

en effet, proportionnels aux intensités des courants qui circulent dans leurs fils.

Cependant on peut admettre que, lorsque la déviation n'atteint pas 20° , il y a sensiblement proportionnalité entre l'intensité et la déviation.

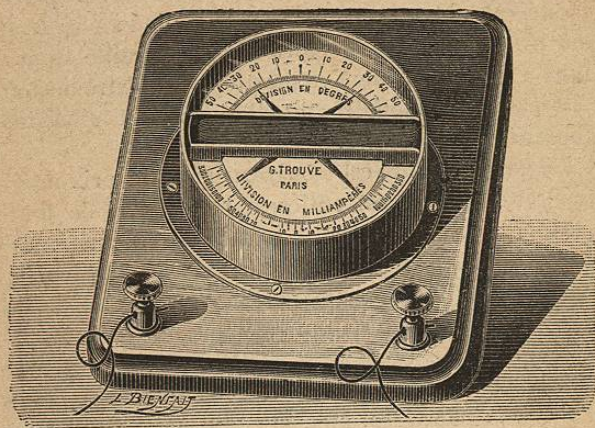


Fig. 36. — Galvanomètres horizontal Trouvé.

Dans tous les cas, M. Trouvé a conservé d'un côté les degrés pour les raisons suivantes :

1° Les deux graduations permettent d'utiliser au moyen d'une table de comparaison les galvanomètres anciens;

2° Les degrés laissent apprécier les plus petits déplacements de l'aiguille quand celle-ci arrive aux dernières indications de l'échelle en milliampères.

Dans la construction et l'étalonnage des galvanomètres, la conservation des degrés d'un côté est

d'un grand secours pour tracer avec précision l'échelle empirique des intensités, en milliampères, par exemple.

L'échelle des intensités étant obtenue empiriquement, on est obligé, en l'absence de tout point de

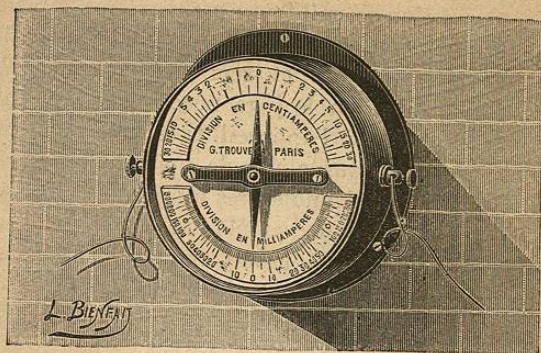


Fig. 37. — Galvanomètre vertical Trouvé.

repère sur le cadran, de noter et pointer immédiatement la position de l'aiguille pour chaque intensité déterminée.

L'étalonnage et le pointage doivent donc se faire simultanément par une même personne; cela présente certains inconvénients.

Au contraire, avec le cadran divisé préalablement en degrés, mécaniquement, et par conséquent avec précision, on peut confier l'étalonnage à une personne compétente, qui n'aura qu'à noter le nombre exact de degrés pour chaque intensité, et confier ensuite cette table à une personne exercée qui fera

le pointage et le tracé de l'échelle des intensités correspondantes avec une grande précision, puisqu'elle n'aura d'autre préoccupation que celle de faire reprendre à l'aiguille du galvanomètre, par orientation, les positions indiquées par son prédécesseur compétent, dont il a la table sous les yeux.

La graduation en milliampères, dans les galvanomètres de Trouvé, est faite sur un limbe amovible qui peut être déplacé et remplacé par un autre ou réétalonné, si on le juge nécessaire, à la suite d'accidents arrivés à l'appareil. Il est très important dans la pratique journalière de pouvoir vérifier et réétalonner ces galvanomètres un peu sensibles aux chocs violents, sans être arrêté par une dépense qui serait assez élevée s'il fallait remplacer ou refaire entièrement le galvanomètre, tandis qu'elle est insignifiante pour le réétalonnage avec cercle amovible.

Dans bien des circonstances on n'a pas besoin de connaître l'intensité d'un courant, mais de savoir seulement s'il y a courant ou plutôt production d'électricité.

