

Appareils de mesure.

La détermination de l'unité ne suffit pas pour mesurer une grandeur : il faut pouvoir comparer cette grandeur à l'unité, c'est-à-dire trouver le rapport numérique qui la lie à elle.

Cette comparaison est rarement possible à effectuer mentalement avec les renseignements que nous fournissent nos sept modes de sentir : vision, audition, olfaction, gustation, musculation, calorition, électricité. D'où la nécessité de recourir à des appareils ou instruments spéciaux, dits de mesure, qui tous, ou presque tous, ont pour but, — notre sens de la vue étant des sept le plus précis, — de ramener l'opération à une simple observation visuelle.

Nous n'avons pas le pouvoir, ni l'intention, de décrire, ou même d'énumérer les innombrables appareils de mesure susceptibles d'être employés en électrophysiologie. Nous nous bornerons à donner les plus usuels, en élaguant même tous ceux qui sont bien connus et qui servent couramment dans les autres branches de la physique.

Ils sont classés dans l'ordre adopté pour les diverses unités :

Mesures géométriques. — Les électriciens ont souvent besoin d'un appareil micrométrique pour mesurer le calibre des fils conducteurs ou l'épaisseur des disques métalliques.

Le plus employé est le palmer qui, par sa solidité

et son petit volume, est d'un transport très facile. On peut évaluer avec lui des centièmes de millimètres, et son principe n'est autre que celui de toutes les vis micrométriques.

Dans les nouveaux modèles (fig. 41), la tête mobile

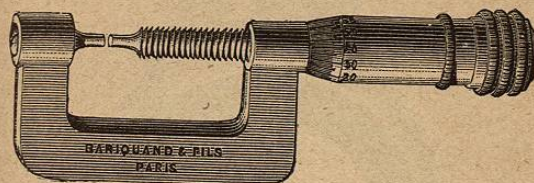


Fig. 41. — Palmer.

tourne folle, dès que la pression qu'elle exerce sur le fil ou la plaque dont on mesure le diamètre ou l'épaisseur atteint une valeur préalablement déterminée et très minime ; de cette façon, il n'y a plus à craindre d'écraser le fil ou cette plaque, et les mesures sont toujours comparables.

Voici deux nouveaux instruments micrométriques employés depuis un long temps dans l'horlogerie de précision, et qui, modifiés légèrement comme nous l'avons fait, ne seraient point sans utilité pour les électriciens ou les physiologistes.

Le premier (fig. 42) est basé sur les relations des triangles semblables.

Contre un couteau d'acier fixe situé à la partie supérieure, vient buter un second couteau mobile ; ce couteau fait partie d'un levier qui pivote très près de la surface de contact et qui est terminée par une petite manette, visible à la partie inférieure de

notre dessin et mobile dans une rainure. Dans notre modèle, la manette est remplacée par un couteau. L'épaisseur à mesurer étant placée entre les ma-

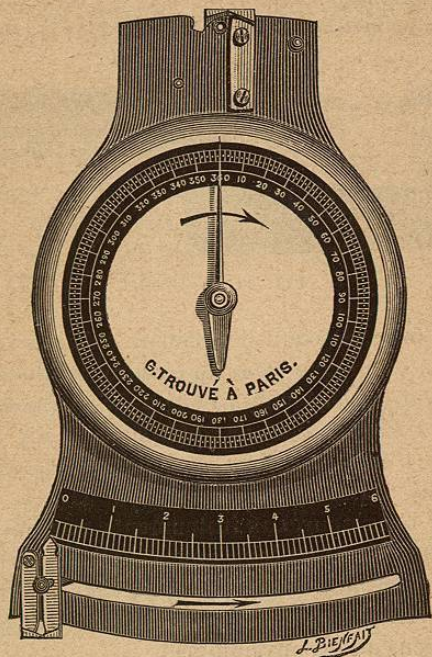


Fig. 12. — Appareil micrométrique en usage dans l'horlogerie de précision et disposé par M. Trouvé pour l'électrométrie.

choires supérieures, celles-ci tendent à revenir d'elles-mêmes se toucher sous l'impulsion d'un léger ressort en spirale logé dans le pivot, et une aiguille entraînée dans le mouvement du grand bras de levier, indique

sur un cadran gradué en 360 divisions, la mesure cherchée.

