

moins élevé soit relié à la colonne mercurielle qui se termine par le ménisque. Sous l'influence de l'électricité, le ménisque remonte, d'autant plus que la différence de potentiel est plus grande. On augmente alors la pression en comprimant le réservoir à air jusqu'à ce que le ménisque revienne au niveau du réticule : de l'augmentation de pression nécessaire pour obtenir ce résultat, on déduit la différence de potentiel si, par des

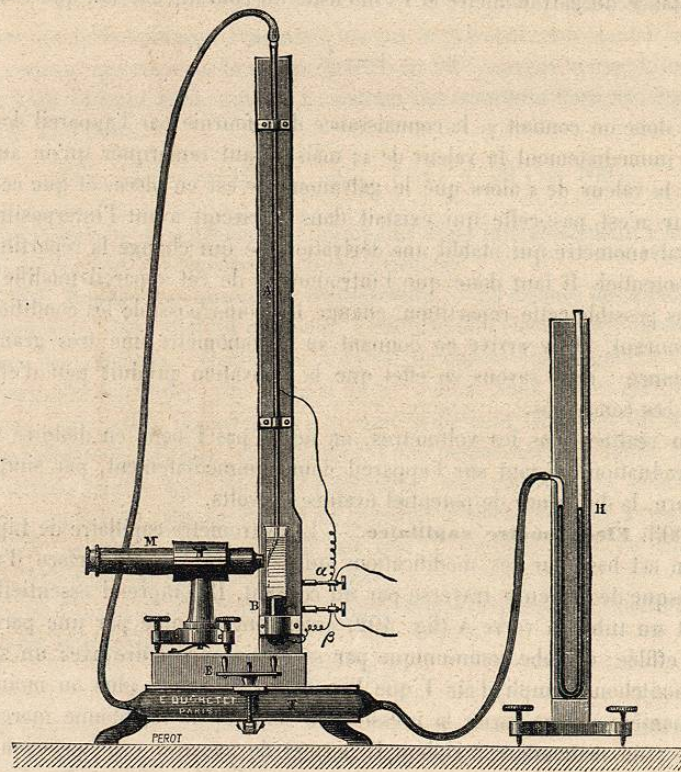


Fig. 492.

expériences préliminaires, on a dressé un tableau comprenant les pressions correspondantes à des différences de potentiel connues.

Cet appareil fournit de bons résultats ; mais son application est délicate.

1004. **Electromètre de Thomson.** — On peut déterminer la différence de potentiel entre deux points quelconques, dans tous les cas, en se servant des *électromètres* proprement dits. Nous ne parlerons pas des électromètres absolus dont l'emploi est très délicat et nous décrirons seulement l'électromètre à quadrants, non sous la forme que lui a donnée sir William Thomson, mais sous la forme simplifiée de Branly (fig. 493).

Le principe est analogue à celui que nous avons indiqué en parlant

de la balance de Coulomb à deux boules (824). L'électromètre de Branly est formé de 4 plaques métalliques en forme de quart de cercle portées par des tiges conductrices : ces plaques sont deux à deux réunies en diagonale par des fils métalliques, de manière que les deux secteurs ainsi réunis forment un couple au même potentiel en tous les points. Une plaque très légère en aluminium, dont la forme rappelle un peu celle d'un 8 dont les deux boucles ne seraient pas complètement séparées, est suspendue par un fil métallique fin dont l'extrémité supérieure est fixée à une pince munie d'une borne et portée par un tambour que l'on peut faire tourner : une tige rigide verticale reliée à la plaque porte un petit miroir qui servira à évaluer les déplacements angulaires du système mobile. Toute cette partie est enfermée dans une cage en verre surmontée d'un cylindre, également en verre, à la partie supérieure duquel est placé le tambour qui porte le fil.

