

98°
ANNÉE

JUIN 1899

N° 6
—
TOME IV — 5° SÉRIE

TELEPHONE : 270-28

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR
L'INDUSTRIE NATIONALE

PUBLIÉ

SOUS LA DIRECTION DU SECRÉTAIRE DE LA SOCIÉTÉ

M. E. COLLIGNON

La Société d'Encouragement fait appel au concours de toutes les personnes qui s'intéressent aux progrès de l'industrie.
Pour en faire partie, s'adresser au Secrétariat, rue de Rennes, 44.



MDCCCI

PARIS

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ, RUE DE RENNES, 44

1899

Ce Bulletin paraît tous les mois.



ULTIMHEAT®
UNIVERSITY MUSEUM

industriels. Ils apprécient particulièrement la sûreté d'appareils qui se maintiennent réglés pendant de longues années et constituent de véritables étalons pratiques.

Vous estimerez sans doute, Messieurs, avec le Comité des Arts économiques, que MM. Chauvin et Arnoux sont en tous points dignes de vos encouragements; et si vous approuvez ce rapport, nous vous demanderons de vouloir bien le faire suivre de la description des appareils par leurs auteurs.

Signé : J. VIOLLE, rapporteur.

Lu et approuvé en séance, le 14 avril 1899.

APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES CONSTRUITS par **MM. Chauvin et Arnoux.**

Les appareils de mesures électriques présentés à la Société par MM. Chauvin et Arnoux, ingénieurs-constructeurs, 186, rue Championnet, à Paris, constituent une série très complète d'instruments de mesures utilisés dans l'industrie électrique et les laboratoires s'occupant d'électricité.

VOLTMÈTRES ET AMPÈREMÈTRES

Les voltmètres et ampèremètres construits par MM. Chauvin et Arnoux comprennent trois types principaux : type industriel, type demi-précision, type de précision *apériodique* et à sensibilité variable. Ces différents types ont été étudiés de façon à permettre une construction *par série* et par conséquent économique. Toutes les pièces sont très simples et *interchangeables*.

Le type *industriel* est un des premiers qui aient été réalisés. Il est représenté comme ampèremètre par la figure 1. Le dispositif magnétique est constitué par une sorte de volet mobile en tôle de fer très mince et par un volet fixe en tôle de fer de même épaisseur et terminé par une volute. Sous l'action du flux de

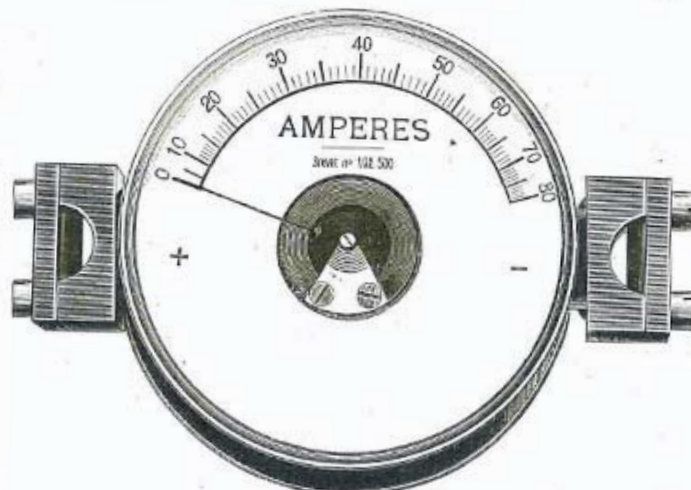


Fig. 1. — Type industriel.

force magnétique créé par le courant traversant le circuit du solénoïde inducteur dans lequel ce système est plongé, la pièce fixe exerce sur le volet mobile une action répulsive qui est équilibrée par une force antagoniste développée par la torsion d'un ressort spiral de montre. Tout l'équipage magnétique est d'ailleurs monté et centré sur crapaudines en pierre fine dans une douille simplement fixée à frottement dur dans l'intérieur du solénoïde. Dans ces conditions l'action électro-magnétique développée peut permettre d'imprimer à la partie mobile une déviation maxima de près de 180 degrés.

Toutefois la présence de la volute en fer dans l'intérieur du solénoïde ayant pour inconvénient, dans le cas où ce type de galvanomètre serait employé à la mesure des courants alternatifs, de donner à ce solénoïde une auto-induction un

pen élevée, MM. Chauvin et Arnoux ont créé un autre type dénommé type demi-précision. Ce type est représenté figure 2.

Le dispositif électro-magnétique adopté pour ce type a permis de réduire son *coefficient d'auto-induction* à une valeur assez faible pour qu'il puisse être utilisé pour la mesure des courants continus ou alternatifs à fréquences comprises en 30 et 100 périodes par seconde.

Ce nouveau type a, comme l'ancien, l'avantage de permet-

tre des lectures exactes dans toutes les positions de l'appareil par suite de l'emploi, comme force antagoniste, de celle développée par la torsion d'un ressort spiral sur un équipage équilibré par rapport à son axe de rotation.

Pour les voltmètres de ce type, le *coefficient de température* a pu être réduit au tiers de la valeur qu'il possède dans les anciens modèles, l'enroulement étant composé, pour les trois quarts de la résistance totale, d'un conducteur à très faible coefficient de température.

Avec les ampèremètres de ce type, MM. Chauvin et Arnoux sont parvenus à mesurer des courants très intenses, ce qui présente de grandes difficultés avec les appareils à fer doux mobile dans un champ magnétique. Dans ce système de galvanomètres en effet, le nombre d'*ampères-tours* du solénoïde inducteur produisant la déviation maxima de la partie mobile, est généralement compris, quelles que soient d'ailleurs les dimensions de l'appareil, entre 250 et 500 ampères-tours, suivant le dispositif magnétique adopté, en sorte que si le courant

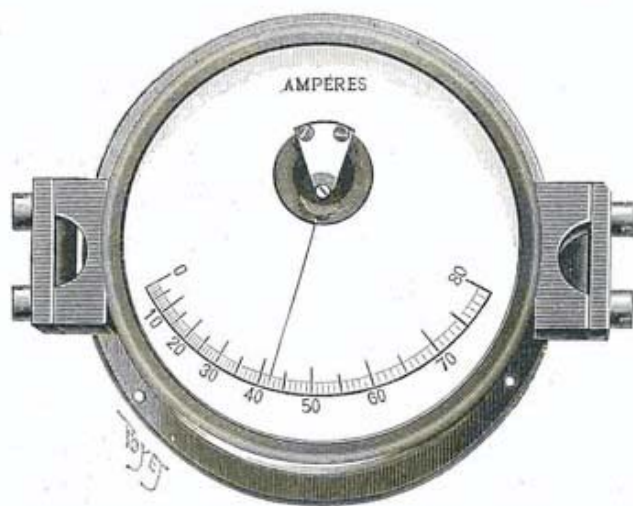


Fig. 2. — Type demi-précision.

devient supérieur à 250 ou 500 ampères, le nombre de tours de l'enroulement doit être inférieur à 1. MM. Chauvin et Arnoux sont parvenus à tourner cette difficulté en employant deux enroulements dont l'action sur l'équipage mobile est *différentielle* et à réaliser ainsi des ampèremètres pouvant mesurer dans les mêmes conditions d'exactitude des intensités de courant de 200 et 3 000 ampères.