Le rapport entre la longueur du petit bras du levier et la distance parcourue par l'aiguille indicatrice est tel que chaque division du cadran représente exactement le $\frac{1}{360}$ de millimètre.

Ce petit appareil était ainsi fort commode pour la mesure des faibles calibres, mais il ne pouvait servir pour des diamètres un peu supérieurs à un millimètre.

Nous avons étendu l'amplitude de ses indications en disposant, à l'extrémité du long bras du levier, à la partie inférieure, deux couteaux semblables aux premiers, et de telle sorte que chaque division du cadran représente non plus des $\frac{1}{360}$ de millimètre, mais des $\frac{1}{10}$ de millimètre. Comme les divisions sont numérotées de 10 en 10, chaque nombre de divisions divisé par 10, indique le nombre de millimètres qui lui correspond.

Il est bon de remarquer qu'un appareil semblable construit spécialement pour les besoins de l'électrométrie gagnerait à être gradué non plus en 360 parties, mais en 400, conformément à la numération décimale.

Cette graduation serait d'autant plus opportune que les nouvelles tables de logarithmes publiées par le Service géographique de l'armée rapportent les angles, estimés d'après leurs lignes trigonométriques, à la numération décimale, si justement adoptée dans toute son étendue par le gouvernement révolutionnaire.

Le second instrument de mesure (fig. 13) se com-



Fig. 13. — Règle micrométrique de comparaison pour les très faibles calibres.

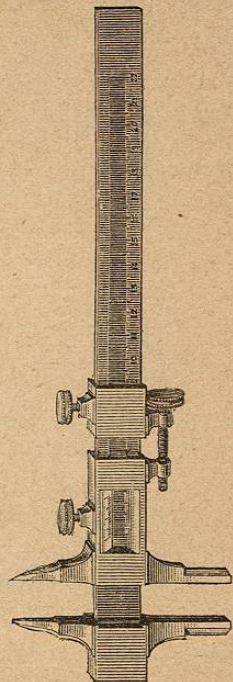


Fig. 14. Pied à coulisse à vis micrométrique et à vernier.

pose d'une simple règle en acier trempé, composée

de deux réglettes rectangulaires fortement réunies par ses extrémités et dont l'écartement progressif est rendu fixe; cet écartement est limité à un millimètre.

La longueur de la règle est divisée en 100 parties égales ce qui permet d'apprécier à l'œil jusqu'à des $\frac{1}{200}$ et même des $\frac{1}{400}$ de millimètre.

Cet appareil ne comporte pas d'indications assez étendues, mais il est excellent quand il s'agit de comparer les calibres de deux fils très fins, comme des fils de platine, par exemple. Fût-il mal divisé, qu'on serait sûr avec lui de posséder deux fils de diamètres pratiquement égaux.

Nous citerons encore le pied micrométrique à coulisse et à vernier de la figure 14 qui se compose d'une règle graduée terminée par un talon. Ce petit instrument, ou compas d'épaisseur, permet facilement de prendre le diamètre des fils et l'épaisseur d'une plaque entre des limites très étendues à $\frac{1}{50}$ et même à $\frac{1}{100}$ près de millimètre.

Mesures mécaniques. — Il existe une multitude d'instruments pour mesurer les forces, les vitesses et le travail.

Souvent on ramène la *mesure des forces* à l'évaluation d'un poids, et l'appareil employé dans ce cas prend le nom de *balance*, quelle que soit sa forme. Dans tous les autres cas, on a recours à des appareils spéciaux appelés dynamomètres.

M. Trouvé a réalisé pour son compte un dynamomètre qui, contrairement à bien d'autres, peut servir aussi bien pour les petites forces que pour les grandes et qui peut être monté en absorption ou en distribu-

tion à volonté. C'est un dynamomètre de rotation à ressort dont la puissance se gradue au nombre des

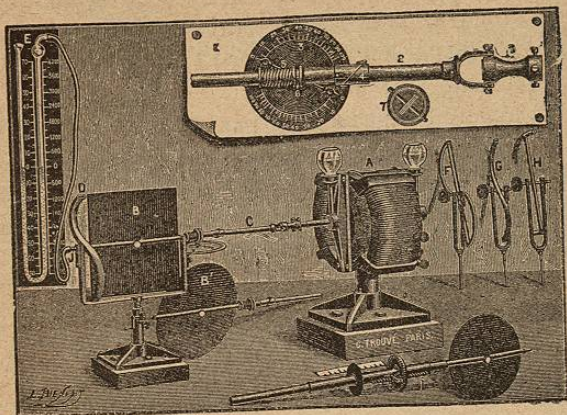


Fig. 15. — Dynamomètre universel Trouvé avec tachomètre à liquide à indications multiples et simultanées. Il se monte en absorption comme en distribution.

