



HAL
open science

Les appareils de mesures électriques à l'exposition. Sections étrangères

H. Armagnat

► **To cite this version:**

H. Armagnat. Les appareils de mesures électriques à l'exposition. Sections étrangères. J. Phys. Theor. Appl., 1901, 10 (1), pp.165-195. 10.1051/jphystap:0190100100016500 . jpa-00240495

HAL Id: jpa-00240495

<https://hal.science/jpa-00240495>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**LES APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES A L'EXPOSITION.
SECTIONS ÉTRANGÈRES;**

Par M. H. ARMAGNAT.

Passer en revue tous les appareils de mesures électriques de l'Exposition serait une tâche longue et fastidieuse; il faut se borner à montrer l'évolution accomplie, les progrès réalisés et les tendances actuelles. Dans ce résumé, il est impossible de citer un grand nombre d'appareils très utiles, fort bien construits, mais déjà connus ou ne présentant pas un caractère assez nouveau. Ce n'est donc pas un jugement que l'on devra chercher dans les lignes qui vont suivre, et on ne devra pas conclure que les appareils qui y sont cités sont supérieurs à ceux dont on ne parle pas.

Galvanomètres. — Les galvanomètres à cadre mobile ont pris aujourd'hui une place prépondérante dans tous les laboratoires; on ne se contente plus de les employer aux mesures courantes, qui exigent de la rapidité et peu de sensibilité; par une progression constante, ils sont arrivés à donner des résultats équivalents à ceux des galvanomètres Thomson. La maison Hartmann et Braun exposait un galvanomètre donnant une déviation de 1 millimètre, sur une échelle placée à 1 mètre, pour un courant de 5×10^{-10} ampères! Il est évident que ce résultat n'est obtenu qu'en augmentant le nombre de tours de fil sur le cadre mobile et en diminuant le couple du fil de suspension, toutes choses qui font qu'à partir d'une certaine sensibilité on a encore avantage à recourir aux galvanomètres à aimants mobiles. Un des grands défauts des galvanomètres à cadre mobile, rendus trop sensibles, réside dans leur amortissement, de telle sorte que, si on doit les employer sur un circuit de faible résistance, la déviation se produit avec une trop grande lenteur, et l'usage en devient réellement peu pratique. Néanmoins, ces galvanomètres ont encore, sur ceux à aimants mobiles, le très grand avantage de n'être pas influencés par les variations magnétiques ambiantes.

C'est pour éliminer les influences magnétiques extérieures que MM. Du Bois et Rubens enveloppent leurs galvanomètres dans une double boîte en acier doux (fig. 1). Ce cuirassement des galvanomètres a été proposé depuis longtemps déjà, sans grand succès:

J. de Phys., 3^e série, t. X. (Mars 1901.)

l'emploi d'une *double* enveloppe en acier deux paraît être la cause dominante de la réussite dans le cas actuel.