Le dispositif à double enroulement différentiel permet également la solution de quelques problèmes intéressants, de réaliser par exemple un voltmètre faisant connaître directement la différence de potentiel existant à l'une des extrémités d'un double câble parcouru par un courant variable d'après les variations de ce courant traversant un des enroulements et le courant traversant l'autre enroulement dus à la différence de potentiel existant à l'autre extrémité du double câble. C'est là une solution qui permet de supprimer les fils pilotes employés dans les distributions sous pression électrique constante.

GALVANOMÈTRES APÉRIODIQUES A SENSIBILITÉ VARIABLE

Les galvanomètres à solénoïde agissant sur une pièce de fer doux ont l'avantage d'être robustes et peu coûteux de construction, mais, par contre, ils ont un nombre de défauts susceptibles de faire rejeter leur emploi dans bien des cas. Ils sont peu sensibles, d'une précision insuffisante, surtout dans le voisinage du zéro de leur échelle, enfin ils ne sont pas apériodiques, et il n'est guère possible de leur donner par des moyens simples une apériodicité suffisante pour permettre des lectures rapides et exactes.

C'est dans le but de remédier à ces différents défauts que MM. Chauvin et Arnoux ont créé un troisième type de *précision, apériodique et à sensibilité variable*. Ce dernier système de galvanomètre, dont la *figure 3* représente un voltmètre et la *figure 4* un ampèremètre relié à un shunt de 1 000 ampères par des cordons souples terminés par des broches coniques, est basé sur le principe d'un cadre galvanométrique mobile dans un champ magnétique produit par un aimant permanent de forme annulaire sans pièces polaires rapportées.

La sensibilité est due à l'emploi d'un champ magnétique très intense dans lequel se déplace le cadre mobile, l'apériodicité au déplacement dans ce même champ magnétique très intense d'un amortisseur *électro-magnétique* entourant

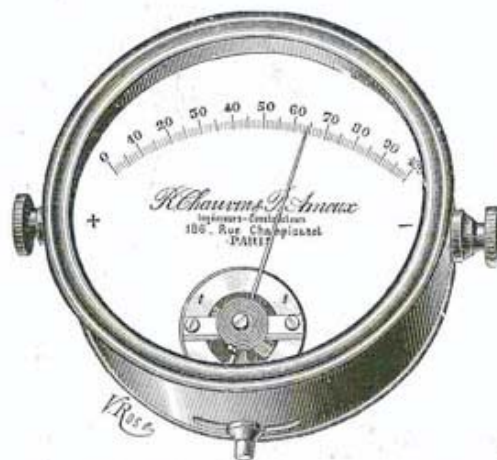


Fig. 3.

le cadre mobile et la précision à une exécution particulièrement soignée et au principe même sur lequel est basé le fonctionnement de ce système de galvanomètre.

La construction de ce dernier type de galvanomètre sur les éléments constituants duquel nous ne reviendrons pas, puisqu'ils ont été décrits plus haut, nécessite évidemment une main-d'œuvre plus coûteuse, des soins plus complexes et un agencement plus compliqué que les types précédents; mais tout cela est racheté par des avantages incontestables, apériodicité de fonctionne-



Fig. 4.

ment de l'appareil, précision de ces indications et une grande sensibilité qui permet à un seul galvanomètre de ce système de remplacer avantageusement plusieurs galvanomètres des systèmes précédents.

Voltmètres apériodiques. — C'est ainsi qu'un voltmètre dont le boîtier a 45 centimètres de diamètre et 5 centimètres d'épaisseur permet d'effectuer toutes les mesures de différences de potentiel comprises entre 0 et 600 volts, avec cinq sensibilités intermédiaires. Un tel voltmètre (fig. 5) peut être disposé pour donner une déviation égale à la totalité de son échelle (150 divisions par exemple), pour 3—15—150—300—600 volts, et remplacer 5 voltmètres des types précédents. Cette marge de sensibilité est due à ce fait qu'un courant de 0,005 ampère traversant l'enroulement du cadre mobile dont la persistance est de 75 ohms en

moyenne suffit pour obtenir une déviation égale à la totalité de son échelle, ce qui correspond à une résistance de $1/0,005$ ou 200 ohms par volt, soit une résistance totale de 120 000 ohms pour mesurer 600 volts. C'est cette persistance de 120 000 ohms presque entièrement constituée par un conducteur à très faible

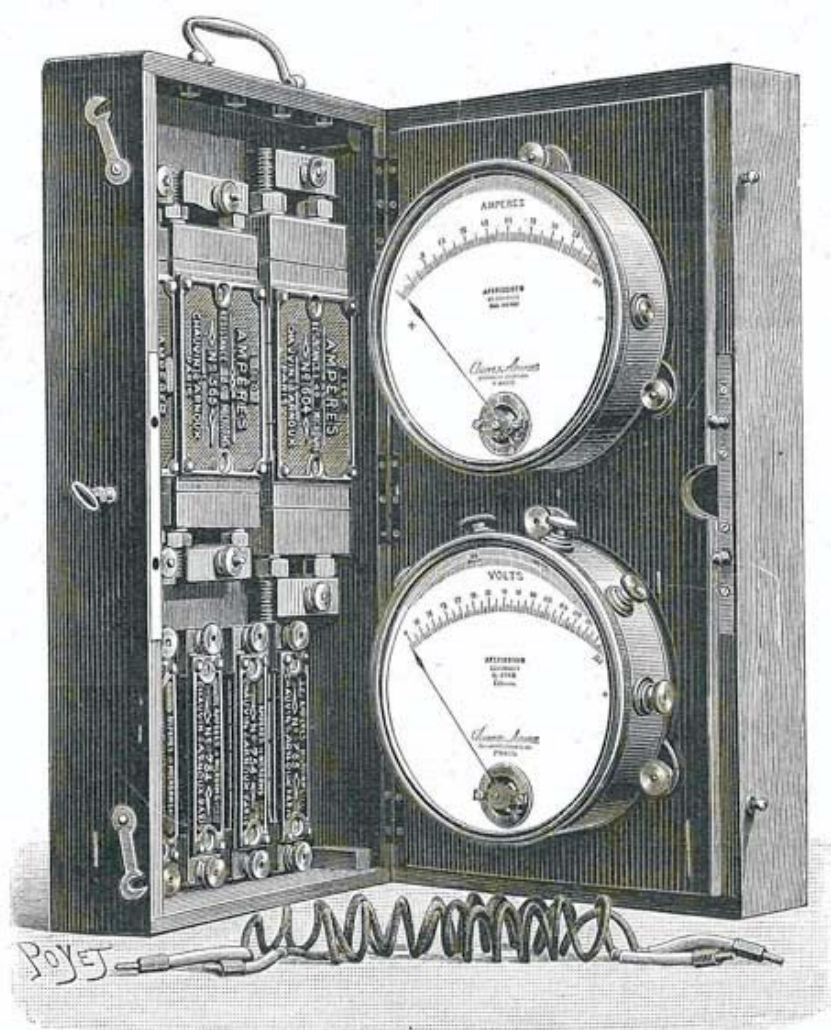


Fig. 5.

coefficient de température (en maillechort, argentan, manganine), qui est divisée en cinq parties proportionnelles aux différences de potentiel à mesurer et reliées aux six bornes visibles sur l'un des galvanomètres représentés dans la figure 5.