A, moteur en expérience d'une puissance de 30 à 40 kilogrammètres. — B, B', frein dynamométrique d'absorption à palette rectangulaire ou circulaire pour toutes puissances, depuis celles de quelques grammètres jusqu'à celles de 30 à 40 kilogrammètres. — C, dynamomètre à indication curviligne de l'effort sur un cadran dont on voit les détails amplifiés en K, au sommet de la figure. — D, compte-tours en S agissant par aspiration sur le manomètre E. — E, manomètre à liquide. — F, G, H, diverses formes de compte-tours. — I, dynamomètre à indication rectiligne. — J, presse-étoupe d'étanchéité entre le tourniquet D et le manomètre E. — K, détails amplifiés du dynamomètre. — 1, manchon à la Cardan. — 2, ressort plat fixé par chacune de ses extrémités à deux tubes concentriques composant l'axe du système et dont la distance relative, variable avec l'effort, sert à mesurer celui-ci à l'aide d'une aiguille mobile sur un cadran. — 3, cadran indicateur des mesures. — 4, plans inclinés transformant le mouvement circulaire de torsion en mouvement longitudinal. — 5, ressort antagoniste tendant à ramener au contact parfait les deux plans inclinés. — 6, gorge d'engagement de l'arbre coudé qui entraîne l'aiguille indicatrice. — 7, coupe transversale du ressort de rotation à lames multiples ou unique.

lames élastiques plates composant le ressort (fig. 15).
La mesure des vitesses est toute aussi aisée que la

mesure des forces. Elle s'opère soit à l'aide de *compte-tours*, ou enregistreurs totalisateurs des tours effectués par la machine dans un temps donné, soit à l'aide d'*indicateurs des vitesses*, ou *tachomètres*, ou *tachymètres* permettant d'évaluer à chaque instant la vitesse du moteur. La plupart des tachomètres comportent d'ailleurs l'adjonction d'*enregistreurs*

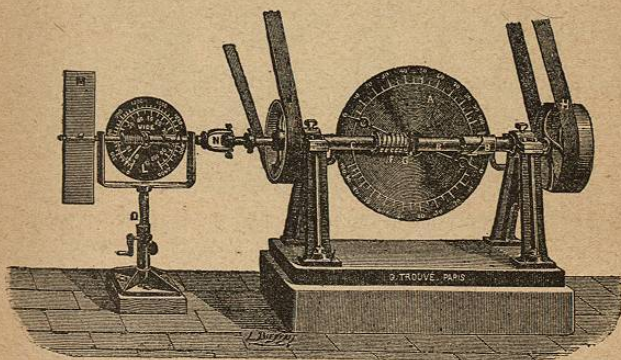


Fig. 16. — Dynamomètre universel Trouvé avec tachomètre robuste entièrement mécanique.

donnant un diagramme ou courbe continue des variations de la vitesse.

M. Trouvé possède deux modèles de tachomètres : l'un, très robuste, n'est autre que la réduction de son propre dynamomètre (fig. 16) ; l'autre est formé d'un tourniquet agissant par succion sur un manomètre à liquide (fig. 15) ou métallique (fig. 17). Ce dernier tachomètre jouit de la propriété caractéristique de pouvoir transmettre ses indications à distance et sur

plusieurs points à la fois. Pour cette raison, nous lui avons donné le nom de *télétachomètre*¹.