Des appareils fort simples, connus sous le nom de magnétoscopes, galvanoscopes ou d'électroscopes, sont employés à cet usage :

Le magnétoscope astatique Trouvé (fig. 188) se compose de deux petites aiguilles à coudre ordinaires, aimantées à saturation et d'une façon à peu près égale, qui sont piquées dans un fétu de paille suspendu par un fil de cocon à l'intérieur d'une éprouvette de verre hermétiquement close.

La sensibilité du système est excessive, puisque

c'est avec lui que nous avons pu reconnaître avant l'opération chirurgicale exécutée par M. le professeur Polaillon et rapportée plus loin, page 366, la présence d'une fourchette de fer dans l'estomac d'un sujet.

L'arrière-train d'une grenouille est aussi un excellent galvanoscope ; mais le téléphone est de tous les

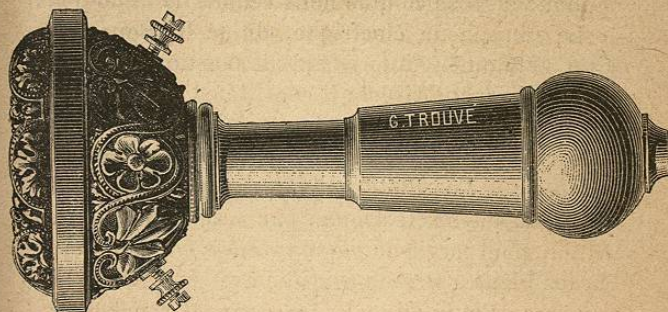


Fig. 38. — Téléphone Bell construit par M. Trouvé.

galvanoscopes le plus sensible. Il accuse la présence d'un champ électrique ou magnétique d'une excessive pauvreté.

Nous avons maintes fois constaté pour notre part qu'un téléphone Bell construit avec soin (fig. 38) et intercalé dans le circuit secondaire du grand appareil d'induction Trouvé (fig. 109), mais complètement isolé du circuit primaire fait entendre distinctement les interruptions et rétablissement du courant quand la bobine secondaire s'éloigne à plus de un mètre et demi et deux mètres de son inductrice.

Le téléphone est, à ce point de vue, un précieux

instrument de recherche qui a rendu (on le verra plus loin) et rendra des services importants en électrophysiologie.

Le phénomène du phosphène électrique est aussi un galvanoscope assez pratique, bien que, sous le rapport de la sensibilité électroscopique il ne puisse rivaliser avec la grenouille ou mieux encore avec le téléphone disposé comme nous venons de l'indiquer.

« Le phosphène électrique, dit le Dr Boucheron est un phénomène intéressant de l'action des courants sur l'organe visuel : il consiste en une sensation lumineuse produite à la fermeture ou à l'ouverture du courant, ou même lors des variations du courant produites par l'oscillation d'un microphone (Bardet).

« Le phosphène électrique, par la sensibilité de sa réaction, peut servir de *galvanomètre physiologique* pour les petits courants peu intenses de 2 à 10 milliampères. En appliquant les deux électrodes aux tempes, et en fermant et ouvrant le circuit, on voit apparaître une lueur colorée, généralement annulaire.

« Le phosphène électrique paraît se produire dans la rétine seulement, lors de l'excitation de la rétine seulement; et non par l'excitation du nerf optique, ni par l'excitation du centre encéphalique visuel, comme paraît le démontrer l'expérience suivante :

« Avec un courant de deux éléments, les pôles placés, le positif à la nuque, ou sur l'occipital, et le négatif sur le bord orbitaire inférieur, de manière à mettre dans le circuit les centres visuels, les nerfs optiques et la rétine — par les courants directs ou dérivés — on produit un phosphène léger. En abais-

sant peu à peu le pôle négatif du côté de la mâchoire, on s'écarte de plus en plus de la rétine tout en excitant vraisemblablement les centres. Dans ces conditions, le phosphène diminue de plus en plus et bientôt disparaît quand les courants dérivés n'impressionnent plus la rétine.

« De même en plaçant les électrodes aux tempes, on obtient le phosphène, mais en reculant les électrodes vers les temporaux, tout en se maintenant sur le trajet des nerfs optiques, le phosphène disparaît. Il est entendu que la peau est préalablement nettoyée à l'alcool et à l'éther et mouillée pour la rendre très perméable aux courants faibles.