Ampèremètres aperiodiques. — La mesure de l'intensité d'un courant à l'aide des galvanomètres de ce système est basée sur leur emploi comme voltmètres pour mesurer la différence de potentiel aux extrémités d'une résistance constante parcourue par ce courant. On sait en effet, d'après la loi d'Ohm, que

cette différence de potentiel est directement proportionnelle à l'intensité du courant lorsque la résistance reste constante, constance qu'il est facile de réaliser en la constituant avec des lames minces d'un alliage à très faible coefficient de température.

Afin que les consommations de courant et les dimensions de ces résistances ou *shunts* n'atteignent pas des valeurs exagérées, ils sont établis pour fonctionner sous des différences de potentiel n'excédant jamais 0,04 et les galvanomètres ont été étudiés pour mesurer des différences de potentiel n'excédant pas cette valeur. MM. Chauvin et Arnoux sont parvenus en outre à rendre ces shunts

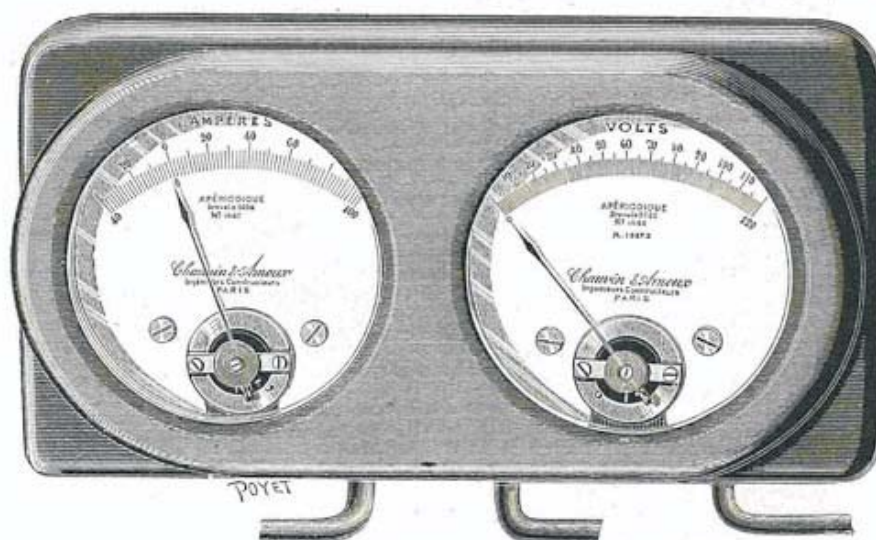


Fig. 6.

rigoureusement interchangeables, non seulement vis-à-vis d'un même ampèremètre, mais vis-à-vis de tous les ampèremètres qu'ils fabriquent sur ce système par une méthode d'étalonnage extrêmement simple qui est la suivante.

Tous les *shunts* de même capacité maxima constituent des résistances étalonnées (au pont double de Thomson) de façon à avoir la même valeur, et cette valeur est égale au quotient de 0,04 volt par le courant maximum (en ampères) que le shunt permet de mesurer.

Tous les ampèremètres de ce système sont également étalonnés (au potentiomètre) de façon à donner une déviation égale au maximum de leur échelle lorsqu'il existe une différence de potentiel de 0,04 volt aux extrémités des cordons souples dont ils sont munis. Dès lors il est facile de voir que si on relie un ampèremètre quelconque à un shunt quelconque, le galvanomètre donnera une déviation égale au maximum de son échelle, lorsque le courant traversant le shunt atteindra la valeur maxima exprimée et poinçonnée en ampères sur sa plaque d'identité.

La figure 4 représente un ampèremètre ayant un boîtier de 10 centimètres de diamètre relié à un shunt de 1000 ampères et de 40 microhms de résistance.

La figure 5 représente une *caisse de contrôle* pour ingénieurs, électriciens, experts, constructeurs, renfermant un ampèremètre avec ses sept shunts interchangeable et un voltmètre à cinq sensibilités. Cette caisse, sorte de laboratoire portatif, remplace avantageusement douze voltmètres et ampèremètres des systèmes précédents. En effet, elle permet de mesurer, à l'aide de ses deux galvanomètres, toutes les différences de potentiel comprises entre 0 et 600 volts avec cinq

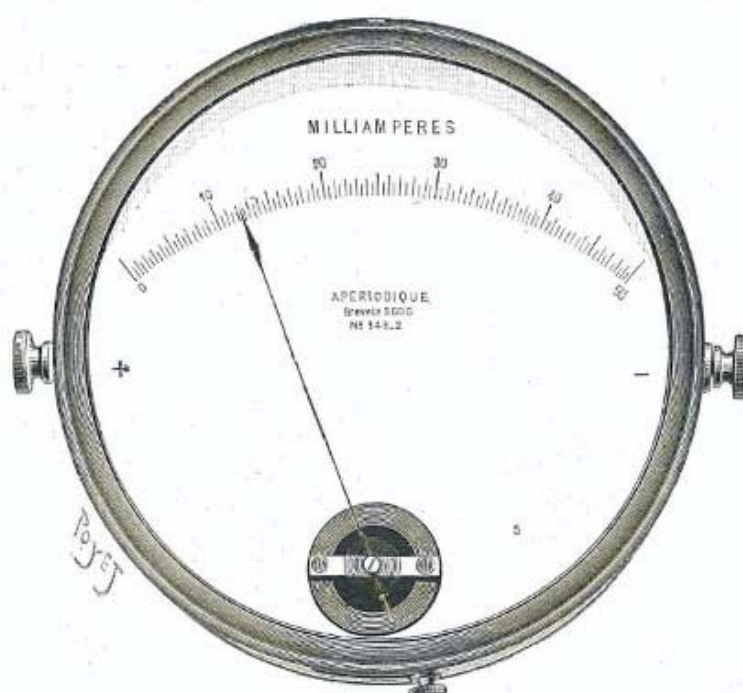


Fig. 7.

sensibilités intermédiaires et toutes les intensités de courant comprises entre 0 et 1000 ampères avec sept sensibilités intermédiaires, ce qui correspond à une capacité de 600 000 watts, soit à une puissance mécanique de plus de 800 chevaux.

La figure 6 représente une caisse rendue parfaitement étanche, renfermant un voltmètre et un ampèremètre apériodiques, employée sur les fiacres ou automobiles électriques et permettant à leur conducteur de contrôler le courant consommé par le système moteur actionnant la voiture. L'apériodicité des appareils présente dans cette application de très grands avantages.

La figure 7 représente un milli-ampèremètre destiné à la mesure des courants de très faible intensité employés en télégraphie et dans les applications *médicales* du courant électrique. Ce modèle, qui est aujourd'hui très répandu, est muni de trois sensibilités commandées par une clé placée à la partie inférieure du boîtier

du galvanomètre. On obtient chacune de ces trois sensibilités suivant que la clé est maintenue dans sa position médiane ou poussée à droite ou à gauche de cette position.

GALVANOMÈTRES ENREGISTREURS A SENSIBILITÉ VARIABLE

Les avantages que possèdent les voltmètres et les ampèremètres apériodiques à cadre mobile dans un champ magnétique ont amenés MM. Chauvin et Arnoux

à étudier sur le même principe des galvanomètres enregistreurs permettant, avec un instrument unique d'effectuer des mesures pouvant varier dans un rapport très étendu.