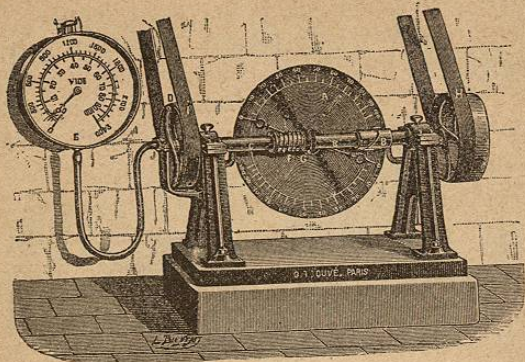


Fig. 17. — Dynamomètre universel Trouvé avec télétachomètre robuste à indications multiples et simultanées.
(Le manomètre à liquide est remplacé par un manomètre métallique.)

La vitesse linéaire d'un point se déduit de sa vitesse angulaire par la formule

$$v = \frac{\pi r n}{180}$$

dans laquelle n est le nombre de tours à la minute, r la distance du point à l'axe de rotation.

Le *travail* élémentaire développé par un moteur animé ou inanimé a pour mesure, on sait, le produit de la force agissante par la vitesse du point d'appli-

¹ Ces appareils sont longuement décrits dans *Les Nouvelles découvertes en électricité*, par M. G. Barral. — Michelet, éditeur. L'Appendice les montrera appliqués à la mesure de la force musculaire humaine.

cation de cette force prise dans le sens du déplacement. La simple multiplication des indications simultanées du dynamomètre et du tachomètre fournira donc ce travail à tout instant.

Il arrive quelquefois que force et vitesse sont fonctions l'une de l'autre : cela se présente quand la résistance à vaincre est constante. Alors trois courbes d'étalonnage ou un cadran muni de trois limbes concentriques, gradués une fois pour toutes, donneront immédiatement par lecture directe la force exercée, la vitesse acquise et le travail fourni. Grâce au télétachomètre, le travail pourra être lu à distance et sur plusieurs points à la fois.

Un autre dynamomètre de la plus grande simplicité serait employé avec avantage par les médecins. Il est d'autant plus recommandable que l'appareil est susceptible des applications mécaniques, physiques et cliniques les plus variées. Ce dynamomètre n'est autre, en effet, que les dynamos Trouvé montées sur manège (v. page 141). Dans le circuit de ces dynamos on intercale un ampère-mètre et un volt-mètre ; le produit des ampères par les volts donne les watts, lesquels divisés par $g = 9,8088$, ou ce qui est suffisant en pratique courante, approximativement par 10, donne le nombre des kilogrammètres développés. Pour plus de précision on multiplie ce nombre de kilogrammètres par un coefficient constant qui est *inverse du rendement* de la dynamo et a été déterminé expérimentalement une fois pour toutes soit par le médecin lui-même, soit par le fabricant.

Il est à remarquer que ce dynamomètre, si économique puisqu'il ne demande aucun appareil étranger

à l'outillage le plus strict de l'électrothérapeute, dynamo, ampère-mètre et volt-mètre, jouit comme le téléachomètre Trouvé du pouvoir de transmettre à distance et en même temps des indications sur plusieurs points. Ce dynamomètre électrique et le dynamomètre universel sont les seuls qui possèdent cet avantage.

Pour mesurer la puissance musculaire d'un sujet, il suffit de l'atteler sur la manivelle de la dynamo et de mesurer avec l'ampère-mètre et le volt-mètre le travail qu'il produit, déduction faite, comme nous venons de le dire, de la perte inévitable, mais connue, de la force vive absorbée par les résistances passives. Les petites dynamos Trouvé montées sur manège seront donc très utiles à la physiologie.

Mesures électriques. — L'économie de l'énergie électrique, sa production, sa répartition et sa consommation ou transformation est constamment soumise à l'influence prépondérante de la résistance du circuit (voir la loi d'Ohm et les lois de la résistance). La mesure des résistances est donc la base de l'électrométrie.

Mesure des résistances. — Le plus simple (fig. 18) de tous les rhéostats se compose d'un tube de verre rempli d'eau légèrement acidulée ou d'une dissolution saline; il est fermé par deux bouchons métalliques, dans l'un desquels entre à frottement une tige bonne conductrice qu'on peut enfoncer plus ou moins dans le liquide.