« Avec les courants plus forts, il y a une diffusion des courants à longue distance qui peut en imposer sur les points excités. »

Mesure des tensions ou des forces électromotrices.

— Connaissant l'intensité i et la résistance r , on peut connaître la tension e .

$$e = ir.$$

Si l'on veut déterminer par méthode directe la tension d'un courant, il suffit de songer que, quelle que soit la résistance du circuit, l'énergie W , égale au produit de l'intensité i par la tension, reste constante :

$$W = ie.$$

Les effets physiques d'influence ou d'induction qui manifestent la présence de l'agent électrique ne sont causés, à proprement parler, ni uniquement par l'intensité, ni uniquement par la tension; pas plus

que, en mécanique, le travail ne s'identifie avec la force ou avec la vitesse. Ils sont en rapport avec l'intensité et avec la tension, comme le travail est le produit de la force par la vitesse, seulement l'intensité règle la grandeur du phénomène et la force électromotrice détermine son extension à une distance plus ou moins grande du centre d'action.

Donc, ce qu'on a mesuré réellement en cherchant l'intensité d'un courant, ça a été le produit de cette intensité par la tension; mais on a bien pris soin, sachant que le produit ie restait parfaitement invariable, de réduire e au minimum en enroulant les bobines de fil gros et court.

Dans la mesure de la tension, au contraire, il est nécessaire de réduire l'intensité pour laisser dominer la tension.

Les ampèremètres ou galvanomètres que nous avons étudiés, pourront donc nous servir encore de voltmètres si nous avons la précaution d'y substituer des fils fins et longs aux fils gros et courts.

Quand il s'agit d'éléments de piles, on a recours à la méthode d'opposition.

On a n éléments de force électromotrice connue e et de résistance intérieure r , et n' éléments de force électromotrice e' et de résistance intérieure r' . Si R est la résistance extérieure commune au système et i l'intensité :

$$e' = \frac{n}{n'} e - (R + nr + n'r') i.$$

Si on peut faire que

$$i = 0.$$

on aura :

$$e' = \frac{n}{n'} e$$

On peut encore, avec Wiedemann, associer successivement deux éléments en série et en opposition et on mesure les intensités i et i' correspondantes :

$$i = \frac{e + e'}{R + r + r'} \quad i' = \frac{e - e'}{R + r + r'}$$

Ou en éliminant le dénominateur $R + r + r'$ et isolant e' .

$$e' = e \frac{i - i'}{i + i'}$$

D'après M. Emile Reynier¹, un des meilleurs voltmètres est la pile humide Trouvé que le D^r Gavarret qualifiait de « vrai étalon physiologique » et qui peut servir à la mesure des plus puissantes forces électromotrices comme des plus faibles. Plusieurs usines d'électricité l'emploient à l'exclusion de tout autre.

Chaque couple se compose uniquement d'un tube de verre (fig. 39) rempli de rondelles de papier buvard, imprégnées de sulfate de cuivre, et de deux disques, l'un de cuivre, l'autre de zinc, placés aux deux bouts de la colonne de papier. Le tube est fermé à chacune de ses extrémités par un bouchon de caoutchouc ou de liège paraffiné que traverse un fil de cuivre soudé à la rondelle correspondante.

Les dimensions de ces couples sont variables. Ils

¹ *L'Electricien* du 15 mars 1884.

peuvent avoir couramment 1 centimètre de diamètre intérieur et 10 centimètres de longueur. Fabriqués en grande quantité, ils pourraient revenir à la modique somme de 25 centimes l'un. De cette façon, il serait possible, dans un espace restreint, de superposer un

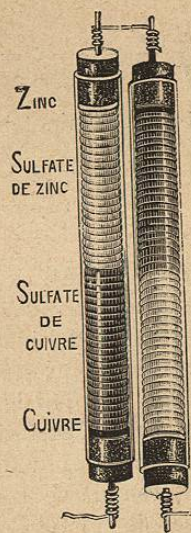


Fig. 39. — Pile humide Trouvé montée en colonne.

grand nombre de ces couples pour former une pile de haute tension, très bien isolée, constante, durable, d'un prix très modique et d'une haute valeur pour l'étude et l'étalonnage des appareils de mesure. La meilleure manière de la monter consiste à suspendre verticalement les éléments à des cadres horizontaux.