La plaque en aluminium est amenée, par une rotation convenable du tambour, à une position telle que son axe soit exactement au-dessus d'une des lignes diamétrales de séparation des secteurs ; on l'électrise alors à un certain potentiel : à cet effet, on établit une communication par un fil métallique entre la borne qui surmonte le tambour et l'un des pôles d'une pile dont l'autre pôle est relié à la terre, et est par conséquent maintenu au potentiel zéro. La lame est alors amenée au même potentiel que l'autre pôle, potentiel dont la valeur dépend du nombre des couples de la pile et de la FEM de chacun d'eux : cette électrisation de la lame ne change rien aux conditions d'équilibre, tant que les secteurs restent à l'état neutre. L'équilibre subsiste encore si tous les secteurs sont électrisés de la même façon et amenés au même potentiel, car il y a symétrie absolue entre les actions qui s'exercent de part et d'autre de son axe. Mais il n'en sera plus de même, les actions exercées de part et d'autre de cet axe seront inégales, s'il existe une différence dans l'électrisation des couples de secteurs, soit qu'ils soient électrisés contrairement, soit seulement qu'ils soient amenés à des poten-

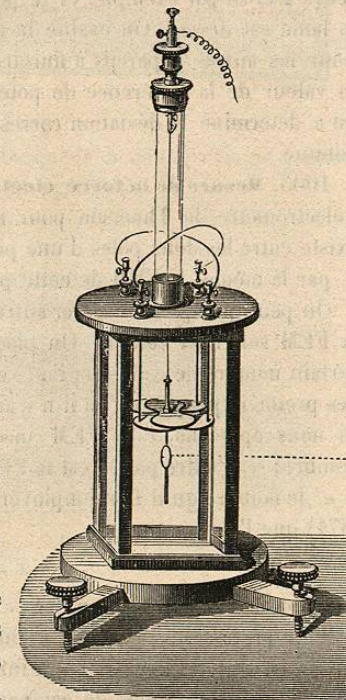


Fig. 493.

tiels différents. La lame se déplace donc sous l'influence de ces forces inégales et atteint une nouvelle position d'équilibre qui dépend de la différence des électrisations.

Pour faire une mesure de différence de potentiel entre deux points A et B, on relie par des fils conducteurs le point A au couple des secteurs 1 et 3, par exemple, et le point B au couple des secteurs 2 et 4 : la lame est déviée. On évalue la déviation comme nous l'avons déjà dit pour les autres appareils à miroir, et de la déviation observée on déduit la valeur de la différence de potentiel, si, par des mesures préalables, on a déterminé la déviation correspondante à une différence de potentiel connue.

1005. **Mesure de la force électromotrice des piles.** — En employant l'électromètre de Thomson pour mesurer la différence de potentiel qui existe entre les deux pôles d'une pile dont le circuit n'est pas fermé, on a, par là même, la FEM de cette pile.

On peut quelquefois opérer autrement si l'on possède des couples dont la FEM soit bien connue. On place ces couples en opposition avec un certain nombre de ceux que l'on veut étudier et l'on fait varier le nombre des premiers jusqu'à ce qu'il n'y ait aucun courant traversant le circuit. Si nous appelons x la FEM inconnue des couples étudiés et n leur nombre; si, d'autre part e est la FEM connue des couples de comparaison et n' le nombre qu'il faut employer pour annuler le courant, nous savons (871) que l'on a :

$$nx = n'e,$$

équation d'où l'on déduit x .

M. le professeur Regnauld a employé cette méthode pour la comparaison des couples usuels dont il introduisait seulement un dans le circuit. Il prenait pour couples de comparaison des couples thermo-électriques dont les soudures étaient maintenues les unes dans la glace fondante, les autres dans l'eau bouillante, c'est-à-dire à des températures absolument invariables, ce qui assurait la constance de la FEM. Quand le courant était annulé, on avait :

$$x = n'e.$$

Il est intéressant dans certaines circonstances de mesurer la FEM de polarisation : les méthodes précédentes ne peuvent pas servir et il faut avoir recours à d'autres procédés dans le détail desquels nous ne pouvons entrer.