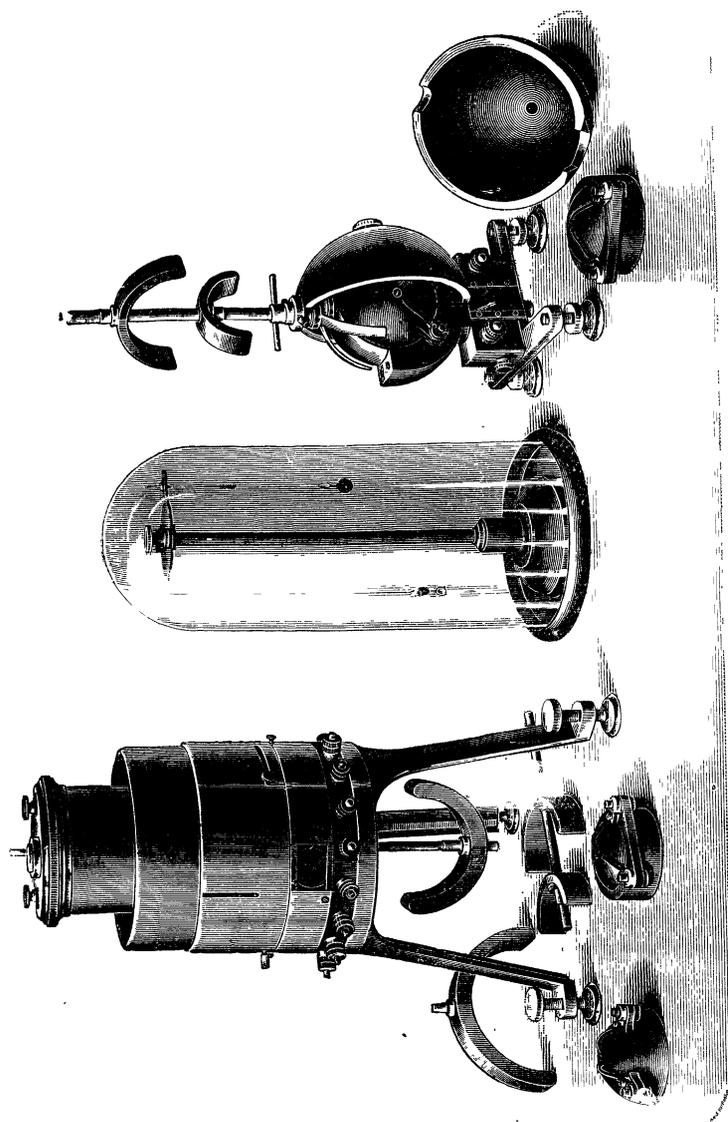


FIG. 1. — Galvanomètres Du Bois et Rubens.

Deux modèles de ce galvanomètre étaient exposés par Siemens et Halske. Dans le plus petit, il y a seulement deux bobines, envelop-

pées chacune dans une carcasse hémisphérique, en acier fondu, comme celle qui est représentée sur la figure, au pied du galvanomètre. Les bobines ont, chacune, 2.000 ohms; mais d'autres bobines, ayant 5 ou 100 ohms, peuvent leur être substituées. Les bobines mises en place sont enveloppées dans une seconde cuirasse, et, dans l'intervalle entre les deux sphères, se loge une paire d'aimants directeurs en arc de cercle; ceux-ci sont manœuvrés à l'aide de deux tiges cylindriques, que l'on voit immédiatement au-dessus de l'enveloppe extérieure; ils peuvent seulement tourner autour de l'axe. Une seconde paire d'aimants directeurs est placée, extérieurement, sur une tige verticale.

Dans le grand modèle, à quatre bobines, les enveloppes de fer sont cylindriques, celle de l'extérieur est mobile dans le sens vertical. Il y a deux paires d'aimants directeurs, une au dessous, l'autre au dessus, toutes deux extérieures aux enveloppes. Comme dans le modèle précédent, les bobines ont 2.000, 100 ou 5 ohms.

Ces galvanomètres sont munis chacun de deux équipages astatiques: l'un, relativement lourd, rappelle celui des galvanomètres Thomson; il sert pour les observations courantes; l'autre, extrêmement léger, composé de très petits aimants, sert pour les expériences délicates. D'après les mesures de MM. Du Bois et Rubens, on obtient, avec ces galvanomètres, les sensibilités suivantes, exprimées sous la forme de la *constante d'Ayrton* :

	Modèle à 2 bobines.	Modèle à 4 bobines.
Équipage lourd.....	80	160
— léger.....	800	1.000

On sait que la constante d'Ayrton représente la déviation en millimètres, que donne un courant de 1 microampère traversant le galvanomètre, lorsque la distance de l'échelle au miroir est de 2 mètres et la durée d'oscillation de cinq secondes. On ramène toujours, par le calcul, les résultats à ceux que donnerait un galvanomètre ayant seulement 1 ohm de résistance.

