentiel	92
Mesure des intensités	105
Mesure des résistances.	110
Mesure des capacités	150
Mesure des coefficients de self-induction . . .	160
TABLEAU des quantités physiques et abréviations d'unités	174



Imprimerie Bussière frères. — Saint-Amand (Cher).

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS.

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 : Thermodynamique. Puissance des machines, diagrammes et formules. Indicateurs. Organes. Régulation. Épures. Distribution et changement de marche. Alimentation etc. ; XI-604 pages, avec 412 figures ; 1895..... **20 fr.**

TOME II : Volants régulateurs. Classification des machines. Moteurs à gaz, à pétrole et à air chaud. Graissage, joints. Montage et essais. Passation des marchés. Prix de revient, d'exploitation et de construction ; IV-560 pages, 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 pal aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche ; 1895 (E. I.). **15 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.**

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.**

1

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **G. 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 : Études. — Construction. — Voie et appareils de voie. — Volume de VIII-634 pages avec 326 figures; 1894..... 20 fr.

TOME II : Matériel roulant et Traction. — Exploitation technique. — Tarifs. — Dépenses de construction et d'exploitation. — Régime des concessions. — Chemins de fer de systèmes divers. — Volume de 709 pages, avec 177 figures; 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 : Généralités sur la fonte, le fer et l'acier. — Résistance de ces matériaux. — Assemblages des éléments métalliques. — Chainages, linteaux et poitrails. — Planchers en fer. — Supports verticaux. Colonnes en fonte. Poteaux et piliers en fer. — Grand in-8 de 584 pages avec 479 figures; 1894..... 20 fr.

TOME II : Pans métalliques. — Combles. — Passerelles et petits ponts. — Escaliers en fer. — Serrurerie. (Ferrements des charpentes et menuiseries. Paratonnerres. Clôtures métalliques. Menuiserie en fer. Serres et vérandas). — Grand in-8 de 626 pages avec 571 figures; 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.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

BLANCHIMENT ET APPRÊTS
TEINTURE ET IMPRESSION

PAR

Ch.-Er. GUIGNET,

Directeur des teintures aux Manufac-
tures 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 ÉCHAN-
TILLONS DE TISSUS IMPRIMÉS; 1895 (E. I.)..... 30 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 : Plans et devis. — Matériaux. — Assemblages. — Différents types de na-
vires. — Charpente. — Revêtement de la coque et des ponts. — Gr. in-8 de 379 pages
avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4° doubles, dont 2 en trois couleurs; 1894. 18 fr.

TOME II : Compartimentage. — Cuirassement. — Pavois et garde-corps. — Ouver-
tures pratiquées dans la coque, les ponts et les cloisons. — Pièces rapportées sur la
coque. — Ventilation. — Service d'eau. — Gouvernails. — Corrosion et salissure. —
Poids et résistance des coques. — Grand in-8 de 616 pages 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 con-
trôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique
(économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

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.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

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.

DEUXIÈME ÉDITION.

Un vol. 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, ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GRAND IN-8 DE XII-333 PAGES, AVEC 111 FIGURES ET 28 CARTES DANS LE TEXTE; 1893 (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 (E. I.).

TOME I : Généralités. Carbures. Alcools. Phénols. Éthers. Aldéhydes. Cétones. Quinones. Sucres. — Volume de 688 pages, avec figures; 1896..... 20 fr.

TOME II : Hydrates de carbone. Acides monobasiques à fonction simple. Acides polybasiques à fonction simple. Acides à fonctions mixtes. Alcalis organiques. Amides. Nitriles. Carbylamines. Composés azoïques et diazoïques. Composés organo-métalliques. Matières albuminoïdes. Fermentations. Conservation des matières alimentaires. Volume de 718 pages, avec figures; 1896..... 15 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,

Professeur à la Faculté des Sciences
de Nancy,
Directeur de l'École de Brasserie.

J. JAQUET,

Ingénieur civil,

Un volume de ix-186 pages, avec 131 figures; 1898..... 7 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 (E. T. P.).

TOME I; 1889; 20 fr. — TOME II (1^{re} partie; 1893); 10 fr. 2^e partie; 1898; 10 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **Maurice D'OCAGNE**,

Ingr 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.

PREMIERS PRINCIPES

D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE

PILES, ACCUMULATEURS, DYNAMOS, TRANSFORMATEURS,

Par **Paul JANET**,

Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris,

Directeur de l'École supérieure d'Électricité.

Troisième édition entièrement refondue. — In-8, avec 169 figures; 1899. 6 fr.

UNE EXCURSION ÉLECTROTECHNIQUE

EN SUISSE,

PAR LES ÉLÈVES DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ,

AVEC UNE PRÉFACE DE P. JANET,

Directeur de l'École supérieure d'Électricité.

Un volume grand in-8, avec 48 figures; 1899..... 2 fr. 75 c.

DEUXIÈME EXCURSION ÉLECTROTECHNIQUE EN SUISSE,

PAR LES ÉLÈVES DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

Un volume grand in-8, avec 19 figures; 1899..... 1 fr. 50 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par M. J. JAMIN.

QUATRIÈME ÉDITION, AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFOUNDUE

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; 1885-1894. (OUVRAGE COMPLET)..... 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 chaleur*; avec 47 figures 5 fr.

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. — *Étude 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.

(*) 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.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

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.

Des 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; 1899..... 3 fr. 50 c.

COURS DE PHYSIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS AUX ÉCOLES SPÉCIALES
(conforme aux derniers programmes),

PAR

James CHAPPUIS,

Agrégé Docteur ès Sciences,
Professeur de Physique générale
à l'École Centrale
des Arts et Manufactures.

Alphonse BERGET,

Docteur ès Sciences,
Attaché au Laboratoire des recherches
physiques à la Sorbonne.

UN BEAU VOLUME, GRAND IN-8 (23^{cm} × 16^{cm}) DE IV-697 PAGES,
AVEC 465 FIGURES.

Broché..... 14 fr. | Relié cuir souple..... 17 fr.

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.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

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 FIG. ET 4 PL.; 1899. 12 FR.

MANUEL DE L'EXPLORATEUR

PROCÉDÉS DE LEVERS RAPIDES ET DE DÉTAILS
DÉTERMINATION ASTRONOMIQUE DES POSITIONS GÉOGRAPHIQUES,

PAR

E. BLIM,

Ingénieur-chef du service des Ponts
et Chaussées de Cochinchine.

M. ROLLET DE L'ISLE,

Ingénieur hydrographe
de la Marine.

UN VOLUME IN-18 JÉSUS, AVEC 90 FIGURES MODÈLES D'OBSERVATIONS
OU DE CARNETS DE LEVERS; CARTONNAGE SOUPLE; 1899.. 5 FR.

TRAITÉ DE NOMOGRAPHIE.

THÉORIE DES ABAQUES. APPLICATIONS PRATIQUES.

Par Maurice d'OCAGNE,

Ingénieur des Ponts et Chaussées,
Professeur à l'École des Ponts et Chaussées,
Répétiteur à l'École Polytechnique.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 177 FIGURES ET 1 PLANCHE; 1899.

Broché..... 14 fr. | Relié (cuir souple)..... 17 fr.

DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE
PAR COURANTS POLYPHASÉS,

Par J. RODET,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

Un volume in-8 de VIII-338 pages, avec figures; 1898..... 8 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LA BICYCLETTE

SA CONSTRUCTION ET SA FORME,

Par **C. BOURLET**,

Docteur ès Sciences,

Membre du Comité technique du Touring-Club de France.