Pour la commodité du transport et de l'usage, elles sont casées par groupes dans des boîtes ma-

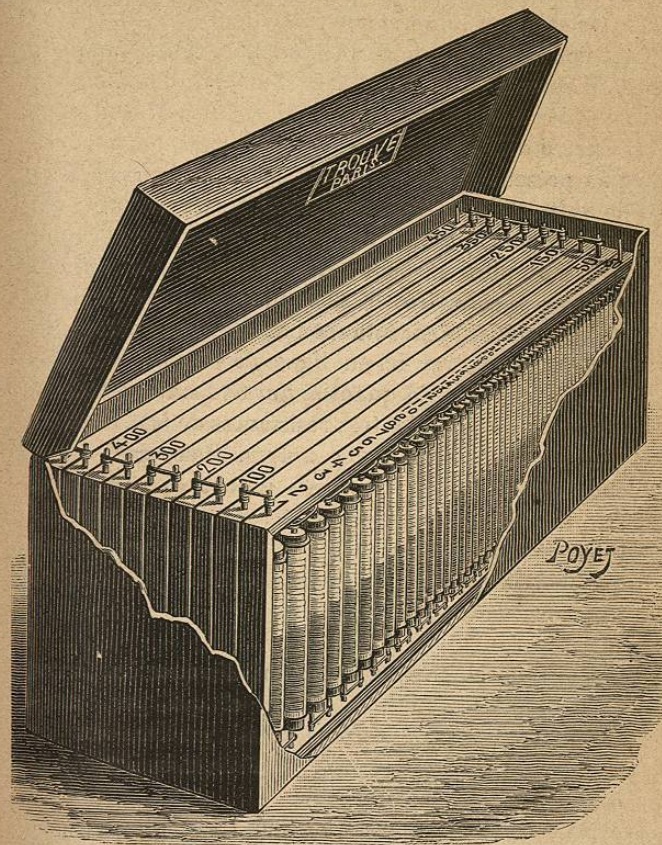


Fig. 40. — Pile humide Trouvé de 500 couples pour l'étalonnage et le contrôle des voltmètres.

niables. La figure 40 représente une pile humide de 500 couples ainsi combinée. La caisse a 80 centimètres de longueur sur 20 de largeur.

On sait tout l'intérêt que présentent les batteries de tension pour l'étude de l'électricité à haut potentiel. Malheureusement le montage d'une pile d'un nombre considérable de couples est si coûteux, l'isolement en est si difficile, que peu de physiciens ont pu jusqu'à présent s'offrir une batterie de plusieurs milliers de volts. Il faut citer cependant M. Gassiot avec ses couples zinc, platine, eau, et M. Warren de la Rue, avec ses piles au chlorure d'argent. La célèbre batterie secondaire de 800 couples, avec laquelle M. Gaston Planté exécuta ses magnifiques expériences, ne peut pas entrer ici en ligne de compte, car elle donne des effets de quantité qui ne pourraient être obtenus avec les piles très résistantes de MM. Gassiot, Warren de la Rue et les nôtres. Mais, grâce aux couples tubulaires, les hauts potentiels pourraient être étudiés commodément et recevoir des applications pratiques. C'est à ce point de vue particulier que la pile humide, dans sa forme la plus simple, pourrait donner de l'imprévu.

Un appareil très sensible qui dénonce les forces électromotrices les plus faibles et qui, par conséquent, peut rendre les plus grands services dans les recherches physiologiques, est l'*électromètre capillaire de Lippmann* (fig. 41).

Nous avons vu plus haut (p. 19), que sir W. Thomson et M. Lippmann avaient montré que la différence de potentiel engendrée par le simple contact

de deux métaux hétérogènes ou même par la simple variation d'étendue de la surface de ce contact pouvait, dans des conditions artificielles déterminées,

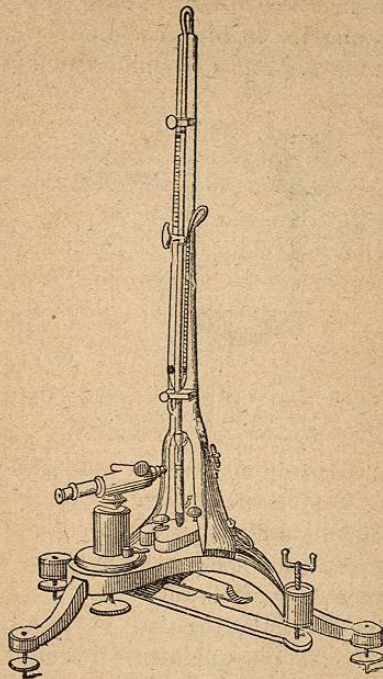


Fig. 41. — Electromètre capillaire de M. Lippmann.