Cette tige et le bouchon opposé sont mis en communication avec l'un et l'autre pôle du générateur. La résistance du circuit varie donc au fur et à

mesure qu'on augmente ou qu'on diminue la longueur de la colonne d'eau interposée entre le bouchon fixe et la tige mobile, et les liquides étant mauvais conducteurs, la résistance sera proportionnelle à la longueur de cette colonne. Une simple division métrique, ou



Fig. 18. — Rhéostat à liquide.

mieux empirique, gravée sur le verre ou sur la tige peut donc mesurer la résistance introduite.

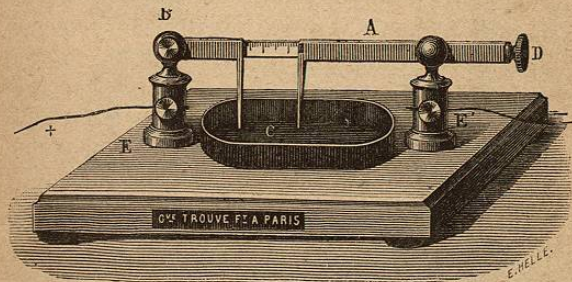


Fig. 19. — Rhéostat Trouvé.

M. Trouvé a combiné un rhéostat tout aussi simple et qui, fondé sur le même principe, comporte un champ de variation beaucoup plus large.

La résistance y est encore représentée par l'épaisseur variable d'une veine liquide. Dans une cuve C (fig. 19) contenant le liquide, baignent deux bras coudés métalliques A, B, qui glissent à frottement dans deux colonnettes E, E', en communication avec

les pôles de la batterie. L'écartement des bras règle et mesure la résistance du circuit.

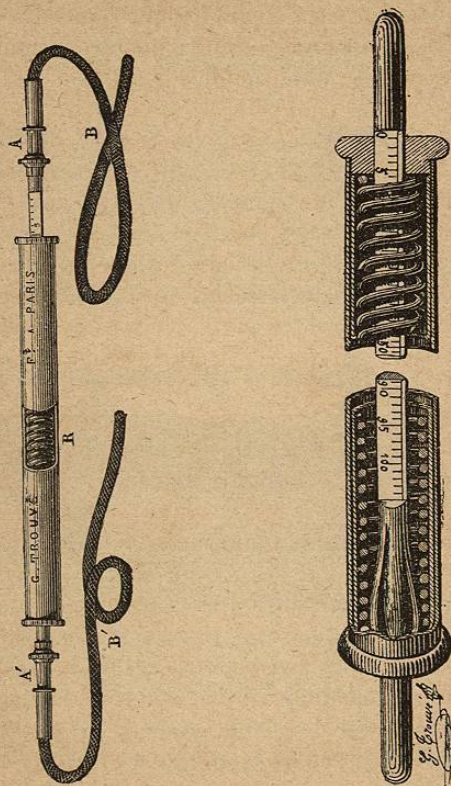


Fig. 20 et 21. — Vues extérieure et intérieure du rhéostat métallique Trouvé.

La qualité dominante de ce rhéostat, c'est de permettre de faire varier instantanément, grâce à un jeu

de cuvettes de rechange, de liquides différents, la résistance introduite.

Un autre rhéostat Trouvé (fig. 20 et 21), plus robuste et presque aussi simple peut rendre également des services appréciables.

C'est un ressort à boudin R, en fil de maillechort renfermé dans un tube en cuivre nickelé. Le maillechort est plus résistant que le cuivre et sa résistance varie moins avec la température. Les spires sont écartées l'une de l'autre et isolées du cuivre par une gaine de carton. A l'intérieur du ressort glisse un contact un peu élastique formé par une tige métallique, fendue en quatre parties légèrement écartées l'une de l'autre et que l'on voit représentée dans la figure 21 en coupe.

Le courant arrive par la tige inférieure, traverse la spirale, le contact et la tige graduée. Dans la position représentée par la figure 21, la tige est à fond et le courant ne traverse que quelques spires : la résistance introduite est minima. Mais, lorsque la tige est tirée, le courant doit, avant d'atteindre le contact, traverser un nombre de spires plus ou moins considérable et, par suite, supporter une résistance plus ou moins forte. Les divisions tracées de la tige graduée correspondent au nombre de spires intercalées dans le circuit.