La même constante appliquée aux observations balistiques, par la substitution du micro-coulomb au micro-ampère et en remplaçant les déviations permanentes par les élongations, donne :

	Modèle à 2 bobines.	Modèle à 4 bobines.
Équipage lourd.....	50	100
— léger.....	500	630

Une disposition assez ingénieuse, présentée par Siemens et Halske, consiste à placer le galvanomètre sur une console accrochée au mur et à mettre l'échelle et la lampe d'éclairage au dessous (fig. 2); un système de miroirs et de prismes permet d'éclairer le

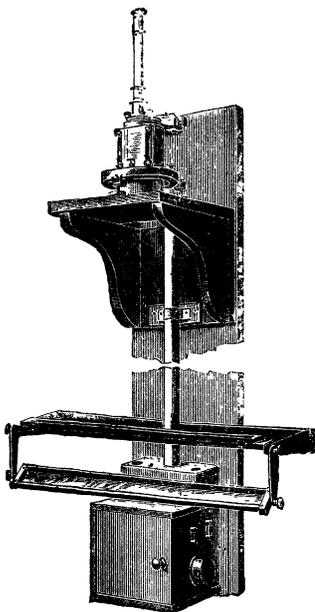


FIG. 2. — Support de galvanomètre.

miroir mobile et de renvoyer l'image réfléchie sur l'échelle. Cet ensemble, monté sur une planchette, peut être placé à une hauteur convenable pour que l'échelle soit en face de l'observateur; on gagne ainsi beaucoup d'espace, et le galvanomètre reste à l'abri des trépidations et des mouvements imprimés à la table sur laquelle on travaille.

Electromètres. — Un électromètre intéressant est exposé par G. Bartels, de Göttingue. Cet appareil, dû à MM. Dolezalek et Nernst, est double, c'est-à-dire qu'il est composé de 2 électromètres à quadrants, superposés l'un à l'autre, dont les aiguilles sont reliées invariablement entre elles. La charge des aiguilles est assurée par un moyen original : l'axe qui les réunit est un tube dans lequel est enfermée une pile sèche, de sorte qu'elles sont toujours chargées à des potentiels dont la différence, $V - V'$, est égale à la force électro-

motrice de la pile. Les deux séries de quadrants étant reliées à la manière ordinaire et mises en communication avec la différence de potentiel à mesurer, on obtient, sans pile de charge extérieure, un électromètre dont la sensibilité est très grande. Bien entendu, cet appareil ne peut être employé avec les courants alternatifs.

La théorie s'établit aisément en partant de la formule de Maxwell. Si nous appelons V_1 et V_2 les potentiels des paires de quadrants, les couples électrostatiques exercés sur chaque aiguille seront :

$$\theta = A (V_1 - V_2) \left(V - \frac{V_1 + V_2}{2} \right), \quad \theta' = A (V_1 - V_2) \left(V' - \frac{V_1 + V_2}{2} \right).$$

et, comme les connexions sont telles que les actions s'ajoutent :

$$\theta + \theta' = A (V_1 - V_2) (V - V');$$

les déviations observées sont donc proportionnelles aux différences de potentiel, $V_1 - V_2$, mesurées.

Avec cet instrument, le professeur Dolezalek a obtenu, à 207 centimètres de distance entre l'échelle et le miroir, une déviation de 35,8 millimètres pour 0,01 volt.

La pile de Dolezalek et Nernst est une sorte d'accumulateur composé d'un grand nombre de couples peroxyde de plomb et étain ; la différence de potentiel $V - V'$ peut atteindre quelques centaines de volts.

La suspension étant faite à l'aide d'un fil de quartz, les aiguilles sont complètement isolées et conservent bien leur charge. L'appareil est complété par des organes destinés à supporter les aiguilles et à les maintenir isolées pendant le transport.

Résistances. — Le fait capital, indiqué par l'Exposition, c'est l'emploi, de plus en plus général, des métaux à coefficient de variation, sinon nul, tout au moins négligeable. Parmi ceux-ci l'alliage appelé manganin ou manganine, composé de manganèse et de cuivre, est un des plus employés. C'est aux travaux persévérants effectués au Reichsanstalt de Berlin, que l'on doit de connaître aujourd'hui les conditions d'emploi de cet alliage, proposé il y a déjà longtemps. L'un des plus gros inconvénients à craindre, la variation de résistance avec le temps, peut être, paraît-il, évité par un chauffage à 180°, pendant dix heures ; ce moyen produit une sorte de *vieillessement* artificiel, qui assure la permanence de la résistance en l'amenant immédiatement au régime stable. Le manganin a un

coefficient de température pratiquement nul et, avantage important, son pouvoir thermo-électrique avec le cuivre est nul ou très faible.