Les voltmètres enregistreurs peuvent être munis de plusieurs sensibilités très différentes comme les voltmètres apériodiques décrits plus haut,

Les ampèremètres enregistreurs (voir fig. 8) emploient, comme les ampèremètres apériodiques, des shunts interchangeable également, mais la résistance mécanique opposée par la plume inscrivant le diagramme ayant obligé à donner au cadre mobile des dimensions plus grandes, il a fallu donner aux shunts des dimensions plus grandes également. Ces shunts ont des résistances doubles de celles des shunts d'apériodiques. Les méthodes employées pour étalonner ces shunts et les appareils enregistreurs sont d'ailleurs exactement les mêmes que ceux employés pour les galvanomètres apériodiques.

Plume-molette. — Un perfectionnement important, imaginé par MM. Chauvin et Arnoux, et appliqué par eux aux

enregistreurs, consiste dans l'emploi d'une plume-molette, qui n'oppose à son déplacement sur le papier du cylindre suivant les ordonnées au diagramme qu'une résistance huit à dix fois plus faible que celle des plumes ordinairement

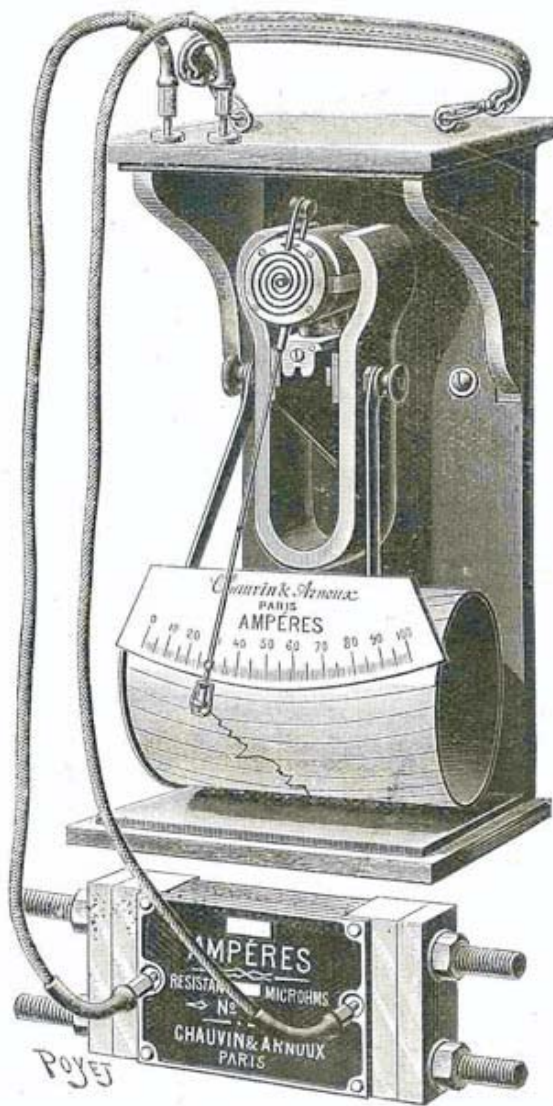


Fig. 8.

employées jusqu'ici. Cette plume-molette trace *par roulement*, et non *par frottement*, un trait délié dans son propre plan, et large dans la direction perpendiculaire, mais cela n'offre aucun inconvénient, l'épaisseur de ce trait conservant une valeur constante.

Mouvement d'horlogerie. — Il y a également lieu de faire une mention spéciale du mouvement d'horlogerie, qui diffère des mouvements ordinairement employés jusqu'ici en ce que l'axe destiné à entraîner le cylindre porte-papier est celui d'un des mobiles du mouvement d'horlogerie compris entre l'échappement et le barillet. Lorsque ce dernier est remonté pour la mise en service, *tous les jeux* des différents engrenages, et en particulier celui qui existe dans la liaison du cylindre avec le mouvement des enregistreurs ordinaires, *sont ratés*.

Dans les mouvements imprimant au cylindre porte-papier une révolution complète en vingt-quatre heures, ce dernier est simplement fixé sur l'axe même du barillet.

La figure 9 représente un de ces mouvements d'horlogerie dépourvu de son enveloppe protectrice, et dont l'échappement ordinaire est remplacé par un disque de métal non magnétique (cuivre ou aluminium) se déplaçant dans un champ magnétique dont on peut faire varier l'intensité en agissant sur une armature facilement visible sur la figure. C'est le déplacement de cette armature qui permet de faire varier la vitesse de rotation du cylindre depuis un tour en cinq minutes jusqu'à un tour en cinq heures. Le tarage en est facilement effectué, à l'aide d'une montre à minuterie.

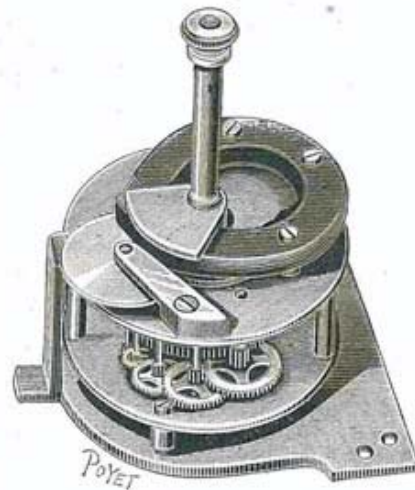


Fig. 9.

Ce mouvement à vitesse variable est particulièrement commode dans les applications des galvanomètres enregistreurs à l'étude de phénomènes variant rapidement.

La fixation de la bande de papier sur le cylindre a également été rendue très commode et très rapide. Les bandes de papier sont *gommées* à une extrémité à la façon des enveloppes de lettres, ce qui permet, par juxtaposition des extrémités, de former un *tube* en papier dont les divisions se succèdent sans solution de continuité pour un tour complet du cylindre. Ce tube de papier peut être très facilement enfilé et tendu sur le cylindre, même avec une seule main, grâce au dispositif suivant : le cylindre est fendu suivant une de ses génératrices, et une des lèvres, ne se trouvant pas soutenue par la platine intérieure, peut, sous la pression de la main, fléchir assez pour être enclenchée par un verrou. Ceci a pour effet de diminuer le développement extérieur du cylindre, qui peut alors

facilement recevoir le tube de papier qui se trouve ensuite parfaitement maintenu et tendu par l'élasticité de la lèvre mobile du cylindre.

Wattmètres enregistreurs à plume-molette. — La très faible résistance qu'oppose à tout déplacement suivant son propre plan cette plume-molette a permis également la création de wattmètres enregistreurs à grande sensibilité, qui ne diffèrent des appareils précédents que par la substitution à l'aimant permanent d'un double cadre galvanométrique parcouru par le courant, le déplacement de la plume devenant alors proportionnel au produit du courant par la différence de potentiel.

MESURE DES PERSISTANCES ÉLECTRIQUES OHMMÈTRES

MM. Chauvin et Arnoux ont créé pour cette mesure deux séries d'appareils portatifs qui diffèrent l'une de l'autre par la rapidité de la précision avec laquelle cette mesure peut être effectuée.