La théorie du rhéostat métallique Trouvé repose, en somme, sur le principe que des résistances connues introduites dans le circuit, ou enlevées d'une manière continue et déterminée, font varier en moins ou en plus l'intensité du courant; et la disposition du contact élastique fendu assure la régularité du contact;

le réglage s'opère par quart de spire, fraction suffisamment réduite pour la pratique courante.

Le rhéostat bien connu de Wheatstone est aussi d'un maniement très commode.

Il se compose de deux cylindres A, B, (fig. 22) de même rayon, placés parallèlement et pouvant tourner dans le même sens.

L'un des cylindres A est en cuivre ou en laiton ; l'autre B, en buis, et dont l'axe est métallique, est creusé d'une rainure en hélice. Un fil fin de cuivre ou de maillechort, soudé par l'une de ses extrémités

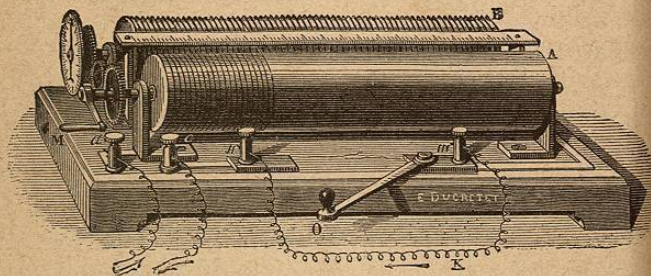


Fig. 22. — Rhéostat Wheatstone.

à l'axe bon conducteur du cylindre B, s'enroule dans la rainure et est soudé au cylindre de cuivre. Les deux axes des cylindres communiquent électriquement à deux bornes où viennent se fixer les rhéophores. Si donc on intercale l'appareil dans le circuit fermé, le courant traverse toute la longueur du fil, mais si on fait tourner les cylindres, le fil quitte l'hélice, s'en-

roule sur le tambour de métal dont la résistance est négligeable, et le courant ne circule plus que dans les spires du fil enroulé sur le cylindre de buis. Connaissant la résistance d'une spire par une expérience préalable faite une fois pour toutes et le nombre de ces spires, donné par une réglette divisée et parallèle aux cylindres, il est facile d'en déduire la résistance cherchée.

Dans bien des cas on se préoccupe beaucoup moins de mesurer avec exactitude la résistance introduite dans le circuit que de maintenir l'intensité du courant à une valeur constante. Dans la clinique, par exemple, le médecin qui veut donner au courant une intensité de tant de milliampères se soucie peu de connaître et la résistance du corps de son sujet et les variations incessantes de cette résistance.

Le rhéostat suivant, dont on ne trouve la description nulle part et qui cependant mérite de meilleurs égards pour son extrême simplicité et la facilité qu'on a toujours de le construire soi-même, sera fort commode dans toutes ces circonstances.

Il est basé sur la très grande résistance qu'offre le contact lâche de corps superposés ou juxtaposés et la diminution considérable de résistance qu'un semblable système éprouve à mesure que l'on rend le contact plus parfait au moyen de la pression. Ce principe a d'ailleurs été appliqué dans bien des appareils et entre autres dans le microphone de Hughes et dans presque tous les micro-téléphones que l'on construit aujourd'hui.

Voici comment on improvise ce rhéostat :

On écrase en poudre fine du charbon de cornue et

l'on mélange cette poudre avec la moitié de son poids de gélatine chaude ou colle forte.

En tapotant le gâteau, à la manière des chocolatiers, on l'amincit jusqu'à lui donner, si possible, l'épaisseur d'une pièce de monnaie ; et avec un emporte-pièce on y taille, après refroidissement, des disques d'un diamètre d'un sou. Ces disques sont ensuite empilés dans un tube de verre fermé, d'un bout, par une tubulure métallique que l'on met en relation avec la pile, et de l'autre par une seconde tubulure munie d'un écrou où s'engage une vis suffisamment longue pour presser au maximum les disques élastiques de charbon et de gélatine les uns contre les autres. Bien entendu cette vis communique électriquement avec le second pôle du générateur.

Ainsi agencé, le rhéostat permet d'introduire dans le circuit une résistance si considérable ou si réduite qu'elle peut descendre dans un instrument de moyenne grandeur de 20 000 à 5 000 ohms et moins, en passant par tous les degrés intermédiaires. Le médecin est donc maître absolu de la constance du courant qu'il emploie.