Indépendamment des étalons et des boîtes de résistances, on construit, avec le manganin, des résistances de très faibles valeurs destinées à recevoir des courants très intenses; ces résistances chauffent toujours, et on conçoit très bien l'intérêt d'un métal à coefficient nul. Tous les constructeurs ont montré des étalons de faibles résistances, réalisés avec cet alliage et disposés particulièrement pour la mesure des courants intenses. Néanmoins, afin d'éviter un échauffement exagéré, différentes dispositions connues sont employées : refroidissement par l'air et par l'eau ou bain de liquide. Une disposition intéressante est due à Siemens et Halske : elle consiste à placer la résistance dans une boîte remplie de paraffine. Quand la température s'élève, la paraffine chauffe et fond; mais, grâce à sa chaleur latente, la température ne peut dépasser que très difficilement le point de fusion, ce qui assure la constance de la température; en même temps la résistance est bien isolée.

Potentiomètres. — Comme nouvelles formes de boîtes de résistance, on trouvait surtout des potentiomètres, appareils basés sur la méthode d'opposition de Poggendorff, pour la mesure des différences de potentiel. On sait que, dans cette méthode, on oppose la force électromotrice E , à mesurer, à la différence de potentiel RI , créée aux bornes d'une résistance R par un courant I . Quand $E = RI$, un galvanomètre intercalé dans le circuit reste au zéro. Dans tous les appareils de l'exposition, le principe adopté était celui indiqué pour la première fois par M. Crompton, lequel consiste à intercaler dans le circuit d'une pile auxiliaire constante, de 2 volts environ, une résistance formée de 2 parties R et R' , dont la somme doit rester constante; cette disposition limite la valeur de E à 2 volts; aussi, pour mesurer des valeurs supérieures, il faut avoir recours à d'autres résistances sur lesquelles on ferme la force électromotrice inconnue, de façon à en mesurer seulement une fraction connue. L'étalonnage du potentiomètre se fait en plaçant en dérivation sur R un circuit composé d'un étalon de force électromotrice et un galvanomètre et en donnant à cette résistance R la valeur d'un des multiples décimaux de E , pour éviter les calculs; ensuite on règle R' en observant le galvanomètre. Quand celui-ci est

revenu au zéro, R' est réglé; on doit laisser $R + R'$ constant. En substituant une force électromotrice inconnue, X , à E et en faisant varier R et R' simultanément et en sens inverse, on obtient de nouveau l'équilibre, et la nouvelle valeur de R donne X .

Tous les dispositifs employés ont pour but de donner un moyen simple de faire varier R , par fractions aussi petites que possible, tout en laissant $R + R'$ constant. Le schéma général de tous ces appareils est bien représenté par un fil tendu sur lequel deux curseurs mobiles laissent entre eux une résistance variable de 0 à la résistance totale du fil, sans changer l'intensité du courant. Dans le potentiomètre de Crompton on trouve d'ailleurs le fil; mais, comme il faudrait lui donner une trop grande longueur pour obtenir