Un volume grand in-8, avec 263 figures: 1899 4 fr. 50 c.

HISTOIRE ABRÉGÉE

DE L'ASTRONOMIE

Par **Ernest LEBON**,

Professeur au Lycée Charlemagne.

Un volume petit in-8, caractères elzéviens, avec 16 portraits
et une Carte céleste; titre en 2 couleurs; 1899. 8 fr.

HISTOIRE

DE

L'ARCHITECTURE

Par **Auguste CHOISY**.

Deux beaux volumes grand in-8 de 644 pages et 800 pages, avec 866 fig.; 1899. 40 fr.

RECHERCHES SUR LES GAZ,

VOLUMES MOLÉCULAIRES ET ÉTATS CORRESPONDANTS,

Par **A. LEDUC**,

Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de de Paris.

In-8; 1898..... 2 fr. 50 c.

NOUVELLES RECHERCHES SUR LES GAZ,

APPLICATIONS.

Par **A. LEDUC**,

In-8; 1899..... 1 fr. 50 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

PREMIERS PRINCIPES

DE

GÉOMÉTRIE MODERNE

A l'usage des Élèves de Mathématiques spéciales
et des Candidats à la Licence et à l'Agrégation,

Par Ernest DUPORCQ,
Ancien Élève de l'École Polytechnique,
Ingénieur des Télégraphes.

Un volume in-8, avec figures; 1899..... 3 fr.

LEÇONS ÉLÉMENTAIRES

SUR LA THÉORIE DES FORMES

ET SES APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES,

A L'USAGE DES CANDIDATS A L'AGRÉGATION DES SCIENCES MATHÉMATIQUES.

Par H. ANDOYER,
Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris.

UN VOLUME IN-4 DE VI-184 PAGES, AUTOGRAPHIÉ; 1898.... 8 FR.

LEÇONS

SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS

EXPOSÉ DES ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES ENSEMBLES
AVEC DES APPLICATIONS A LA THÉORIE DES FONCTIONS,

Par Émile BOREL,
Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

Un volume grand in-8; 1898..... 3 fr. 50 c.

PRINCIPES

DE LA

THÉORIE DES FONCTIONS ELLIPTIQUES ET APPLICATIONS,

PAR

P. APPELL,
Membre de l'Institut, Professeur
à l'Université de Paris.

E. LACOUR,
Maître de Conférences à l'Université
de Nancy.

UN BEAU VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1897..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LEÇONS

SUR LA

DÉTERMINATION DES ORBITES

PROFESSÉES A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS,

Par **F. TISSERAND**,

Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes.

RÉDIGÉES ET DÉVELOPPÉES POUR LES CALCULS NUMÉRIQUES,

Par **J. PERCHOT**,

Docteur ès Sciences, Astronome-adjoint à l'Observatoire.

AVEC UNE PRÉFACE DE **H. POINCARÉ**, membre de l'Institut.

UN VOLUME IN-4, AVEC FIGURES: 1899..... 6 FR. 50 C.

COURS DE GÉOMÉTRIE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES

LEÇONS SUR LA THÉORIE GÉNÉRALE DES

SURFACES

ET LES

APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES DU CALCUL INFINITÉSIMAL

Par **G. DARBOUX**,

Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences.

4 VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- I^o PARTIE : Généralités. Coordonnées curvilignes. Surfaces minima; 1887.. 15 fr.
- II^o PARTIE : Les congruences et les équations linéaires aux dérivées partielles. Des lignes tracées sur les surfaces; 1889..... 15 fr.
- III^o PARTIE : Lignes géodésiques et courbure géodésique. — Paramètres différentiels. — Déformation des surfaces; 1894..... 15 fr.
- IV^o PARTIE : Déformation infiniment petite et représentation sphérique; 1896. 15 fr.

LEÇONS SUR LES

SYSTÈMES ORTHOGONAUX

ET LES COORDONNÉES CURVILIGNES,

Par **G. DARBOUX**,

Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- TOME I : Volume de vi-338 pages; 1898..... 10 fr.
- TOME II..... (*Sous presse.*)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

ŒUVRES MATHÉMATIQUES

DE RIEMANN,

TRADUITES

Par L. LAUGEL,

Avec une Préface de Ch. HERMITE et un Discours de Félix KLEIN.

Un beau volume grand in-8, avec figures; 1898... .. 14 fr.

TRAITÉ D'ALGÈBRE SUPÉRIEURE

Par Henri WEBER,

Professeur de Mathématiques à l'Université de Strasbourg.

Traduit de l'allemand sur la deuxième édition

Par J. GRIESS,

Ancien Élève de l'École Normale Supérieure,
Professeur de Mathématiques au Lycée Charlemagne.

PRINCIPES. — RACINES DES ÉQUATIONS.
GRANDEURS ALGÈBRIQUES. — THÉORIE DE GALOIS.

Un beau volume grand in-8 de XII-764 pages; 1898... .. 22 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LES MÉTHODES NOUVELLES

DE LA

MÉCANIQUE CÉLESTE,

Par H. POINCARÉ,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences,

TROIS BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Solutions périodiques. Non-existence des intégrales uniformes. Solutions asymptotiques 1892. 12 fr.

TOME II : Méthodes de MM. Newcomb, Gylden, Lindstedt et Bohlin; 1894. 14 fr.

TOME III : Invariants intégraux. Stabilité. Solutions périodiques du deuxième genre. Solutions doublement asymptotiques; 1898. 13 fr.

LEÇONS

SUR LA

THÉORIE DES MARÉES,

PROFESSÉES AU COLLÈGE DE FRANCE

Par Maurice LÉVY,

Membre de l'Institut, Inspecteur général des Ponts et Chaussées,
Professeur au Collège de France.

DEUX BEAUX VOLUMES IN-4, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

I^{re} PARTIE : Théories élémentaires. Formules pratiques de la prévision des marées, avec figures; 1898. 14 fr.

II^e PARTIE : Théorie de Laplace. Marées terrestres. (En préparation.)

LEÇONS NOUVELLES

D'ANALYSE INFINITÉSIMALE

ET SES APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES.

Par Ch. MÉRAY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

Ouvrage honoré d'une souscription du Ministère de l'Instruction publique.

4 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

I^{re} PARTIE : Principes généraux; 1894. 13 fr.

II^e PARTIE : Étude monographique des principales fonctions d'une variable; 1895. 14 fr.

III^e PARTIE : Questions analytiques classiques; 1897. 6 fr.

IV^e PARTIE : Applications géométriques classiques; 1898. 7 fr.

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 à 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.

PETITS CLICHÉS ET GRANDES ÉPREUVES.

GUIDE PHOTOGRAPHIQUE DU TOURISTE CYCLISTE.

Par Jean BERNARD et L. TOUCHEBEUF.

In-18 jésus; 1898..... 2 fr. 75 c.

LES PAPIERS PHOTOGRAPHIQUES AU CHARBON,

Par R. COLSON, Capitaine du Génie, Répétiteur
à l'École Polytechnique.

Un volume grand in-8; 1898..... 2 fr. 75 c.

LA PHOTOGRAPHIE STÉRÉOSCOPIQUE.

Par R. COLSON.

Brochure in-8, avec figures; 1899..... 1 fr.

LA RETOUCHE DU CLICHÉ.

Retouche chimique, physique et artistique.