Le premier modèle est un *ohmmètre portatif*, représenté par la figure 10 et

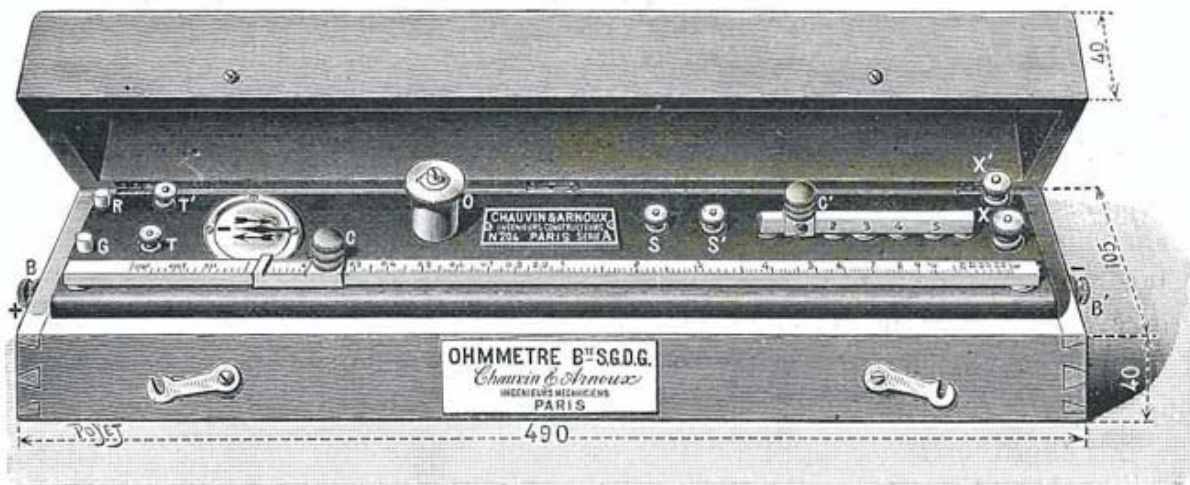


Fig. 10.

basé sur le principe du pont de Wheatstone à branches de proportion variables. Muni d'une boîte à piles de hauteur moitié moindre mais de mêmes longueur et largeur, contenant douze éléments Leclanché à liquide immobilisé fixée sous la caisse de l'ohmmètre à l'aide de barrettes de contact reliées aux bornes B et B', cet ensemble constitue un appareil complet en lui-même et toujours prêt à servir pour la mesure des résistances qu'il suffit de relier aux bornes X et X'.

Les résistances de comparaison sont au nombre de six, ayant respectivement pour valeur 1 — 10 — 100 — 1 000 — 10 000 — 100 000 ohms. L'une de ces résistances et la résistance X constituent l'un des bras du pont. L'autre bras est

constitué par un fil de grande résistivité, homogène, bien calibré et isolé, régulièrement enroulé sur un cylindre isolant. Cette disposition permet de réaliser, sur une longueur de 40 centimètres, une résistance de 2000 ohms en moyenne, comparable aux résistances moyennes que cet ohmmètre permet de mesurer avec le plus de précision. L'étendue des mesures de résistance pouvant être effectuées avec cet instrument est comprise entre les limites extrêmes 0,01 ohm et 20 mégohms. Sur le cylindre-rhéostat, et suivant une de ses génératrices, se déplace un contact commandé par un curseur à index C, susceptible d'être déplacé le long d'une règle divisée sur une longueur exactement égale à celle qu'occupe le fil roulé sur le cylindre. Ce contact, en se déplaçant le long du cylindre rhéostat, permet de faire varier de zéro à l'infini et cela d'une façon pratiquement continue en raison de la finesse du conducteur employé, le rapport de deux résistances a et $(L-a)$, dont la somme L est égale à celle du cylindre entier. C'est afin d'éviter le calcul de ce rapport que la règle divisée porte une graduation faisant connaître directement sa valeur $a : L-a$.

Grâce à cette disposition, une mesure est toujours possible quelle que soit la résistance de comparaison adoptée, mais il est clair que cette mesure est d'autant plus précise que cette dernière diffère moins de la résistance à mesurer. Ceci explique pourquoi l'ohmmètre est muni de six résistances de comparaison. Au lieu d'indiquer leur valeur en ohms on les a simplement numérotées sur la barrette du curseur c' qui les commande 0 — 1 — 2 — 3 — 4 — 5. Ces chiffres indiquent le nombre de rangs dont il faut reculer *vers la droite* la virgule du nombre lu sur l'échelle divisée en face l'index du curseur c . Le galvanomètre o , contenu également dans la caisse de l'ohmmètre, est relié aux curseurs c et c' par l'intermédiaire du bouton de contact G. C'est un galvanomètre *apériodique* très sensible, à cadre mobile dans un champ magnétique, ce qui évite d'avoir à *orienter* l'appareil et rend les mesures toujours possibles même dans le voisinage des machines dynamos. Le cadre mobile est suspendu *élastiquement* entre deux ressorts à boudin, ce qui évite toute chance de rupture des fils de suspension pendant le transport et permet d'obtenir une sensibilité à peu près 300 fois plus grande qu'avec un montage sur pivots toujours susceptibles de s'émausser par les chocs. Le conducteur du cadre mobile étant mis à l'abri de l'action destructive des chocs par suite de son sertissage entre deux bagues de cuivre remplissant en outre le rôle d'amortisseur électro-magnétique, il n'est nécessaire d'observer aucune précaution pour le transport. L'équipage est muni d'une aiguille d'aluminium dont l'extrémité peut se déplacer dans le champ d'une forte loupe entre deux flèches, orientées en sens inverse, tracées sur un cadran à fond blanc. Lorsque l'aiguille du galvanomètre dévie vers l'une de ses flèches, son sens d'orientation indique le sens dans lequel il faut pousser le curseur c pour ramener le galvanomètre à zéro. Les boutons P et G, très accessibles à la main gauche,

permettent de lancer le courant de la pile dans le pont et dans le galvanomètre.

CAISSE PORTATIVE UNIVERSELLE POUR LA MESURE

Des résistances, différences de potentiel et intensités de courant. — La précision des mesures que permet d'effectuer l'ohmmètre précédent étant inférieure à celle qu'on peut obtenir avec les ponts à décades, MM. Chauvin et Arnoux ont créé un autre modèle de caisse pour les mesures de résistances électriques permettant, avec un galvanomètre à réflexion plus sensible, des mesures plus précises mais moins rapides que celles obtenues à l'aide de l'appareil précédent. Cette caisse, permettant en outre la mesure des différences de potentiel et celle des intensités de courant à l'aide de shunts interchangeableables, constitue en quelque sorte un véritable laboratoire portatif représenté par la figure 11. La partie inférieure de la caisse contient un pont de Wheatstone à décades, un pont double de Thomson, différentes clés de contact commandées par des boutons et un *réducteur* de sensibilité pour le galvanomètre. Les résistances en décades, les bras de proportion des deux ponts et le réducteur sont commandés par des curseurs pouvant être déplacés le long de barrettes munies de ressorts de rappel à leurs extrémités.

Le couvercle, qui peut prendre la position verticale indiquée par la figure 11, en venant simplement se reposer par son propre poids sur la poignée servant au transport de la caisse, contient un galvanomètre à cadre mobile et à miroir conforme à la figure 12, une échelle divisée avec support susceptible d'être fixé dans la position indiquée par la figure 11, des cordons souples terminés par des broches coniques et des *shunts* destinés à la mesure des intensités de courant.