On use pour les mesures très exactes des *boîtes de résistance* (fig. 23).

Dans une caisse sont rangées une série de bobines de résistances croissantes, généralement égales à

1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50, 100, etc., ohms.

Elles sont fixées au couvercle qui porte des blocs rectangulaires en laiton, placés à la suite, mais isolés les uns des autres. L'agencement est tel qu'à un même

bloc viennent aboutir l'une des extrémités de deux bobines consécutives. Des chevilles métalliques mettent à volonté ces blocs en relation entre eux. Lorsque toutes les chevilles sont en place le courant passe par

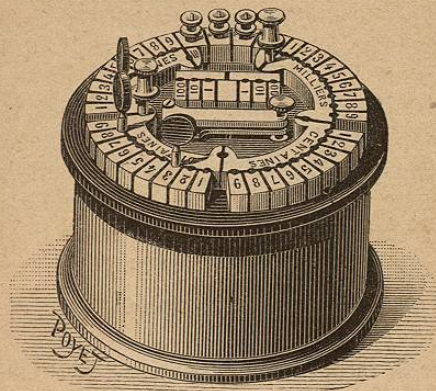


Fig. 23. — Boîte de résistance.

la ligne des blocs dont la résistance est négligeable ; si, au contraire, on enlève une ou plusieurs chevilles, le courant traverse les bobines dont les résistances sont connues et lues immédiatement en chiffres sur la boîte en regard de chacune d'elles.

Quand il s'agit de mesurer la résistance d'un conducteur, on le place dans le circuit d'une pile où on intercale également un galvanomètre et l'on détermine l'intensité du courant produit : on retire le conducteur et on le remplace par un rhéostat gradué ou une boîte de résistance dont on fait varier le

nombre des spires ou la valeur des bobines jusqu'à ce que le courant d'expérience reprenne l'intensité primitive; la résistance du conducteur est évidemment celle que l'appareil indique alors.

Wheastone a donné une autre méthode très gêné-

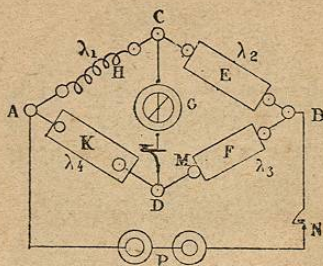


Fig. 24. — Pont de Wheastone.

rale pour la mesure des résistances. Cette méthode est dite du *pont de Wheastone*.

Soient quatre conducteurs (fig. 24).

- H, de résistance inconnue λ_1 ;
- E, de résistance connue λ_2 ;
- F, de résistance connue λ_3 ;
- K, de résistance connue λ_4 .

Réunissons C à D par un cinquième conducteur contenant un galvanomètre G, puis A à B par un dernier conducteur contenant une pile P.

On peut toujours faire en sorte, en choisissant des valeurs convenables pour les trois résistances connues, que les potentiels en C et D soient égaux : ce que l'aiguille du galvanomètre indiquera aussitôt en revenant au zéro.

Dans ce cas, on aura d'après la loi de Ohm et la force électromotrice ne variant pas :

$$\frac{H}{K} = \frac{E}{F}$$

d'où

$$H = K \frac{E}{F}$$

Connaissant une fois pour toutes l'un des rapports $\frac{K}{F}$ ou $\frac{E}{F}$ et déterminant à l'aide d'un rhéostat ou d'une boîte de résistance la valeur E ou K, on aura la résistance H cherchée.

Quant il s'agit de mesurer la résistance intérieure r

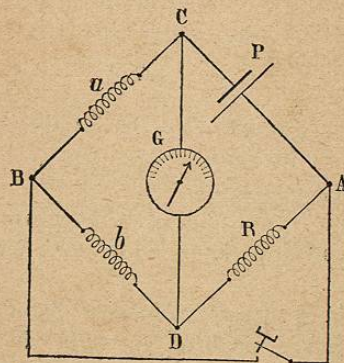


Fig. 25. — Méthode de Mance.

d'une pile on se sert souvent de la *méthode de Mance* qui est une variante de celle de Wheastone.

La pile est intercalée (fig. 25) dans l'un des bras, AC, du pont. La branche AB porte la clef de la