1006. **Mesure des résistances.** — La mesure des résistances se fait par comparaison plus ou moins directe avec des étalons de résistance, c'est-à-dire avec des conducteurs ayant des résistances connues. Ce sont généralement des fils métalliques dont on introduit dans le circuit une longueur plus ou moins grande ; quelquefois l'appareil est constitué par

deux fils fins f, f' (fig. 494) placés parallèlement : les deux extrémités d'un même côté portent des bornes B, B' par lesquelles ces fils seront reliés au circuit en expérience. Enfin un curseur m qui glisse le long des fils établit entre eux une communication métallique et limite l'étendue

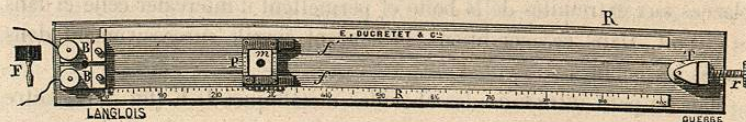


Fig. 494.

de la partie qui est dans le circuit. La longueur de cette partie est donnée par une échelle graduée. Cet appareil est appelé *rhéocorde*.

Dans le *rhéostat*, le fil est enroulé sur un cylindre isolant B (fig. 495),

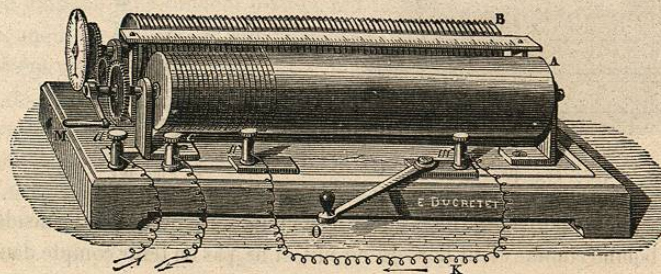


Fig. 495.

de manière que les spires successives ne soient pas en contact. A côté se trouve un cylindre métallique de même diamètre A. Par une rotation convenable, produite mécaniquement, on peut enrouler sur le cylindre métallique une partie du fil qui se déroule du cylindre isolant. Ce dernier est relié au circuit, tandis que l'extrémité du fil qui est fixée au cylindre isolant communique avec l'axe métallique de ce cylindre qui est relié à l'autre extrémité du circuit. Le courant passe donc à travers les diverses spires, puis à travers le cylindre métallique : la résistance de ce dernier peut être négligée à cause de sa très grande section, de telle sorte que la résistance du rhéostat est celle des spires enroulées sur le cylindre isolant, spires qui sont parcourues successivement par le courant. Cette résistance est donc liée au nombre de ces spires qu'il est aisé d'évaluer ; si donc on a déterminé à l'avance la résistance d'une spire, la résistance totale s'évaluera en multipliant la résistance d'une spire par le nombre des spires.

1007. — Plus souvent maintenant on emploie des bobines de résistance, bobines sur lesquelles on enroule un fil métallique recouvert d'une couche isolante et choisi de manière à avoir une résistance déterminée, 1 ohm, 2 ohms, etc. En général ces bobines ne sont pas employées isolé-

ment, mais sont réunies en nombre plus ou moins grand et constituent une *boîte de résistance* (fig. 496). Les extrémités p', q (fig. 497) des fils de deux bobines voisines sont reliées par une lame métallique B de grande section de résistance négligeable : des bornes A, B (fig. 496) sont placées aux extrémités de la boîte et permettent d'intercaler celle-ci dans le circuit. Dans ces conditions, le courant circule successivement dans toutes les bobines.

Mais on peut introduire des chevilles métalliques D, E (fig. 497) entre deux lames successives : le courant passe alors directement de l'une à l'autre, et la bobine est en dérivation ; son action est absolument négligeable, car sa résistance est très

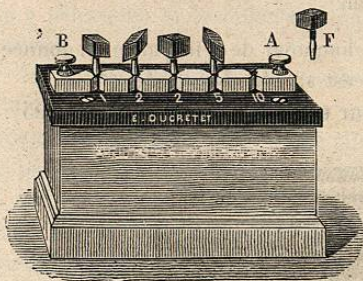


Fig. 496.

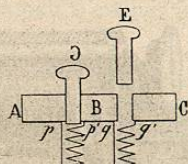


Fig. 497.

grande par rapport à celle de la cheville, de telle sorte qu'on peut considérer cette bobine comme étant hors du circuit et ne pas en tenir compte dans la résistance parcourue par le courant. On peut ainsi mettre hors du circuit autant de bobines qu'on le veut et faire varier à volonté la résistance de la boîte depuis 0 jusqu'à la somme des résistances de toutes les bobines.