Le galvanomètre de cette caisse mérite une mention spéciale parce qu'il présente quelques perfectionnements intéressants sur les modèles similaires antérieurs. C'est un galvanomètre à miroir et à cadre mobile dans un champ magnétique produit par un aimant permanent en acier au tungstène d'Allevard. Le cadre est suspendu *élastiquement* entre deux ressorts à boudin, en fil d'argent méplat, et dont le diamètre a été calculé de façon à pouvoir supporter directement le poids du cadre mobile (1). Ce dispositif, en même temps qu'il permet de donner plus de sensibilité au galvanomètre, met les fils de suspension à l'abri de toute rupture, accident qui se produit si fréquemment dans le transport des appareils à fils de suspension rectilignes. La figure 12 représente un de ces

(1) L'emploi des ressorts dans les galvanomètres à cadre a été préconisé il y a une quinzaine d'années par M. Eric Gérard, directeur de l'institut électro-technique de Liège. Les ressorts à boudin employés par M. E. Gérard donnaient beaucoup de sensibilité, mais comme ils étaient de très grand diamètre, ils ne pouvaient supporter le poids du cadre, ce qui obligeait ce professeur à employer pour cela un fil de cocon très fragile.

galvanomètres fixé par une suspension à la Cardan à une potence qui sert également de support à une échelle divisée. C'est le couvercle de la caisse qui remplace cette potence. Le galvanomètre est fixé par sa suspension à la Cardan à la paroi supérieure de façon à pouvoir se balancer librement dans le couvercle lorsque celui-ci est relevé dans la position indiquée par la figure 11. Ce mode de suspension du galvanomètre à cadre est absolument nécessaire pour lui permettre de conserver son *tarage* effectué une fois pour toutes par les soins des construc-

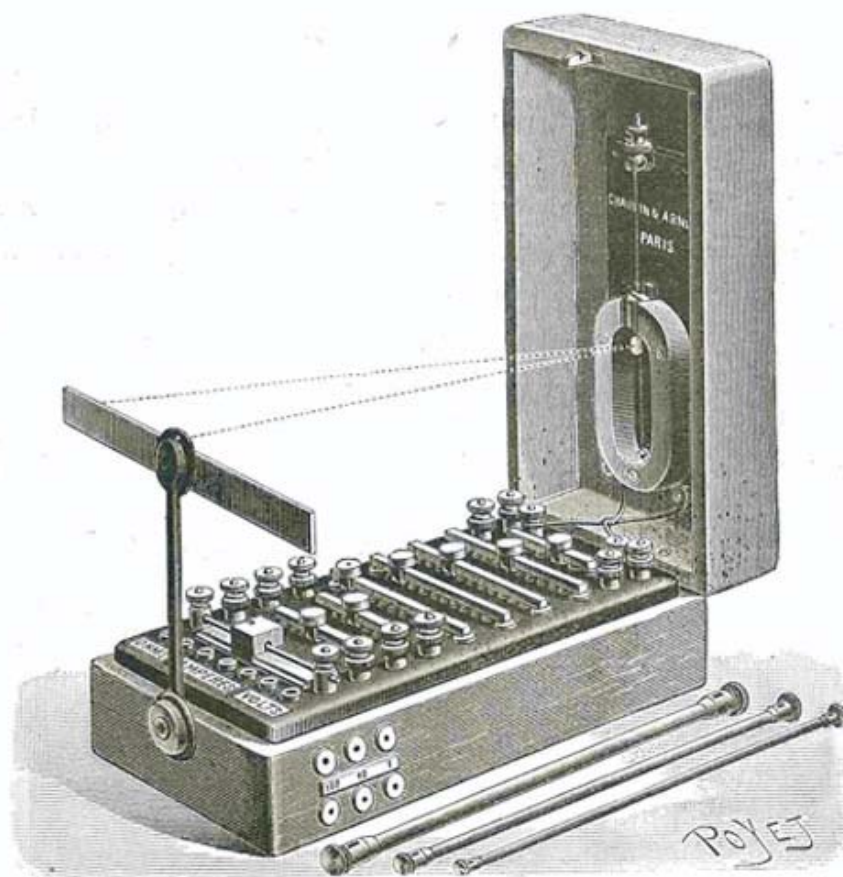


Fig. 11.

teurs. En effet, si le cadre mobile, qui ne peut jamais être centré sur son axe de rotation d'une façon précise lors de sa construction, ne se retrouvait pas constamment replacé dans les mêmes conditions de verticalité grâce à ce mode de suspension, le tarage de l'appareil changerait constamment par suite précisément de ce défaut de centrage.

Pour permettre les pointages sur l'échelle divisée dont est muni le galvanomètre, un trait vertical, c'est-à-dire parallèle à l'axe de rotation du cadre, est ménagé sur l'argenture du miroir. Ce trait, en se détachant sur l'échelle divisée vue par réflexion dans le miroir, détermine avec l'œilleton ménagé dans le support

de l'échelle une ligne de visée très nettement définie. L'échelle placée à 33 centimètres du miroir est divisée sur une longueur de 30 centimètres en 300 divisions proportionnelles à l'intensité du courant traversant le cadre. Dans ces conditions, ce modèle de galvanomètre donne généralement une déviation de 1 division de son échelle pour une intensité de 0,1 micro-ampère, sa résistance intérieure étant d'environ 100 ohms à 15°, cette déviation correspond à 0,00001 volt par division.

La mesure des faibles résistances s'effectue à l'aide d'un pont double de Thomson, comprenant une tige de maillechort sur laquelle peut se déplacer un curseur à contact, une échelle divisée sur métal et deux bras de proportion dont l'un sert également pour le pont à décades. Ce pont double permet la mesure des résistances comprises entre 0,1 microhm et 0,1 ohm.

La mesure des résistances moyennes comprises entre 0,01 et 999 900 ohms s'effectue à l'aide du pont de Wheatstone à décades, toujours en employant le galvanomètre comme appareil de zéro.

La mesure des grandes résistances (résistances d'isolement) comprises entre 10 000 ohms et 100 megohms s'effectue par la méthode des comparaisons successives en utilisant pour cela le galvanomètre avec son *réducteur* de sensibilité, une résistance de comparaison de 100 000 ohms et une source de force électromotrice constante.

Mesure des différences de potentiel. — Cette mesure s'effectue par lecture directe sur l'échelle du galvanomètre, en utilisant ce dernier avec son réducteur de sensibilité et la résistance constante de 100 000 ohms. L'étendue des mesures de différences de potentiel est comprise entre 0 et 300 volts.

Mesure des intensités de courant. — Cette mesure s'effectue également par lecture directe sur l'échelle de proportionnalité du galvanomètre.

Pour les intensités de courant comprises entre 0,000 0001 et 0,3 ampères, on utilise simplement le réducteur de sensibilité du galvanomètre.

Pour les intensités de courant comprises entre 0,01 et 300 ampères, on utilise un des trois shunts interchangeables en le reliant, à l'aide de cordons souples terminés par des broches coniques, aux plots de connection placés sur le côté droit de la caisse. Ces shunts donnent respectivement 0,01 — 0,1 et 1 ampère par division de l'échelle de proportionnalité.

Telles sont les différentes mesures électriques pouvant être effectuées avec ce laboratoire portatif, dont la création a été surtout faite en vue de mettre entre les mains de l'électricien un appareil de vérification de ceux employés dans la pratique industrielle courante.