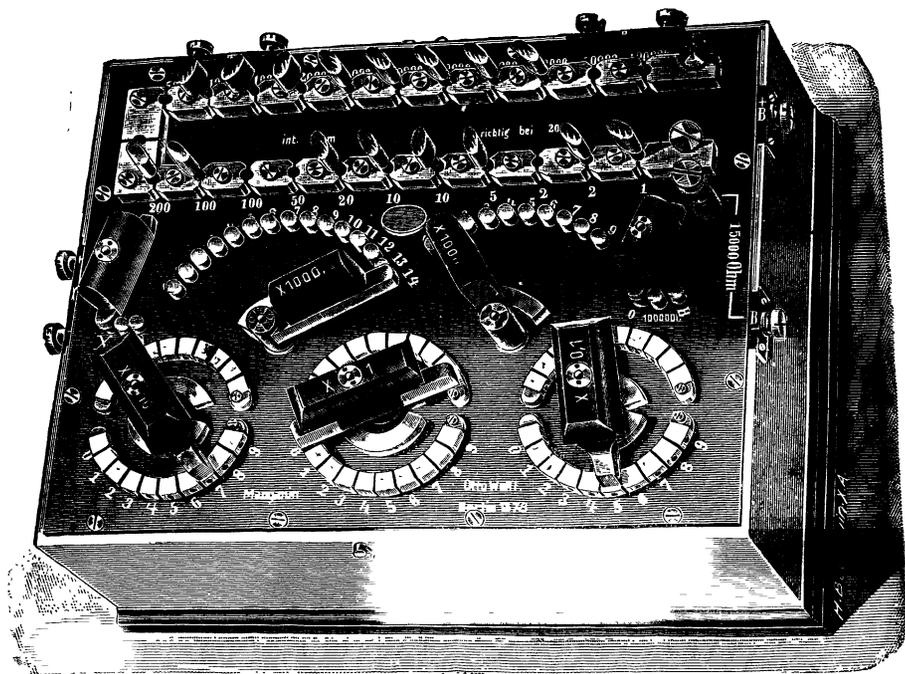


FIG. 3. — Potentiomètre de Wolff.

un fractionnement suffisant, quatorze bobines, chacune de résistance égale à celle du fil, sont placées en série avec lui; l'un des curseurs se meut sur le fil, l'autre sur les plots des bobines. Si on règle le

courant pour que chaque bobine donne une chute de potentiel de 0,1 volt, le fil, qui est divisé en 1.000 parties, permet de mesurer

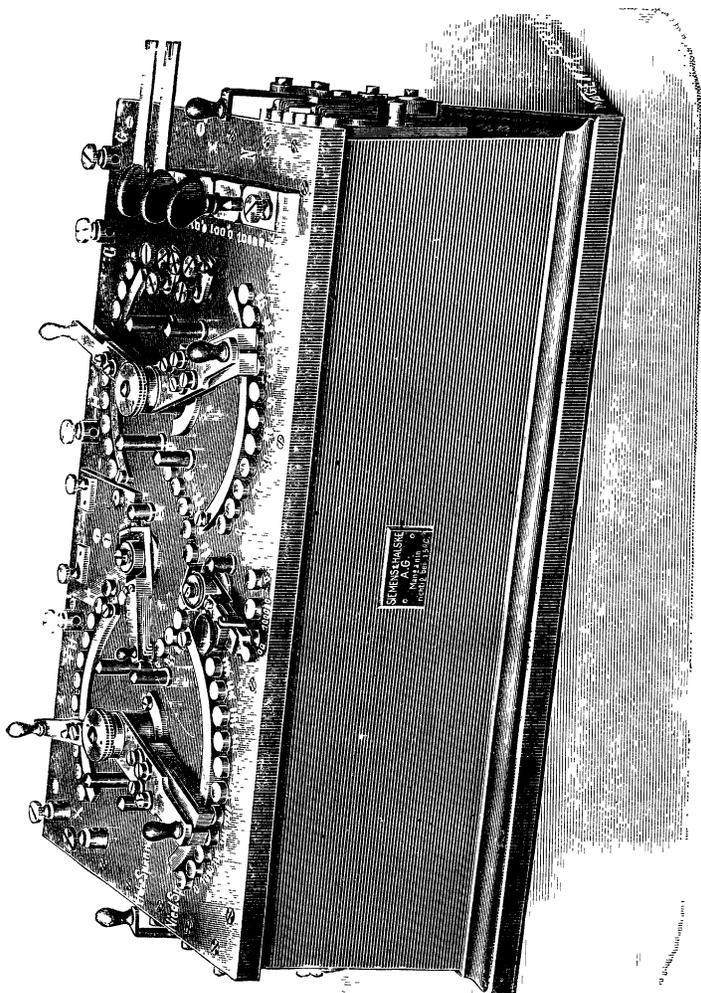


FIG. 4. — Potentiomètre de Siemens.

jusqu'à 10^{-1} volt près ; les quatorze bobines et le fil donnant au maximum 1,5 volt. Des résistances de réglage sont ajoutées sur le socle de l'instrument.