Par A. COURNÈGES, Praticien.

In-18 jésus; 1898..... 1 fr. 50 c.

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.

PRINCIPES ET PRATIQUE D'ART EN PHOTOGRAPHIE,

LE PAYSAGE,

Par Frédéric DILLAYE.

Un volume in-8 avec 32 figures et 34 photogravures de paysages; 1899. 5 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^o 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.

LE FORMULAIRE CLASSEUR DU PHOTO-CLUB DE PARIS.

Collection de formules sur fiches renfermées dans un élégant cartonnage et classées en trois Parties: *Phototypes, Photocopies et Photocalques, Notes et renseignements divers*, divisées chacune en plusieurs Sections;

Par H. FOURTIER, P. BOURGEOIS et M. BUCQUET.

Première Série; 1892..... 4 fr.

Deuxième Série; 1894..... 3 fr. 50 c.

TRAITÉ PRATIQUE DE LA PEINTURE DES ÉPREUVES PHOTOGRAPHIQUES

AVEC LES COULEURS A L'AQUARELLE ET A L'HUILE,
SUIVI DE DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE PEINTURE APPLIQUÉS
A LA PHOTOGRAPHIE,

Par KLARY,

In-18 jésus. 2^o tirage; 1890..... 3 fr. 50 c.

TRAITÉ PRATIQUE DE RADIOGRAPHIE ET DE RADIOSCOPIE.

TECHNIQUE ET APPLICATIONS MÉDICALES.

Par Albert LONDE,

Directeur du Service photographique et radiographique à la Salpêtrière,
Lauréat de l'Académie de Médecine, de la Faculté de Médecine de Paris,

Un beau volume grand in-8, avec 113 figures; 1899..... 7 fr.

LA PHOTOGRAPHIE INSTANTANÉE,

THÉORIE ET PRATIQUE,

Par Albert LONDE.

3^e édition, entièrement refondue. In-18 jésus, avec figures; 1897. 2 fr. 75 c.

L'OPTIQUE PHOTOGRAPHIQUE,

Par P. MOËSSARD,

Lieutenant-Colonel du Génie,
Ancien élève de l'École Polytechnique.

Un volume grand in-8, avec 149 figures; 1899..... 4 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

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.

MANUEL PRATIQUE D'HÉLIOGRAVURE EN TAILLE-DOUCE,

Par M. SCHILTZ,

Un volume in-18 jésus; 1899..... 1 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; 1899..... 5 fr.

DIX LEÇONS DE PHOTOGRAPHIE,

Par E. TRUTAT.

Un volume in-18 jésus, avec figures; 1899..... 2 fr. 75 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.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE PORTRAIT EN PHOTOGRAPHIE, par Frédéric DILLAYE..... 1 fr. 25 c.

LA MÉTROPHOTOGRAPHIE, par le Colonel A. LAUSSE DAT,
Membre de l'Institut, Directeur du Conservatoire national
des Arts et Métiers; avec 17 figures et 2 pl..... 2 fr. 75 c.

LA RADIOGRAPHIE ET SES DIVERSES APPLICATIONS, par
Albert LONDE; avec 29 figures..... 1 fr. 50 c.

LA PHOTOGRAPHIE EN BALLON ET LA TÉLÉPHOTOGRAPHIE,
par H. MEYER-HEINE, ancien Capitaine du Génie; avec
19 figures..... 1 fr. 50 c.

27767. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

MASSON & C^{ie}, Éditeurs
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, Boulevard Saint-Germain, Paris
P. n^o 159.

EXTRAIT DU CATALOGUE
(Août 1899)

VIENT DE PARAÎTRE

Traité de Chirurgie d'urgence

Par **FÉLIX LEJARS**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris
Chirurgien de la Maison municipale de Santé, Membre de la Société de Chirurgie.

*Avec 482 figures, dont 180 dessinées d'après nature
par le Dr DALEINE, et 103 photographies originales.*

1 volume grand in-8°. Relié toile. 22 fr.

Le *Traité de chirurgie d'urgence* de M. Félix Lejars répond à un besoin qui se faisait sentir; il examine, il discute et il expose la conduite que le chirurgien doit tenir dans tous les cas qui sont de son ressort et qui exigent une solution immédiate.

Le champ de cette importante portion de la pratique chirurgicale s'est beaucoup augmenté, ses moyens se sont entièrement modifiés depuis une quinzaine d'années; l'intervention d'urgence est devenue la règle dans une quantité d'affections du crâne, de la cavité thoracique, de l'abdomen, où l'expectative seule semblait jusqu'à présent possible. Nos moyens d'action se sont accrus d'une foule de procédés techniques et scientifiques nouveaux, l'instrumentation elle-même se transforme en se perfectionnant sans cesse; il était nécessaire non seulement de poser les indications nouvelles, mais d'en préciser le mode d'exécution. C'est ce qu'a fait M. Lejars; son livre est plus qu'un manuel, qu'un guide de praticien; c'est un ouvrage complet, appuyé sur des sources bibliographiques nombreuses et choisies avec soin, étudié et raisonné dans tous ses chapitres, et dont l'intelligence est rendue facile par une quantité de figures, pour la plupart originales et très claires, qui font assister le lecteur aux temps les plus importants des opérations décrites par l'auteur. Nous ne doutons nullement qu'il ne rende les plus réels services et qu'il ne soit accueilli avec la faveur qu'il mérite et qu'ont obtenue tous les autres ouvrages de M. Lejars. (*Présentation par le professeur Berger à l'Académie de médecine.*)

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, 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

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE

8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte. En souscription . . . 150 fr.

TOME I. — 1 vol. grand in-8° 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° 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° 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° 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° 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° 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° avec 297 figures 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. avec figures dans le texte (Sous presse).

MICHAUX. — Vulve et vagin.

P. DELBET. — Maladies de l'utérus.

SEGOND. — Annexes de l'utérus,

ovaires, trompes, ligaments larges, péritoine pelvien.

KIRMISSON. — Maladies des membres.

CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD

BABINSKI, BALLET, P. BLOCO, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD, L. GUINON, HALLION, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, OËTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, ROUAULT, SOUQUES, THIBIERGE, 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 volumes grand in-8°, avec figures 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 de 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. — **Diphtérie**, par A. ROUAULT. — **Rhumatisme**, par OËTINGER, médecin des hôpitaux de Paris. — **Scorbut**, par TOLLEMER, ancien interne des hôpitaux.

TOME III

VIENT DE PARAÎTRE

1 vol. grand in-8° de 702 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies cutanées, par G. THIBIERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié. — **Maladies vénériennes**, par G. THIBIERGE. — **Maladies du sang**, par A. GILBERT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Intoxications**, par A. RICHARDIÈRE, médecin des hôpitaux de Paris.

TOME IV

Pour paraître en octobre

1 vol. grand in-8° avec figures dans le texte.

Maladies de la bouche et du pharynx, par A. ROUAULT. — **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.

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
de l'hôpital des Enfants-Malades.

A.-B. MARFAN

Agrégé,
Médecin des hôpitaux.

5 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. . . 90 fr.

DIVISIONS DE L'OUVRAGE

TOME I. — 1 vol. in-8° de xvi-816 pages avec fig. dans le texte. 18 fr.
Physiologie et hygiène de l'enfance. — Considérations thérapeutiques sur les maladies de l'enfance. — Maladies infectieuses.