Afin de pouvoir aisément obtenir toutes les valeurs de la résistance, on donne aux bobines les valeurs suivantes en ohms :

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

1008. — Dans le cas où l'on veut obtenir une très grande résistance, on emploie une colonne liquide, par exemple une solution saturée de sulfate de cuivre, placée dans une éprouvette cylindrique en verre. Au fond se trouve une plaque de cuivre fixe reliée à une borne ; d'autre part une tige de cuivre portant à la partie supérieure une borne et inférieurement un disque de cuivre peut être fixée à diverses hauteurs. La résistance croît avec la distance qui sépare le disque mobile du fond, et peut être évaluée, quand on a mesuré cette distance, si l'on a déterminé à l'avance la résistance correspondant, par exemple, à une couche de liquide de 1 millimètre d'épaisseur.

1009. — Divers procédés peuvent être employés pour mesurer la résistance d'un conducteur donné : le plus simple est la méthode de substitution.

Pour appliquer cette méthode, on place dans un circuit, comprenant

une pile et un galvanomètre, le conducteur en expérience et une boîte de résistance : on note l'intensité du courant obtenu, à l'aide du galvanomètre, alors qu'on a mis hors du circuit toutes les bobines de la boîte. On retire le conducteur en expérience et on referme le circuit : le courant est nécessairement augmenté, car la résistance est diminuée. On introduit alors successivement diverses bobines dans le circuit, en enlevant les chevilles correspondantes, et l'on continue jusqu'à obtenir pour l'intensité du courant la même valeur que dans la première mesure. On a donc ainsi reproduit la même résistance, et, par suite, la somme des résistances des bobines introduites est égale à la résistance cherchée, à celle du conducteur qui a été supprimé pour la seconde mesure.

Si la résistance à mesurer est petite, il y a intérêt à remplacer la boîte de résistance par un rhéocorde ou par un rhéostat.

On emploie plus souvent maintenant la méthode du pont de Wheatstone, méthode qui repose sur le principe suivant :

Soient quatre conducteurs AB, BC, AD et DC (fig. 498) unis entre eux de manière à former les côtés d'un quadrilatère.

Les sommets A et C sont reliés respectivement aux pôles d'une pile ; d'autre part, les sommets B et D sont reliés à un galvanomètre G. Il y a donc là un système complexe de dérivations : en général, le conducteur qui unit B à D est parcouru par un courant, ce qu'indique la déviation de l'aiguille du galvanomètre.

Mais, dans certains cas, cette aiguille reste au zéro, le conducteur BD n'est traversé par aucun courant : les points B et D sont donc au même potentiel. Il est facile de trouver la condition pour qu'il en soit ainsi : si nous appelons R, R', r et r' respectivement les résistances des branches AB, AD, BC et CD, on reconnaît qu'il faut que l'on ait :

$$\frac{R}{R'} = \frac{r}{r'}$$

Pour appliquer cette méthode, on place en AB et AD deux résistances connues R et R' ou dont au moins le rapport $\frac{R}{R'}$ soit connu ; la résistance

1. Soient en effet V_0 et V les potentiels des points A et C, v et v' ceux des points B et D ; ceux-ci sont déterminés (861) par les relations suivantes :

$$\frac{V_0 - v}{v - V} = \frac{R}{r} \quad \text{et} \quad \frac{V_0 - v'}{v' - V} = \frac{R'}{r'}$$

Mais puisque les points A et D sont au même potentiel, puisqu'on a $v = v'$, ces relations donnent immédiatement

$$\frac{R}{r} = \frac{R'}{r'} \quad \text{ou} \quad \frac{R}{R'} = \frac{r}{r'}$$

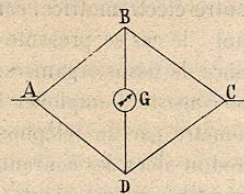


Fig. 498.

à mesurer X est introduite dans la branche BC et dans la branche DC on met une boîte de résistance. On fait alors varier la résistance de cette boîte jusqu'à atteindre une valeur r' pour laquelle l'aiguille du galvanomètre soit ramenée au zéro. En vertu de la relation précédente la valeur de X est donnée par l'équation

$$\frac{R}{R'} = \frac{X}{r'}$$

Des appareils de forme diverse ont été construits pour réaliser les conditions que nous venons d'indiquer; mais lors même qu'ils ne présentent pas matériellement la forme du schéma que nous avons étudié, il est aisé d'y retrouver les mêmes éléments.