donner lieu à un courant électrique continu ; l'électromètre de M. Lippmann est fondé sur le principe inverse, c'est-à-dire sur le fait qu'un courant électrique provoque une variation de niveau dans une colonne capillaire de mercure.

En un mot, voici ce qui se passe :

Soit un tube recourbé *a b c* (fig. 42), large à l'une de ses extrémités, *b*, très étroit à l'autre, *a*.

On verse du mercure dans la branche *b* jusqu'à ce que le niveau dans la branche capillaire *a* soit voisin du niveau *b*. Cette extrémité *a* plonge dans un

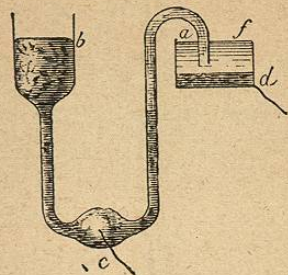


Fig. 42. — Principe de l'électromètre capillaire de M. Lippmann.

vase *f* contenant du mercure et au-dessus de l'acide sulfurique. Deux électrodes en platine, *c* et *d*, sont en communication d'une part avec l'objet électromoteur en étude et d'autre part avec la couche mercurielle du vase *f* et avec le tube *a b*.

Dès qu'un courant passe dans le circuit fermé *d a c d*, il est signalé par une dépression dans le niveau de la branche capillaire et c'est cette dépression, fonction de la force électromotrice, qui sert à mesurer celle-ci.

Elle est évaluée par la quantité de mercure nécessaire pour ramener la colonne à son niveau primitif. La graduation a d'ailleurs été effectuée, empiriquement, une fois pour toutes.

La disposition adoptée par M. Lippmann est la suivante : le réservoir est un tube vertical plein de mercure; sa pointe capillaire plonge dans un second manchon vertical (fig. 43), qui contient une couche de mercure et de l'eau acidulée. La communication électrique correspond à celle qui est ci-dessus indiquée.



Fig. 43. — Détail du raccordement des deux tubes de l'électromètre capillaire de M. Lippmann.

Le tout est disposé sur un trépied à vis calantes (fig. 41) et un fort microscope note les dépressions électrométriques du ménisque. Ce ménisque est ramené au niveau primitif au moyen d'une vis de pression agissant sur un réservoir d'air qui commande la colonne mercurielle. A cette fin, le sommet du tube vertical est encapuchonné dans un tube de

caoutchouc allant au réservoir, et un baromètre permet d'apprécier la pression intérieure avant et après l'expérience. Par différence, on connaît la variation de pression nécessaire au retour du ménisque à sa position initiale et une table à double entrée, ou une courbe, donne par simple lecture la force électromotrice cherchée.

L'électromètre Lippmann indique des potentiels de $\frac{1}{10\ 000}$ d'unité (volt, ou Daniell = 1 volt,079).

Mesure des quantités. — Connaissant l'intensité et la tension à un instant donné, on peut calculer le potentiel correspondant.

La quantité d'électricité Q , fournie dans un temps donné T , sera ensuite obtenue par l'intégration des potentiels élémentaires.

$$Q = \int_0^t i \, e. \, dt.$$

Si la force électromotrice est constante, ou peut être regardée comme telle :

$$Q = e \int_0^t i. \, dt.$$

Si, enfin, l'intensité i est également constante :

$$Q = ie T$$

ce qui était évident *a priori*.

Comme nous l'avons dit plus haut, les meilleurs intégrateurs électriques, auxquels on a donné le nom de compteurs d'électricité, sont les voltamètres.