TOME II. — 1 vol. in-8° de 818 pages avec fig. dans le texte. 18 fr.
Maladies générales de la nutrition. — Maladies du tube digestif.

TOME III. — 1 vol. de 950 pages avec figures dans le texte. 20 fr.
Abdomen et annexes. — Appareil circulatoire. — Nez, larynx et annexes.

TOME IV. — 1 vol. de 880 pages avec figures dans le texte. 18 fr.
Maladies des bronches, du poumon, des plèvres, du médiastin. — Maladies du système nerveux.

TOME V. — 1 vol. de 890 pages avec figures dans le texte. 18 fr.
Organes des sens. — Maladies de la peau. — Maladies du fœtus et du nouveau-né. — Maladies chirurgicales des os, articulations, etc. —
Table alphabétique des matières des 5 volumes.

CHAQUE VOLUME EST VENDU SÉPARÉMENT

Traité de Thérapeutique chirurgicale

PAR

Emile FORGUE

Professeur de clinique chirurgicale
à la Faculté de médecine de Montpellier,
Membre correspondant
de la Société de Chirurgie,
Chirurgien en chef de l'hôpital St-Eloi,
Médecin-major hors cadre.

Paul RECLUS

Professeur agrégé
à la Faculté de médecine de Paris,
Chirurgien de l'hôpital Laënnec,
Secrétaire général
de la Société de Chirurgie,
Membre de l'Académie de médecine.

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUDUE

AVEC 472 FIGURES DANS LE TEXTE

2 volumes grand in-8° de 2116 pages. 34 fr.

VIENT DE PARAÎTRE

Traité élémentaire de Clinique Thérapeutique

Par le **D^r Gaston LYON**

Ancien chef de clinique médicale à la Faculté de médecine de Paris

TROISIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE

1 volume grand in-8° de VIII-1332 pages. Relié peau. 20 fr.

Nous voyons avec plaisir le public médical confirmer tout le bien que nous avons dit de cet ouvrage dès ses premières éditions. Il arrive aujourd'hui à sa troisième édition, et il comporte des améliorations et des additions telles qu'un nouveau succès lui est assuré.

M. G. Lyon a revu son livre avec la même conscience qu'il mit à l'élaborer. C'est toujours la même préoccupation d'être clair, précis et utile et d'appuyer les procédés thérapeutiques sur un exposé pathogénique et clinique de l'affection à laquelle ils s'adressent, et d'indiquer avec exactitude comment il faut s'y prendre pour que l'action médicale ait son efficacité maxima. Les livres ainsi conçus sont rares. Employez tel médicament, dit le Traité de pathologie et même de thérapeutique. Comment? Sous quelle forme? A quelle dose? Combien de temps? Il n'en parle souvent pas. La clinique thérapeutique de G. Lyon comble cette lacune. Les faits y sont exposés avec simplicité, toujours sous le couvert d'une autorité incontestable.... Bref, cette édition est le perfectionnement de ses devancières.

(Archives générales de médecine, juin 1899.)

LES MÉDICAMENTS CHIMIQUES

Par **Léon PRUNIER**Pharmacien en chef des Hôpitaux de Paris,
Professeur de pharmacie chimique à l'École de Pharmacie,
Membre de l'Académie de Médecine.

2 volumes grand in-8° avec figures dans le texte . . . 30 fr.

On vend séparément :

TOME I. Composés minéraux. 1 vol. grand in-8° avec 137 figures dans le texte . . . 15 fr.

TOME II. Composés organiques. 1 vol. grand in-8° avec 41 figures dans le texte . . . 15 fr.

Cet ouvrage n'est point un traité de chimie, pas plus qu'un traité de pharmacologie, et moins encore un formulaire ou un manuel. C'est un résumé technique et professionnel, dans lequel médecins, pharmaciens ou étudiants trouveront, rassemblés et coordonnés, les documents, dispersés un peu partout, qui peuvent intéresser l'étude chimique des médicaments. M. Prunier a groupé les nombreux médicaments chimiquement définis en consacrant à chacun d'eux une monographie plus ou moins condensée, mais, avant tout, rédigée au point de vue professionnel. C'est un ouvrage appelé à rendre de grands services; c'est le premier qui ait été conçu dans cet esprit pratique et M. Prunier était tout désigné pour le réaliser avec cette unité de vues et avec sa valeur technologique. Il est enrichi de nombreuses gravures et l'impression en a été particulièrement soignée.

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

B. Cunéo. — P. Frédet. — P. Jacques. — Th. Jonnesco.
L. Manouvrier. — A. Nicolas. — A. Prenant. — H. Rieffel.
Ch. Simon. — A. Soulié.

5 volumes grand in-8°.

Chaque volume est illustré de nombreuses figures, la plupart tirées en plusieurs couleurs d'après les dessins originaux de
MM. Ed. CUYER et A. LEUBA.

ÉTAT DE LA PUBLICATION AU 1^{er} AOUT 1899

TOME PREMIER

(Volume complet.)

Embryologie; Ostéologie; Arthrologie. Deuxième édition. Un volume grand in-8° avec 807 figures en noir et en couleurs 20 fr.

TOME DEUXIÈME

- 1^{er} Fascicule : **Myologie.** Un volume grand in-8° avec 312 figures. 12 fr.
2^e Fascicule : **Angéiologie (Cœur et Artères).** Un volume grand in-8° avec 145 figures en noir et en couleurs 8 fr.
3^e Fascicule : **Angéiologie (Capillaires, Veines).** Un volume grand in-8° avec 75 figures en noir et en couleurs 6 fr.

TOME TROISIÈME

(Volume complet.)

- 1^{er} Fascicule : **Système nerveux (Méninges, Moelle, Encéphale).** 1 vol. grand in-8° avec 201 figures en noir et en couleurs . . . 10 fr.
2^e Fascicule : **Système nerveux (Encéphale).** Un vol. grand in-8° avec 206 figures en noir et en couleurs. 12 fr.
3^e Fascicule : **Système nerveux (Les Nerfs. Nerfs crâniens. Nerfs rachidiens).** 1 vol. grand in-8° avec 205 figures en noir et en couleurs. 12 fr.

TOME QUATRIÈME

- 1^{er} Fascicule : **Tube digestif.** Un volume grand in-8°, avec 158 figures en noir et en couleurs 12 fr.
2^e Fascicule : **Appareil respiratoire; Larynx, trachée, poumons, plèvres, thyroïde, thymus.** Un volume grand in-8°, avec 121 figures en noir et en couleurs. 6 fr.

IL RESTE A PUBLIER :

Les Lymphatiques qui termineront le tome II. Les Annexes du tube digestif et le Péritoine qui termineront le tome IV. Les Organes génito-urinaires et les Organes des sens feront, afin d'éviter des volumes d'un maniement difficile, l'objet d'un tome V qui contiendra, en outre, un chapitre d'Indications anthropométriques et la Table alphabétique des matières de l'ouvrage.

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL

Dr CRITZMAN, directeur

Suite de Monographies cliniques

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES

en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

La science médicale réalise journallement des progrès incessants; les questions et découvertes vieillissent pour ainsi dire au moment même de leur éclosion. Les traités de médecine et de chirurgie, quelque rapides que soient leurs différentes éditions, auront toujours grand-peine à se tenir au courant.

C'est pour obvier à ce grave inconvénient, auquel les journaux, malgré la diversité de leurs matières, ne sauraient remédier, que nous avons fondé, avec le concours des savants les plus autorisés, un recueil de Monographies dont le titre, *l'Œuvre médico-chirurgical*, nous paraît bien indiquer le but et la portée.