1010. — La mesure des résistances par les méthodes que nous avons indiquées présente des difficultés lorsque, par suite du passage du courant, il peut se produire dans les substances traversées une action chimique amenant la polarisation des électrodes, créant en somme une force contre-électromotrice, car cette dernière intervient pour affaiblir le courant: le cas se présente notamment lorsqu'il s'agit de mesurer la résistance de tissus organisés. Le procédé le plus simple pour opérer dans ce cas consiste à employer le pont de Wheatstone en remplaçant le galvanomètre par un téléphone et la pile par une bobine d'induction. Il se produit alors des courants alternatifs qui empêchent la polarisation de se produire; on est averti, d'autre part, qu'aucun courant ne traverse la branche BD lorsque le téléphone est réduit au silence. Mais, dans ce cas, il ne faut pas employer de bobines de résistance dont la self-induction modifierait les effets produits et il convient de les remplacer par un rhéostat ou un rhéocorde.

La mesure des résistances des conducteurs nécessaire en physique et au point de vue industriel est quelquefois utile en physiologie. Quelques recherches récentes tendraient même à montrer que cette mesure peut être utilisée comme moyen de diagnostic: d'après quelques faits qui ne sont pas encore assez nombreux pour qu'on puisse arriver à une conclusion, il semblerait que, pour certaines formes de maladies nerveuses, la résistance du corps humain serait notablement modifiée. Si le fait était prouvé absolument, la question prendrait, on le comprend, une réelle importance pratique comme élément de diagnostic.

CHAPITRE IX

APPLICATIONS SPÉCIALES DE L'ÉLECTRICITÉ AUX SCIENCES MÉDICALES

1011. — Les applications de l'électricité à la physiologie, à la médecine et à la chirurgie sont actuellement très nombreuses quoiqu'elles ne soient pas encore absolument coordonnées et que, sur un assez grand nombre de points, les effets n'aient pas encore été étudiés d'une manière rationnelle, scientifique. Ces applications consistent pour la physiologie en des moyens d'excitation des muscles et des nerfs, en des procédés d'investigation et d'enregistrement de phénomènes variés; il convient d'y joindre l'étude des manifestations électriques dont les êtres vivants sont le siège. Les applications à la médecine et à la chirurgie sont tantôt utilisées comme moyen de diagnostic, tantôt comme moyen curatif dans des conditions très diverses.

Nous ne saurions entrer dans le détail de toutes ces applications dont l'étude exigerait de longs développements et nous devons nous borner à des indications générales. Ajoutons que quelques-unes de ces applications ont été déjà signalées ou décrites, toutes les fois qu'elles se rattachaient directement à l'un des sujets traités dans les chapitres précédents. Ce n'est donc qu'un résumé sommaire et incomplet que nous présentons dans le présent chapitre; mais l'étude des questions qui y seront traitées pourra servir de guide, de modèle, pour celle de sujets en différant par quelques points, mais s'y rattachant par les principes et les lois qui y sont appliquées.

Nous nous occuperons d'abord des questions relatives à la physiologie.

1012. **Indications générales relatives à l'électro-physiologie.** — Lorsqu'on soumet un fragment de tissu organisé ou un organe plus ou moins complexe à l'action de l'électricité, on obtient des effets divers; nous devons d'abord indiquer dans quelles conditions générales il faut se placer pour opérer, en évitant, ou tout au moins en diminuant, les causes d'erreur.

Suivant la nature des recherches on a recours à des sources diverses d'électricité: tantôt, mais rarement, on fait usage de machines électriques ou de corps électrisés au préalable par l'action d'une machine; plus souvent on se sert de condensateurs; ce mode d'action ne doit être employé qu'avec précaution, d'après ce que nous avons dit de la possibilité d'avoir des décharges oscillatoires (985) dont l'effet doit être nécessairement complexe et peut différer notablement de celui d'une décharge simple.

Dans un très grand nombre de cas, on fait usage de courants continus pour