Les potentiomètres allemands, de Wolff et de Siemens et Halske, sont entièrement formés de bobines, et leur résistance totale est très grande, 10.000 ohms par volt, ce qui permet plus facilement d'obtenir la constance du courant.

Dans l'appareil de Wolff (*fig. 3*), deux séries de résistances donnent les dixièmes et les centièmes de volt, les autres fractions sont obtenues à l'aide des trois cadrans du bas de la figure, dans lesquels la manette agit en retirant la résistance dans la partie R, pour la reporter dans la partie R'.

Dans le potentiomètre de Siemens, les dixièmes et les millièmes de volt sont obtenus à l'aide des manivelles doubles du bas, les centièmes et les dix-millièmes à l'aide des manivelles simples du haut; l'ensemble forme comme un double pont de Thomson Varley (*fig. 4*).

Mesures électriques des températures. — L'emploi de la variation de résistance du platine, pour la mesure des températures élevées, a été étudié par Callendar, et la Cambridge Company exposait un thermomètre enregistreur reposant sur cette propriété. L'appareil de Callendar se compose d'un pont de Wheatstone, à bobines et à fil; l'équilibre du galvanomètre est obtenu par le déplacement d'un curseur sur ce fil (*fig. 5*).

Le galvanomètre porte un index formé de deux fils isolés, disposés, à leur extrémité, comme une sorte de fourche, entre les branches de laquelle tourne un petit galet à jante en platine. Quand le galvanomètre est dévié, l'un ou l'autre des fils vient en contact avec le galet et le circuit d'un des électros que l'on voit au-dessus du fil est fermé; cet électro attire son armature et dégage ainsi le mouvement d'horlogerie correspondant, qui, à son tour, commande un treuil sur lequel s'enroule un fil sans fin, et celui-ci entraîne le curseur. Quand le déplacement du curseur a rétabli l'équilibre des résistances, le galvanomètre revient au zéro, l'électro abandonne son armature, et le rouage est immobilisé. Grâce à cet emploi du galvanomètre comme relais, on peut obtenir, avec les forces minimales dont on dispose dans un appareil sensible, un enregistrement très facile. La plume de l'enregistreur est solidaire du curseur et se déplace avec lui.

Le galet de contact est un des points importants de l'appareil; s'il était immobile, il serait impossible d'obtenir un bon contact sans employer une pression considérable, ce qui réduirait la sensibilité et amènerait souvent des collages; mais, grâce au mouvement du

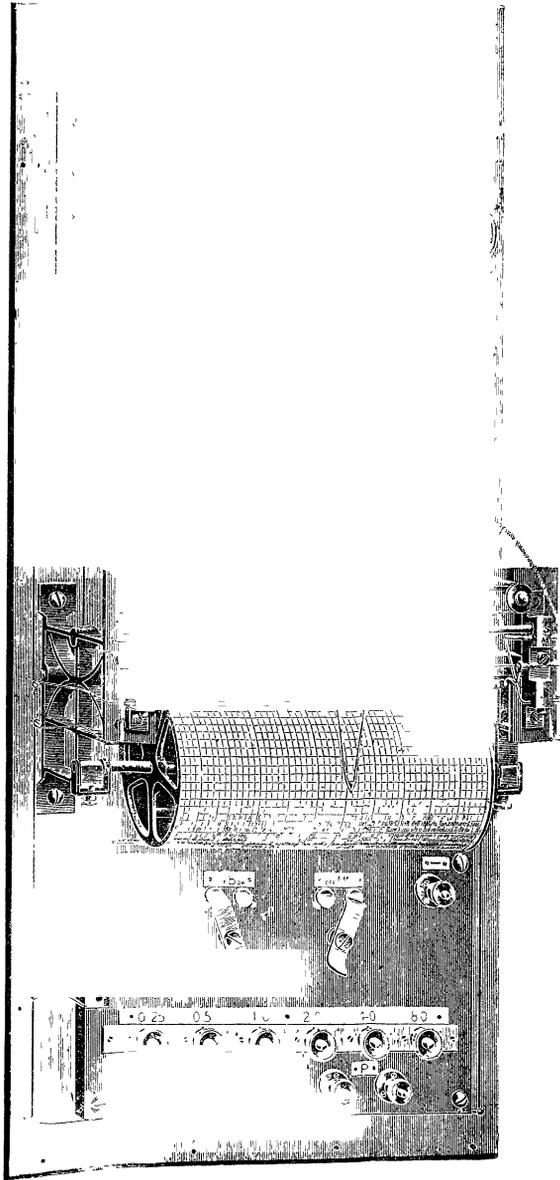


Fig. 5. — Thermomètre électrique enregistreur de Callendar.