Nous publions, aussi souvent qu'il est nécessaire, des fascicules de 30 à 40 pages dont chacun résume et met au point une question médicale à l'ordre du jour, et cela de telle sorte qu'aucune ne puisse être omise au moment opportun.

CONDITIONS DE LA PUBLICATION

Chaque monographie est vendue séparément. 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix à forfait et payable d'avance de 10 francs pour la France et 12 francs pour l'étranger (port compris).

MONOGRAPHIES PUBLIÉES

- N° 1. **L'Appendicite**, par le Dr FÉLIX LEGUEU, chirurgien des hôpitaux (*épuisé*).
 N° 2. **Le Traitement du mal de Pott**, par le Dr A. CHIPAULT, de Paris.
 N° 3. **Le Lavage du Sang**, par le Dr LEMARS, professeur agrégé, chirurgien des hôpitaux, membre de la Société de chirurgie.
 N° 4. **L'hérédité normale et pathologique**, par le Dr CH. DEBIERRE, professeur d'anatomie à l'Université de Lille.
 N° 5. **L'Alcoolisme**, par le Dr JAQUET, privat-docent à l'Université de Bâle.
 N° 6. **Physiologie et pathologie des sécrétions gastriques**, par le Dr A. VERHAEGEN, assistant à la Clinique médicale de Louvain.
 N° 7. **L'Eczéma**, par le Dr LEREDDE, chef de laboratoire, assistant de consultation à l'hôpital Saint-Louis.
 N° 8. **La Fièvre jaune**, par le Dr SANARELLI, directeur de l'Institut d'hygiène expérimentale de Montévidéo.
 N° 9. **La Tuberculose du rein**, par le Dr TUFFIER, professeur agrégé, chirurgien de l'hôpital de la Pitié.
 N° 10. **L'Opothérapie. Traitement de certaines maladies par des extraits d'organes animaux**, par A. GILBERT, professeur agrégé, chef du laboratoire de thérapeutique à la Faculté de médecine de Paris, et P. CARNOT, docteur ès sciences, ancien interne des hôpitaux de Paris.
 N° 11. **Les Paralysies générales progressives**, par le Dr KLIPPEL, médecin des hôpitaux de Paris.
 N° 12. **Le Myxœdème**, par le Dr THUBIERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié.
 N° 13. **La Néphrite des Saturniens**, par le Dr H. LAVRAND, professeur à la Faculté catholique de Lille.
 N° 14. **Le Traitement de la Syphilis**, par le Dr E. GAUCHER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.
 N° 15. **Le Pronostic des tumeurs basé sur la recherche du glycogène**, par le Dr A. BRAULT, médecin de l'hôpital Tenon.
 N° 16. **La Kinésithérapie gynécologique (Traitement des maladies des femmes par le massage et la gymnastique)**, par le Dr H. STAFFER, ancien chef de clinique de la Faculté de Paris.
 N° 17. **De la gastro entérite aiguë des nourrissons (Pathogénie et étologie)**, par A. LESAGE, médecin des hôpitaux de Paris.
 N° 18. **Traitement de l'Appendicite**, par FÉLIX LEGUEU, professeur agrégé, chirurgien des hôpitaux.

Leçons sur les Maladies nerveuses. *Deuxième série :*

Hôpital Saint-Antoine, par E. BRÏSSAUD, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Saint-Antoine, recueillies et publiées par Henry MEIGE. 1 volume grand in-8° avec 165 figures dans le texte 15 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

Traité d'Ophtalmoscopie, par Étienne ROLLET, professeur agrégé à la Faculté de médecine, chirurgien des hôpitaux de Lyon. 1 volume in-8° avec 50 photographies en couleurs et 75 figures dans le texte, cartonné toile, tranches rouges. 9 fr.

Traité pratique de la Tuberculose pulmonaire, par le Dr P. BOUILLET, membre de la ligue contre la tuberculose. 1 volume in-12. 4 fr.

Emplois thérapeutiques de l'Acide cacodylique et de ses dérivés, par Armand GAUTIER, de l'Institut, membre de l'Académie de médecine, professeur à la Faculté de médecine de Paris. 1 brochure in-8° 1 fr. 50

Hygiène de l'Allaitement : Allaitement au sein ; allaitement artificiel ; allaitement mixte ; sevrage, par le Dr Henri de ROTHCHILD, ancien externe des hôpitaux de Paris, lauréat de la Faculté de médecine. 1 volume in-8°, avec figures dans le texte. 1 fr. 50

Les Enfants assistés de France, par Henri MONOD, conseiller d'État, directeur de l'Assistance et de l'Hygiène publiques, membre de l'Académie de médecine. 1 volume in-8° 3 fr.

Consultations médicales sur quelques maladies fréquentes. *Quatrième édition, revue et considérablement augmentée*, suivie de quelques principes de Déontologie médicale et précédée de quelques règles pour l'examen des malades, par le Dr J. GRASSET, professeur de clinique médicale à l'Université de Montpellier, correspondant de l'Académie de médecine. 1 volume in-16, reliure souple, peau pleine. 4 fr. 50

Traité de la Cystostomie sus-pubienne chez les prostatiques. Création d'un urèthre hypogastrique : application de cette méthode aux diverses affections des voies urinaires, par Antonin PONCET, professeur de clinique chirurgicale à l'Université de Lyon, ex-chirurgien en chef de l'Hôtel-Dieu, membre correspondant de l'Académie de médecine, et Xavier DELORE, chef de clinique chirurgicale à l'Université de Lyon. 1 volume in-8°, avec 42 figures dans le texte. 8 fr.

Traité clinique de l'Actinomyose humaine, des pseudo-Actinomyoses et de la Botryomyose, par le professeur A. PONCET et L. BÉRARD, chef de clinique à la Faculté de médecine de Lyon, ancien interne des hôpitaux. 1 volume in-8°, avec 45 figures dans le texte et 4 planches hors texte en couleurs. 12 fr.

Traité des maladies chirurgicales d'origine congénitale, par le Dr E. KIRMISSON, professeur agrégé à la Faculté de médecine, chirurgien de l'hôpital Trousseau, membre de la Société de Chirurgie. 1 volume grand in-8° avec 314 figures dans le texte et 2 planches en couleurs. 15 fr.

Chirurgie opératoire de l'Oreille moyenne, par A. BROCA, chirurgien de l'hôpital Trousseau, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. 1 volume in-8° avec 98 figures dans le texte. 3 fr. 50

Manuel de Pathologie externe. Tome III. Maladies des régions : Cou, Poitrine, Abdomen, par J.-J. PEYROT, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, membre de la Société de chirurgie. *Sixième édition*, entièrement refondue, avec figures dans le texte. 1 volume in-8°. 10 fr.

Cliniques chirurgicales de l'Hôtel-Dieu, par Simon DUPLAY, professeur de clinique chirurgicale à la Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine, chirurgien de l'Hôtel-Dieu, recueillies et publiées par les Drs Maurice CAZIN, chef de clinique chirurgicale à l'Hôtel-Dieu, et S. CLADO, chef des travaux gynécologiques. *Deuxième série*. 1 volume grand in-8° avec figures. 8 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.
- L'Hygiène des Albuminuriques**, par le D^r 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 D^r CHUQUET, ancien interne des hôpitaux de Paris, avec une introduction du D^r DAREMBERG, membre correspondant de l'Académie de médecine.
- Hygiène et thérapeutique des maladies de la Bouche**, par le D^r CRURT, dentiste des hôpitaux de Paris, avec une préface de M. le professeur LANNELONGUE, membre de l'Institut.
- Hygiène des maladies du Cœur**, par le D^r 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.