Le galvanomètre de cette caisse de mesures peut être également utilisé dans des applications diverses. Ses faibles dimensions (260 × 85 × 20 millimètres) le rendent très transportable, même dans la poche d'un vêtement. Avec un cadre

en fil de maillechort ayant 4 à 500 ohms de résistance, ce galvanomètre peut être utilisé pour la mesure des hautes températures (au-dessus de 300° centigrades) à l'aide d'un couple thermo-électrique platine-platine iridié de M. le Chatelier et pour celle des températures inférieures à 300° à l'aide du couple fer-constantan. La figure 12 représente un de ces galvanomètres fixé par sa suspension à la cardan à une applique servant également de support, par l'intermé-

Fig. 14.



Fig. 13.

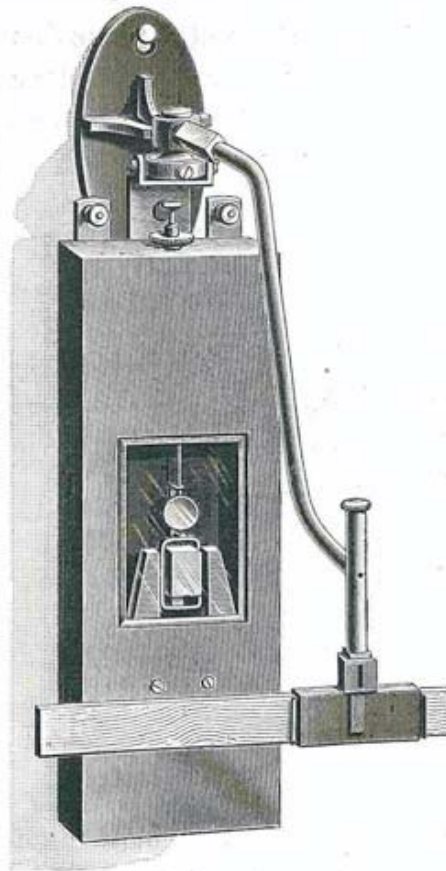


Fig. 12.

diaire d'un col de cygne, à une échelle divisée qui n'a besoin, pour permettre les mesures, que d'être bien éclairée par un moyen quelconque, par exemple en fixant l'applique sur le montant d'une fenêtre.

La figure 13 représente le *réducteur de sensibilité* généralement employé avec ces galvanomètres. Ce réducteur est d'ailleurs basé sur le même principe que celui employé dans la caisse qui vient d'être décrite. Ce réducteur universel (1)

(1) Ce système de réducteur justifie la qualification d'*universel*, en ce qu'il permet de réduire toujours dans les mêmes rapports, déterminés lors de sa construction, la sensibilité de tous les galvanomètres reliés à ses deux bornes extrêmes. Il présente en outre le double avantage de rendre la précision des mesures indépendante des variations de résistance du système de

peut être étalonné avec un galvanomètre de façon à permettre la mesure (en milliampères) de courants de très faible intensité. Employé concurremment avec une caisse de résistance très simple, comme celle de la figure 15, l'ensemble permet la mesure des différences de potentiel.

POTENTIOMÈTRE PORTATIF POUR LA MESURE EN UNITÉS C. G. S. DES FORCES
ÉLECTRO-MOTRICES, INTENSITÉS ET RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES

Dans le but de mettre entre les mains des ingénieurs électriciens, experts, constructeurs, un appareil capable de leur permettre de vérifier avec précision et sur place l'étalonnage des appareils de mesures électriques, MM. Chauvin et Arnoux ont créé le *potentiomètre portatif* représenté par la figure 15.

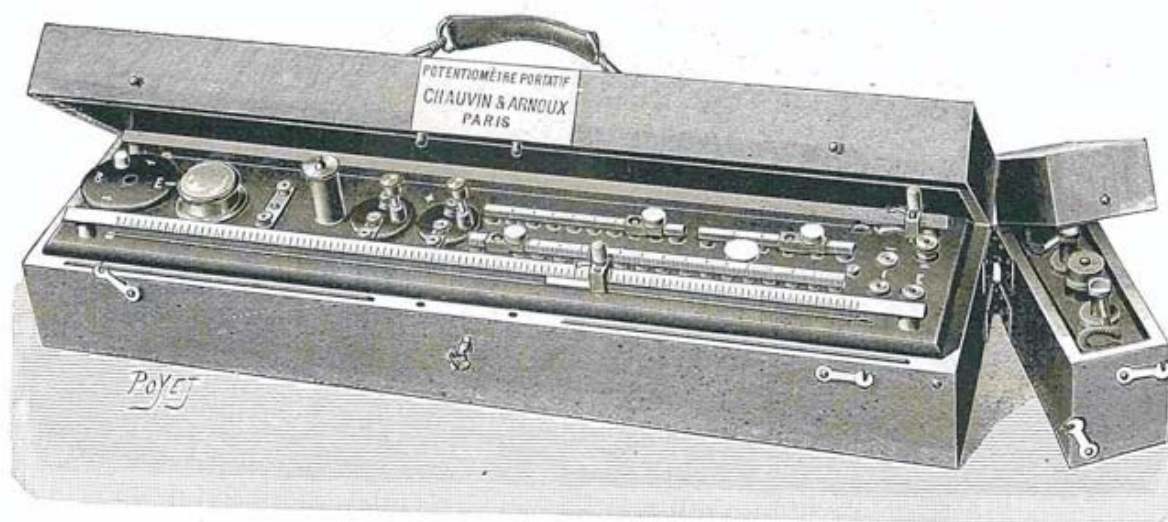


Fig. 15.

Ce potentiomètre permet d'effectuer ou de vérifier avec rapidité et précision l'étalonnage des voltmètres et ampèremètres industriels et accessoirement des résistances électriques.

Toutes les mesures sont basées sur l'emploi comme étalons de résistances de shunts et de résistances établies en ohms légaux et comme étalon de force électromotrice de l'élément Latimer Clark au sulfate mercureux, dont la force électromotrice E exprimée en volts légaux, en fonction de la température t exprimée en degrés centigrades est donnée, d'après les récentes recherches de lord Rayleigh par la relation :

$$E = 1,4342 [1 - 0,00077 (t - 15)] = 1,4508 - 0,001104 t \quad (\alpha)$$

contact commandant les différentes sensibilités, et de ne nécessiter pour l'étalonnage de toutes les sensibilités qu'il permet de donner au galvanomètre, que l'ajustage d'une seule résistance placée en série dans le circuit constitué par le galvanomètre et le réducteur.

La variation de la force électro-motrice de cette pile étalon étant de plus de 0,001 volt par degré centigrade, MM. Chauvin et Arnoux ont muni le modèle qu'ils ont étudié pour leur potentiomètre d'un thermomètre. La figure 16 représente ce modèle avec son thermomètre en verre vert qu'il suffit de sortir un instant de la pile pour connaître sa température à un dixième de degré près. Cette pile est d'ailleurs construite suivant les données adoptées par le Congrès des électriciens tenu à Chicago en 1893.