De ce nombre est le compteur de Trouvé (fig. 44)

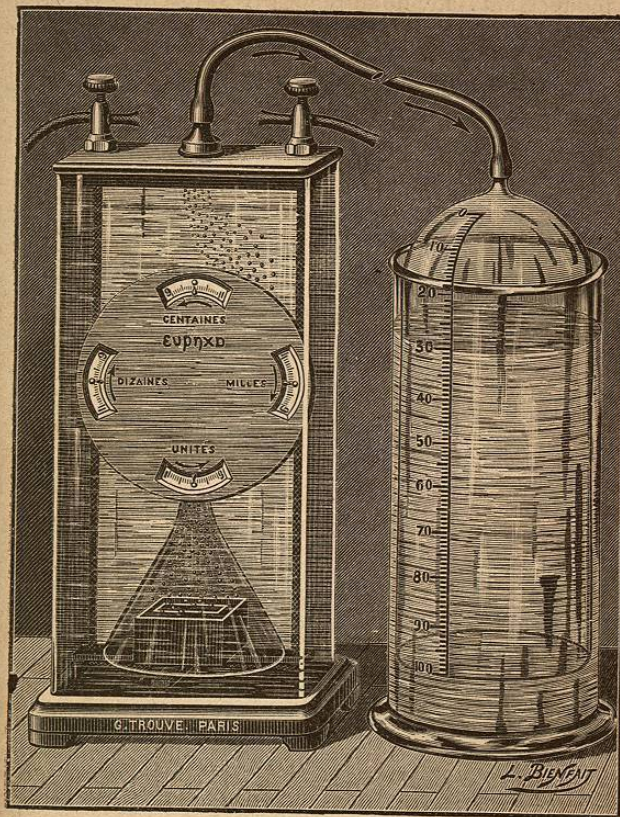


Fig. 44. — Compteur d'électricité de Trouvé.

qui se compose d'une turbine ou roue à augets immergée dans l'eau acidulée que la force de déga-

gement des gaz provenant de l'électrolyse met en mouvement. Le nombre des révolutions de cette turbine se trouve d'ailleurs indiqué, par l'intermédiaire d'un train de rouages, sur des cadrans dont l'un marque les unités, un second les dizaines, un autre les centaines, etc., de tours.

Le fonctionnement de tous ces différents compteurs est le même. Le train de rouages disposé au-dessus de larges électrodes de platine est noyé dans le liquide électrolytique, et un entonnoir en verre recueille les gaz pour les faire agir sur la turbine du compteur, après quoi ils peuvent être recueillis séparément ou ensemble.

Dans le premier cas, l'oxygène peut être utilisé pour assainir l'appartement et l'hydrogène pour la chaleur.

Ils peuvent être recueillis dans une cloche graduée et à immersion, comme le montre la figure 42 et servir comme mélange détonant.

Ce compteur, d'une extrême simplicité, convient aussi bien pour la mesure des courants continus que pour la mesure des courants alternatifs. Il peut même se graduer pour représenter l'énergie électrique sous toutes ses formes : ce sera, par exemple, un ampère-heure-mètre, un volt-heure-mètre, un watt-heure-mètre, un coulomb-mètre.

RENSEIGNEMENTS DIVERS

Nous réunissons dans cette section les renseignements que nous croyons utiles aux électrothérapeutes. Nous renvoyons aux nombreux traités de physique et à l'excellent *Formulaire pratique de l'électricien* de M. E. Hospitalier, pour tous ceux que nous aurions omis ou négligé de donner.

NOTATIONS

C. G. S. système centimètre—	m ou m^2	mètre carré.
gramme-masse —	mc ou m^3	mètre cube.
seconde.	s	seconde de temps.
E force électromotrice	d	diamètre.
= potentiel.	e	différence de potentiel.
I ou i intensité électrique.	f	force.
M masse.	g	accélération due à la pesanteur.
P ou ϖ poids absolu.	l	longueur.
R résistance.	n	nombre abstrait.
T ou t temps.	r	résistance intérieure ou rayon.
V ou v volume ou vitesse.	s	section.
W énergie, travail.	w	watt.
e centi.	α, β	angles.
cm ou cm^2 centimètre carré.	γ	accélération.
cmc ou cm^3 centimètre cube.	θ	température.
d déci.	μ	micr ou micron.
$f. é. m.$ force électromotrice.	ρ	rayon de courbure.
f franc.	ω	vitesse angulaire ou ohm.
g gramme.		
j joule.		
kg kilogramme		
m mètre, minute de temps ou milli.		