VOLUMES EN PRÉPARATION

- L'Hygiène des Dyspeptiques**, par le D^r LINOSSIER.
- Hygiène thérapeutique des maladies de la peau**, par le D^r THIBERGE

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. *Troisième édition*, avec 91 figures dans le texte.

Recettes et Procédés utiles. Quatrième série, par Gaston TISSANDIER. *Deuxième édition*, avec 88 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.

Dictionnaire usuel des Sciences médicales

PAR MM.

DECHAMBRE, MATHIAS DUVAL, LEREBoullet

Membres de l'Académie de médecine.

TROISIÈME ÉDITION, REVUE ET COMPLÉTÉE

1 vol. gr. in-8° de 1.800 pages, avec 450 fig., relié toile. 25 fr.

Ce dictionnaire usuel s'adresse à la fois aux médecins et aux gens du monde. Les premiers y trouveront aisément, à propos de chaque maladie, l'exposé de tout ce qu'il est essentiel de connaître pour assurer, dans les cas difficiles, un diagnostic précis. Les gens du monde se familiariseront avec les noms souvent barbares que l'on donne aux symptômes morbides et aux remèdes employés pour les combattre. En attendant le médecin, ils pourront parer aux premiers accidents, et, en cas d'urgence, assurer les premiers secours.

Traité**VIENT DE PARAÎTRE****d'Analyse chimique**
QUANTITATIVE PAR ÉLECTROLYSEPar **J. RIBAN**Professeur chargé du cours d'analyse chimique
et maître de conférences à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.*1 vol. grand in-8°, avec 96 figures dans le texte. 9 fr.*

L'analyse quantitative par électrolyse acquiert chaque jour une plus grande importance dans les laboratoires consacrés à la science ou aux essais industriels. Ses méthodes ont très heureusement simplifié bien des problèmes délicats et introduit dans les dosages ordinaires, tout en conservant l'exactitude indispensable, une grande rapidité d'exécution.

Le livre que l'auteur présente aujourd'hui sur ce sujet n'est que le développement d'une portion du cours d'analyse quantitative qu'il professe depuis bien des années à la Faculté des sciences de l'Université de Paris. Il a pour but, non seulement d'initier le lecteur à l'analyse chimique par électrolyse, mais encore de lui servir de guide dans ses applications journalières.

Tenu au courant des derniers progrès accomplis, il résume l'état actuel de la science sur la question qui en fait l'objet.

Manuel pratique**VIENT DE PARAÎTRE****de l'Analyse des Alcools**
ET DES SPIRITUEUX

PAR

Charles GIRARDDirecteur du Laboratoire municipal
de la Ville de Paris.**Lucien CUNIASSE**Chimiste-expert
de la Ville de Paris.*1 volume in-8° avec figures et tableaux dans le texte. Relié toile. 7 fr.*

Ce nouveau manuel pratique de l'analyse des alcools et des spiritueux formé un recueil dans lequel les nombreux procédés analytiques qui intéressent les produits alcooliques se trouvent condensés sous une forme brève et exacte, dans le but d'éviter les recherches au chimiste praticien.

Au début du livre, les auteurs divulguent les secrets de la dégustation; ils passent ensuite en revue les différentes méthodes et les appareils proposés pour le dosage direct de l'alcool. La méthode de distillation est décrite avec soins, en indiquant les précautions à prendre afin d'éviter les causes d'erreurs et d'unifier les résultats obtenus. De nombreuses tables très complètes accompagnent les différents chapitres. Les méthodes d'analyse des spiritueux sont exposées de façon à pouvoir être mises en œuvre pratiquement, et presque sans raisonnement; ces méthodes sont données avec les dernières modifications qui ont pu leur être apportées. Des tables et des courbes inédites, rigoureusement exactes, accompagnent les méthodes. Enfin des tableaux représentant les résultats de l'analyse d'un grand nombre d'échantillons en spiritueux terminent l'ouvrage.

STATION DE CHIMIE VÉGÉTALE DE MEUDON

(1883-1899)

VIENT DE PARAÎTRE

Chimie végétale et agricole

PAR

M. BERTHELOTSénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences,
Professeur au Collège de France.

4 volumes in-8°, avec figures dans le texte 36 fr.

Cet ouvrage renferme l'ensemble des recherches poursuivies depuis seize ans dans le laboratoire de chimie végétale de Meudon, en vue de poursuivre les problèmes relatifs à la chimie biologique, étroitement liée avec la synthèse chimique d'une part, et avec la chimie agricole d'autre part. C'est une œuvre personnelle et originale.

Le tome I^{er} traite de la *fixation de l'azote libre sur la terre et sur les végétaux*, question controversée depuis un siècle, et à laquelle l'auteur a apporté des solutions et une doctrine définitive. Les expériences exposées dans ce volume démontrent, en effet, cette fixation par deux voies différentes : fixation électrique opérée sous l'influence de l'électricité atmosphérique silencieuse, et fixation microbienne opérée sous l'influence des microorganismes contenus dans le sol. Sous cette double influence, l'azote devient actif et entre dans la constitution des plantes et des animaux.

Le tome II est consacré à l'étude de la *marche général de la végétation*, et à la détermination de l'équation chimique pondérale d'une plante annuelle, depuis son ensemencement jusqu'à sa mort. Il se termine par l'examen des relations entre les énergies chimiques et les énergies lumineuses.

Dans le tome III sont exposées les *recherches spéciales sur la végétation* : présence et distribution du soufre, du phosphore, de la silice ; existence et formation des azotates, recherches sur les acides oxalique et carbonique, sur les transformations chimiques des sucres, enfin étude sur les principes oxydables doués de propriétés oxydantes, principes qui jouent un rôle essentiel en chimie physiologique.

Le tome IV comprend deux parties distinctes : une générale relative à la terre végétale, à l'analyse et au dosage de ses divers éléments, à l'examen des principes organiques qui la constituent et de leurs relations avec l'ammoniaque atmosphérique ; l'autre spéciale, concernant la formation des éthers et du bouquet des vins, leur oxydation, leurs changements lents, le dosage de l'acide tartrique, etc.

La Photographie Française

REVUE MENSUELLE ILLUSTRÉE

*des Applications de la Photographie à la Science, à l'Art
et à l'Industrie.*

Louis GASTINE, DIRECTEUR

TIRÉE sur beau papier de luxe, abondamment illustrée de magnifiques phototypies et de simili-gravures hors texte, ainsi que d'une foule de reproductions de tous genres intercalées dans le texte, **LA PHOTOGRAPHIE FRANÇAISE** est le journal le plus lu et le moins cher de tous les véritables journaux de photographie.

C'est un organe absolument indépendant, ouvert à toutes les communications intéressantes et fait dans un esprit absolument libéral pour contribuer au progrès de la photographie de la façon la plus élevée.