Ce potentiomètre, dont l'agencement intérieur est à peu près le même que celui de l'ohmmètre de ces constructeurs, comprend :

1° Un fil de grande résistivité bien calibré et homogène (en acier-nickel Guillaume) sur lequel on peut déplacer un contact conduit par un curseur à index, mobile le long d'une règle divisée comportant 1100 divisions;

Cette règle, et c'est là une des parties les plus intéressantes du potentiomètre de MM. Chauvin et Arnoux, porte sur sa face antérieure une échelle *de compensation* en degrés centigrades qui est la traduction sur l'échelle divisée du potentiomètre, de la relation α . A cette échelle, correspond un deuxième index gravé sur l'autre face du curseur, index qu'il suffit, lors du tarage du potentiomètre lui-même, de mettre en regard du nombre de degrés indiqués par le thermomètre de la pile étalon, pour que les différences dues à la température de cet étalon soient corrigées directement sur l'échelle potentiométrique ;

2° Un fil de même matière et de même diamètre que le précédent, divisé en quinze sections, chacune étant de résistance rigoureusement égale à celle du fil divisé sur une longueur correspondant à 1000 divisions de son échelle et reliée à un des plots d'une série commandée par un curseur mobile le long d'une barrette portant en face de chaque plot le numéro d'ordre divisé par 10, de la résistance considérée, dont le fil divisé constitue en quelque sorte le vernier ;

3° Un groupe de sept résistances supplémentaires de même valeur que les précédentes reliées à une seconde série de plots commandée comme la première par un curseur se déplaçant le long d'une barrette ;

4° Un fil rectiligne identique au premier et tendu comme lui sous une règle à curseur. Ce fil, qui sert de vernier-rhéostat aux sections précédentes, est monté comme elles en série avec les sections étalonnées et le fil divisé, et, comme elles, sert de rhéostat pour amener le courant traversant le potentiomètre à la valeur de tarage déterminée par la pile étalon ;

5° Deux éléments étalon Latimer Clark munis chacun d'un thermomètre ;



Fig. 16.

6° Un galvanoscope aperiodique semblable à celui de l'ohmmètre portatif des mêmes constructeurs, dont l'aiguille peut se déplacer dans le champ d'une forte loupe entre deux flèches dirigées en sens inverse, indique d'après le sens de déflexion de l'aiguille le sens dans lequel il faut pousser les différents curseurs pour obtenir l'équilibre du galvanomètre ;

7° Un commutateur à plateau tournant et poussoir bien à portée de la main gauche et permettant de relier au circuit l'étalon n° 1, l'étalon n° 2 et les bornes marquées E et I pour la mesure des forces électro-motrices et des intensités sans avoir à repasser par les contacts précédents ;

8° Deux petites bornes, reliées par une barrette G qu'on peut retirer pour mettre en série avec le galvanoscope du potentiomètre un appareil plus sensible ;

9° Une résistance étalonnée de 100 000 ohms pour la mesure des différences de potentiel supérieures à 1,5 volt. Cette résistance est divisée en trois sections aboutissant à une série de trois plots repérés 1 — 2 — 3 — sur la barrette guidant le curseur qui les commande. Le plot 0 correspondant à l'élimination automatique de toute résistance à l'aide d'un commutateur actionné par le curseur lorsqu'il est poussé sur ce plot 0 permet la mesure de forces électro-motrices inférieures à 1,5 volt, sans qu'il soit nécessaire de leur faire débiter un courant ;

10° Deux bornes + E, — E destinées à relier à la résistance de 100 000 ohms la source dont on veut mesurer la force électro-motrice ;

11° Deux plots + I — I placés également à l'extrémité droite de la table en ébonite du potentiomètre, destinés à relier celui-ci, au moyen de conducteurs souples terminés par des broches coniques, à des shunts convenablement étalonnés et appropriés aux différents courants à mesurer.

Enfin, en dehors du potentiomètre, se trouve un petit accumulateur de 30 ampères-heure de capacité aménagé dans une caisse qui est reliée à celle du potentiomètre par deux charnières doublées de lames d'acier très minces et destinées à relier mécaniquement et électriquement l'accumulateur au potentiomètre. C'est cet accumulateur qui est chargé de fournir à ce dernier le courant de 0,05 ampère qu'il est nécessaire d'avoir très constant pendant toute la durée des mesures.

Toute mesure électrique effectuée à l'aide du potentiomètre comporte le tarage préalable de celui-ci, tarage qui dans le modèle de *MM. Chauvin et Arnoux* s'effectue de la façon suivante :

Après avoir observé la température de l'étalon dont on doit se servir pour le tarage, on pousse le curseur du fil divisé de façon à amener sur l'échelle de compensation, son index, en face du nombre de degrés lus sur le thermomètre de l'étalon, et on pousse le curseur des quinze sections sur la division marquée 1,4. Ceci fait, on amène ensuite le curseur des sept sections supplémentaires sur le plot 1,9 (pour un accumulateur récemment chargé) et le curseur du fil-

rhéostat (curseur qui sert également d'interrupteur dans la position indiquée par la figure) à peu près au milieu de la règle qui lui sert de guide. Le plateau tournant étant amené dans la position correspondant à la mise en service de l'étalon considéré, on agit sur le poussoir de ce plateau pendant un temps juste suffisant pour observer le sens dans lequel dévie l'aiguille du galvanoscope, ce qui détermine le sens dans lequel doivent être poussés les deux derniers curseurs pour obtenir l'équilibre rigoureux du galvanoscope. A ce moment, le potentiomètre se trouve taré de façon que chacune des quinze sections correspond à 0,1 et chacune des 1 000 divisions de la règle potentiométrique correspond à 0,0001 volt.

Pour la mesure de la différence de potentiel fournie par une source électrique il suffit de relier ses bornes à celles (+ E — E) de même polarité du potentiomètre après avoir eu soin de pousser le curseur correspondant sur l'un des plots 3, 2, 1 ou 0 suivant que cette différence de potentiel est inférieure à 1600, 160, 16 ou 1,6 volt. Lorsque l'équilibre du potentiomètre est obtenu ensuite par la manœuvre des curseurs des quinze sections et de la règle divisée, ces chiffres 0, 1, 2 ou 3 font connaître qu'il faut dans le nombre lu sur la barrette des quinze sections et l'échelle divisée, reculer la virgule de 0, 1, 2 ou 3 rangs *vers la droite* pour avoir la valeur *en volts* de la différence de potentiel mesurée.

La mesure des intensités s'effectue en déterminant à l'aide du potentiomètre la valeur *en volts* de la différence de potentiel aux extrémités d'un shunt étalonné *en ohms* et parcouru par le courant à mesurer. Pour cette mesure, la manœuvre du curseur de la règle divisée suffit, car la valeur maxima de la différence de potentiel mise en jeu ne dépasse jamais 0,1 volt. Afin d'éviter tout calcul subséquent, la plaque d'identité de chacun des shunts utilisés par le potentiomètre porte en dehors de la valeur de la capacité maxima, en ampères, du shunt, un chiffre spécial, précédé du signe + ou du signe — qui indique de combien de rangs *vers la droite* ou *vers la gauche* il faut reculer la virgule dans le nombre de *volts* lus sur l'échelle divisée pour avoir *en ampères* la valeur du courant traversant le shunt au moment de l'équilibre du potentiomètre.

Enfin la mesure des résistances électriques peut également être effectuée à l'aide du potentiomètre, par la comparaison des différences de potentiel existant aux extrémités de la résistance X et celles d'un shunt de résistance connue et convenablement choisi placé en série avec cette résistance parcourue par le même courant constant. Le rapport des résistances est, dans ce cas, égal au rapport des différences de potentiel.

Tels sont, parmi les appareils construits par MM. Chauvin et Arnoux, ceux qui nous ont paru plus particulièrement intéressants. On voit que ces appareils constituent une série très complète parmi les appareils de mesures employés aujourd'hui pour l'industrie électrique.