galet, ces collages sont évités et, de plus, la surface de contact est toujours propre et lisse, car le galet passe entre deux balais frotteurs qui le décapent constamment.

Appareils magnétiques. — La mesure de la perméabilité du fer employé dans la construction des dynamos est une opération qui commence à s'effectuer, d'une façon assez courante, dans certains ateliers; des appareils spéciaux ont été construits pour rendre cette mesure pratique et industrielle.

Dans tous ces appareils on forme, avec le fer à essayer, un barreau, de section et de longueur déterminées, que l'on place dans une bobine magnétisante. Le circuit magnétique est complété par de grosses pièces de fer qui réduisent la reluctance. La mesure de l'induction magnétique \mathfrak{B} , à laquelle est soumis l'échantillon, se fait en mesurant le champ magnétique dans un entrefer, ménagé dans ce but, en un point, convenablement choisi, du circuit magnétique. Le champ magnétique \mathfrak{H} se détermine, d'après l'intensité de courant envoyé dans la bobine, par la formule connue :

$$\mathfrak{H} = \frac{4\pi NI}{l},$$

mais il faut faire subir à la valeur calculée une correction, déterminée empiriquement, pour tenir compte de la reluctance constante de l'entrefer et de la reluctance variable des pièces de fer qui complètent le circuit magnétique.

Dans l'appareil de Bruger, construit par Hartmann et Braun (*fig. 6*), le bloc de fer, presque rectangulaire, reçoit la bobine magnétisante et l'échantillon dans son centre. L'échantillon est composé de deux parties, laissant entre elles un petit entrefer dans lequel on loge une spirale de bismuth; la variation de résistance de cette spirale donne la valeur du champ magnétique. L'appareil est complété par un pont de Wheatstone à fil, gradué directement en valeurs de \mathfrak{B} , au lieu de l'être en ohms. Un galvanomètre sensible, pour le pont, et un ampèremètre, pour le courant magnétisant, sont également placés sur le socle, avec les commutateurs nécessaires.

Dans l'appareil de Koepsel — Siemens et Halske — l'échantillon est d'un seul morceau; le bloc de fer a la forme d'un demi-anneau, de grande section, coupé, suivant un diamètre perpendiculaire à l'échantillon, par un entrefer dans lequel se meut un cadre mobile. C'est, en un mot, un galvanomètre Deprez d'Arsonval, dans lequel

le champ est produit par l'aimantation du fer essayé. Un courant constant, envoyé dans le cadre, le fait dévier proportionnellement au

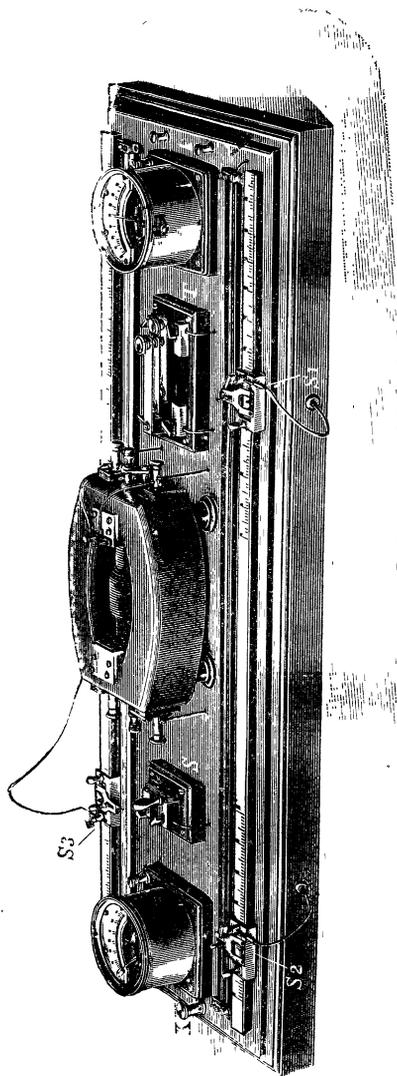


Fig. 6. — Appareil de Brugger.