La PHOTOGRAPHIE FRANÇAISE peut être mise dans toutes les mains. En dehors de ses chroniques d'actualité illustrées, **La PHOTOGRAPHIE FRANÇAISE** publie des articles de fond sur toutes les plus récentes applications de la photographie à la science, à l'art et à l'industrie; des relations de voyage, des nouvelles et des romans illustrés par la photographie. — Elle rend compte de toutes les nouvelles créations d'appareils et de produits photographiques. — Elle signale tous les procédés, les nouvelles recettes, les nouvelles formules, les nouveaux brevets photographiques et publie dans ses *Echos* toutes les informations capables, à un titre quelconque, d'intéresser ceux qui s'occupent de photographie. Chaque numéro contient une **Revue** de tous les journaux de photographie. — Enfin, elle mentionne tous les Concours, les Expositions, les excursions, Congrès et Conférences photographiques ainsi que les travaux des Sociétés françaises et étrangères, sans préjudice des articles qu'elle consacre à la vulgarisation des innombrables applications de la photographie par de véritables traités pratiques sur tous les travaux spéciaux de cet art.

C'est un journal technique, mais rédigé de façon à être compris par les lecteurs les plus étrangers aux choses photographiques et dont la lecture est très attrayante parce que chaque numéro contient une part considérable de Variétés littéraires, artistiques, industrielles et scientifiques que tout le monde peut apprécier.

ABONNEMENTS :

UN AN. — PARIS, 6 fr. 50. — PROVINCE, 7 fr. — ÉTRANGER, 8 fr.

Prix spéciaux pour les abonnés de LA NATURE

Paris : 5 fr. — Départ. : 5 fr. 50. — Étranger : 7 fr.

Envoi de numéros spécimens à toute personne qui en fait la demande.

Traité de Zoologie

Par **Edmond PERRIER**

Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine,
Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle.

VIENT DE PARAÎTRE

FASCICULE V

Amphioxus — Tuniciers

1 vol. gr. in-8° de 221 pages avec 97 figures dans le texte. **6 fr.**

ONT DÉJÀ PARU :

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.

VIENT DE PARAÎTRE

COURS ÉLÉMENTAIRE DE ZOOLOGIE

Par **Rémy PERRIER**

Maître de conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris,
Chargé du Cours de Zoologie
Pour le certificat d'études physiques, chimiques et naturelles.

1 vol. in-8° de 774 pages avec 693 figures. Relié toile : **10 fr.**

Ce livre s'adresse à tous ceux qu'intéresse l'étude des sciences naturelles et des lois de l'évolution des êtres vivants. A notre époque les naturalistes ne se contentent plus de moissonner des faits; ils cherchent à coordonner ces faits, à connaître leur raison d'être, à les expliquer: l'histoire naturelle a, de nos jours, fait place aux sciences naturelles. Il importe à tous, aux futurs médecins, aux philosophes, de connaître, dans leurs grandes lignes, ces théories explicatives, ces lois générales de la Biologie. C'est pourquoi M. Rémy Perrier leur a fait une large place; sans négliger les descriptions des divers types d'animaux, l'auteur insiste particulièrement sur les faits qui peuvent mettre en lumière leurs rapports réciproques, leur parenté mutuelle, qui permettent de dresser leur arbre généalogique. Il tâche de faire surtout ressortir les lois générales de la Zoologie, dont l'exposé est fait dans les premières pages du livre, et dont les applications sont indiquées dans le corps de l'ouvrage.

L'ouvrage est richement illustré: il ne comporte pas moins de 693 figures, comprenant ensemble plus de 1100 dessins. En somme, ce livre comble une lacune importante. Il donne un résumé précis de l'état actuel de la Zoologie moderne, et convient à tous ceux qui ne peuvent aborder l'étude des grands traités de Zoologie.

VIENT DE PARAÎTRE

LA

Distribution d'Énergie Électrique

EN ALLEMAGNE

PAR

Charles BOS

Député de la Seine
Ancien Conseiller municipal de Paris
Ancien Rapporteur des questions
d'énergie électrique à l'Hôtel de Ville.

J. LAFFARGUE

Ingénieur-Electricien
Licencié ès sciences Physiques
Attaché au Service Municipal
d'Électricité de la Ville de Paris.

*Un beau volume très grand in-8°, illustré de 203 planches et figures
avec de nombreux tableaux.*

Relié toile. 22 fr.

Cet ouvrage a été écrit à la suite d'un voyage en Allemagne, effectué par les auteurs, pour se rendre compte sur place des distributions d'énergie électrique existantes, soit pour l'alimentation de lampes à arc, à incandescence, moteurs électriques, soit pour la traction électrique. Les auteurs relatent tout ce qu'ils ont pu observer d'intéressant dans leur voyage à travers les grandes villes d'Allemagne : Francfort, Düsseldorf, Hambourg, Cologne, Berlin, Leipzig, Munich, etc., etc. Ils donnent la description des stations centrales, ainsi que les résultats d'exploitation obtenus depuis plusieurs années. Des chapitres spéciaux sont consacrés aux installations de traction électrique, aux renseignements sur les canalisations, aux appareils d'utilisation, aux règlements concernant les installations, etc., etc. C'est en résumé un ouvrage complet sur la distribution de l'énergie électrique en Allemagne; muni d'une élégante reliure, brillamment illustré de planches en phototypie, et de gravures dans le texte qui en font un véritable album, il a sa place marquée dans la bibliothèque de tout ingénieur electricien soucieux de se tenir au courant des progrès de la science.

(*La Revue Municipale*, 8 juillet 1899.)

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 10251.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Collection de 300 volumes petit in-8 (24 volumes publiés par an)

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ, 2 FR. 50; CARTONNÉ, 3 FR.

Ouvrages parus

Section de l'Ingénieur

- PICOU. — Distribution de l'électricité. (2 vol.). — Canalisations électriques.
- A. GOUILLY. — Air comprimé ou raréfié. — Géométrie descriptive (3 vol.).
- DWELSHAUVERS-DERY. — Machine à vapeur. — I. Calorimétrie. — II. Dynamique.
- A. MADANET. — Tirours et distributeurs de vapeur. — Détente variable de la vapeur. — Epures de régulation.
- M. DE LA SOURCE. — Analyse des vins.
- ALHEILIG. — I. Travail des bois. — II. Corderie. — III. Construction et résistance des machines à vapeur.
- AIMÉ WITZ. — I. Thermodynamique. — II. Les moteurs thermiques.
- LINDET. — La bière.
- SAUVAGE. — Moteurs à vapeur.
- LE CHATELIER. — Le grisou.
- DUDEBOUT. — Appareils d'essai des moteurs à vapeur.
- CRONEAU. — I. Canon, torpilles et cuirasse. — II. Construction du navire.
- H. GAUTIER. — Essais d'or et d'argent.
- BERTIN. — Etat de la marine de guerre.
- BERTHELOT. — Calorimétrie chimique.
- DE VIARIS. — L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.
- GUILLAUME. — Unités et étalons.
- WIDMANN. — Principes de la machine à vapeur.
- MINEL (P.). — Electricité industrielle. (2 vol.). — Electricité appliquée à la marine. — Régularisation des moteurs des machines électriques.
- HÉBERT. — Boissons falsifiées.
- NAUDIN. — Fabrication des vernis.
- SINIGAGLIA. — Accidents de chaudières.
- VERMAND. — Moteurs à gaz et à pétrole.
- BLOCH. — Eau sous pression.
- DE MARCHENA. — Machines frigorifiques (2 vol.).
- PRUD'HOMME. — Teinture et impression.
- SOREL. — I. La rectification de l'alcool. — II. La distillation.
- DE BILLY. — Fabrication de la fonte.
- HENNEBERT (C^t). — I. La fortification. — II. Les torpilles sèches. — III. Bouches à feu. — IV. Attaque des places. — V. Travaux de campagne. — VI. Communications militaires.
- CASPARI. — Chronomètres de marine.

Section du Biologiste

- FAISANS. — Maladies des organes respiratoires.
- MAGNAN et SÉRIEUX. — I. Le délire chronique. — II. La paralysie générale.
- AUVARD. — I. Séméiologie génitale. — II. Menstruation et fécondation.
- G. WEISS. — Electro-physiologie.
- BAZY. — Maladies des voies urinaires. (2 vol.).
- TROUSSEAU. — Hygiène de l'œil.
- FÈRE. — Epilepsie.
- LAYERAN. — Paludisme.
- POLIN et LABIT. — Aliments suspects.
- BERGONIE. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine.
- MIGNIN. — I. Les acariens parasites. — II. La faune des cadavres.
- DEMELIN. — Anatomie obstétricale.
- TH. SCHLÖSSING fils. — Chimie agricole.
- CUÉNOT. — I. Les moyens de défense dans la série animale. — II. L'influence du milieu sur les animaux.
- A. OLIVIER. — L'accouchement normal.
- BERGÉ. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.
- CHARRIN. — Poisons de l'organisme (3 v.).
- ROGER. — Physiologie du foie.
- BROCQ et JACQUET. — Précis élémentaire de dermatologie (5 vol.).
- HANOT. — De l'endocardite aiguë.
- DE BRUN. — Maladies des pays chauds. (2 vol.).
- BROCA. — Tumeurs blanches des membres chez l'enfant.
- DU CAZAL et CATRIN. — Médecine légale militaire.
- LAPERSONNE (DE). — Maladies des paupières.
- KÄHLER. — Applications de la photographie aux Sciences naturelles.
- BEAUREGARD. — Le microscope.
- LESAGE. — Le choléra.
- LANNELONGUE. — La tuberculose chirurgicale.
- CORNEVIN. — Production du lait.
- J. CHATIN. — Anatomie comparée (4 v.).
- CASTEX. — Hygiène de la voix.
- MERKLEN. — Maladies du cœur.
- G. ROCHE. — Les grandes pêches maritimes modernes de la France.
- OLLIER. — I. Résections sous-périostées. — II. Résections des grandes articulations.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

Ouvrages parus

Section de l'Ingénieur

LOUIS JACQUET. — La fabrication des eaux-de-vie.
 DUBÉBOUT et CRONEAU. — Appareils accessoires des chaudières à vapeur.
 C. BOURLET. — Bicycles et bicyclettes.
 H. LÉACTÉ et A. BERARD. — Transmissions par câbles métalliques.
 HATT. — Les marées.
 H. LAURENT. — I. Théorie des jeux de hasard. — II. Assurances sur la vie. — III. Opérations financières.
 C^t VALLIER. — Balistique (2 vol.). — Projectiles. Fusées. Cuirasses (2 vol.).
 LRLOUTRE. — Le fonctionnement des machines à vapeur.
 DARIÉS. — Cubature des terrasses. — Conduites d'eau.
 SIDERSKY. — I. Polarisation et saccharimétrie. — II. Constantes physiques.
 NIEWENGLAWSKI. — Applications scientifiques et industrielles de la photographie (2 vol.).
 ROCOURS (X.). — Alcools et eaux-de-vie.
 MOESSARD. — Topographie.
 BOURSALUT. — Calcul du temps de pose.
 SEGUILA. — Les tramways.
 LEFEVRE (J.). — I. La spectroscopie. — II. La spectrométrie. — III. Eclairage électrique. — IV. Eclairage aux gaz, aux huiles, aux acides gras.
 BARILOTT (E.). — Distillation des bois.
 MOISSAN et OUVVARD. — Le nickel.
 URBAIN. — Les succédanés du chiffon en papeterie.
 LOPPE. — I. Accumulateurs électriques. — II. Transformateurs de tension.
 ARIÉS. — I. Chaleur et énergie. — II. Thermodynamique.
 FABRY. — Piles électriques.
 HENRIET. — Les gaz de l'atmosphère.
 DUMONT. — Electromoteurs. — Automobiles sur rails.
 MINET (A.). — I. L'électro-metallurgie. — II. Les fours électriques. — III. L'électro-chimie. — IV. L'électrolyse.
 DUFOUR. — Tracé d'un chemin de fer.
 MIRON (F.). — Les huiles minérales.
 BORNÉCQUE. — Armement portatif.
 LAVERGNE. — Les turbines.
 PERISSÉ. — Automobiles sur routes.
 LECORNU. — Régularisation du mouvement dans les machines.
 LE VERRIER. — La fonderie.
 SEYRIE. — Statique graphique (2 vol.).
 LAURENT (P.). — Déculassement des bouches à feu. — Résistance des bouches à feu.
 JACBERT. — L'industrie du goudron de houille.

Section du Biologiste

LETULLE. — Pus et suppuration.
 CRITZMAN. — Le cancer. — La goutte.
 ARMAND GAUTIER. — La chimie de la cellule vivante.
 SÉGLAS. — Le délire des négations.
 STANISLAS MEUNIER. — Les météorites.
 GRÉHANT. — Les gaz du sang.
 NOCARD. — Les tuberculoses animales et la tuberculose humaine.
 MOUSSOUS. — Maladies congénitales du cœur.
 BERTHAULT. — Les prairies (3 vol.).
 TROUSSART. — Parasites des habitations humaines.
 LAMY. — Syphilis des centres nerveux.
 RECLUS. — La cocaïne en chirurgie.
 THOULET. — Océanographie pratique.
 HOUDAILLE. — Météorologie agricole.
 VICTOR MEUNIER. — Sélection et perfectionnement animal.
 HÉNOQUE. — Spectroscopie biol.
 GALIPPE et BARRÉ. — Le pain (2 v.).
 LE DANTEC. — I. La matière vivante. — II. La bactériologie charbonneuse. — III. La forme spécifique.
 L'HOTE. — Analyse des engrais.
 LARBALÉTRIER. — Les tourteaux. — Résidus industriels employés comme engrais (2 v.). — Beurre et margarine.
 LE DANTEC et BÉRAND. — Les sporozoaires.
 DEMMLER. — Soins aux malades.
 DALEMAGNE. — Etudes sur la criminalité (3 vol.). — Etudes sur la volonté (3 vol.).
 BRAULT. — Des artérites (2 vol.).
 RAVAZ. — Reconstitution du vignoble.
 EILTERS. — L'orgotisme.
 BONNIER. — L'oreille (5 vol.).
 DESMOULINS. — Conservation des produits et denrées agricoles.
 LOVERDO. — Le ver à soie.
 DUBREUILH et BEILLE. — Les parasites animaux de la peau humaine.
 KAYSER. — Les levures.
 COLLET. — Troubles auditifs des maladies nerveuses.
 LOUBIÉ. — Essences forestières (2 vol.).
 MONOD. — L'appendicite.
 DELOBEL et COZETTE. — La vaccine.
 WURTZ. — Technique bactériologique.
 BAUBY. — L'occlusion intestinale.
 LAULANIE. — Energétique musculaire.
 MALPEAUX. — Culture de la pomme de terre.
 GIRAUDEAU. — Péricardites.
 BERTHELOT (M.). — Chaleur animale (2 vol.).