champ et, par conséquent, proportionnellement à la valeur cherchée de \mathfrak{B} . L'appareil comprend le perméamètre proprement dit, ren-

fermé dans une boîte cylindrique que l'on voit en avant de la *fig. 7*, et deux rhéostats, un pour le courant magnétisant, l'autre pour

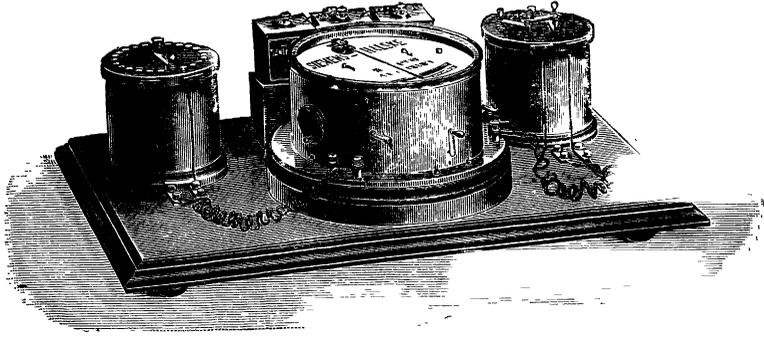


FIG. 7. — Permean.ètre de Köpsel.

amener le courant fourni au cadre mobile par trois piles sèches à une valeur déterminée. Il faut ajouter, extérieurement, des accumulateurs et un ampèremètre pour le courant magnétisant.

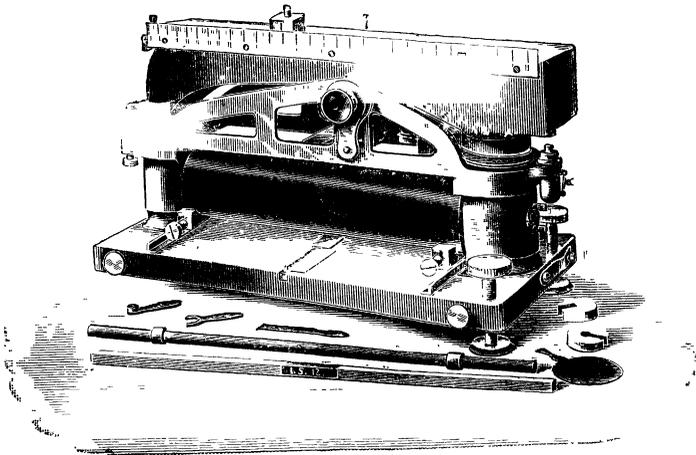


FIG. 8. — Balance magnétique de Du Bois.

Dans la balance magnétique de Du Bois (*fig. 8*), il y a deux entre-fers, ménagés entre les pièces polaires placées à chaque bout du barreau d'essai et un fléau en acier doux de grande section. Quand la

bobine magnétisante aimante le barreau, les pièces polaires exercent des forces égales sur le fléau; mais, comme celui-ci oscille sur un couteau placé au tiers environ de sa longueur, les moments des forces sont inégaux et le fléau tend à s'incliner du côté du plus grand bras de levier; on s'oppose à ce mouvement en déplaçant deux contrepoids mobiles le long du fléau; la position de ces contrepoids indique la grandeur de la force attractive exercée, et celle-ci est proportionnelle à \mathfrak{B}^2 .

Oscillographe. — La Cambridge Company exposait l'oscillographe de M. Duddell, appareil destiné à montrer et à photographier la courbe d'un courant périodique quelconque. Basé sur un principe indiqué, dès 1893, par M. Blondel, mais non réalisé par lui, l'oscillographe Duddell, proprement dit, se compose de deux fils ou rubans très fins, placés verticalement, très près l'un de l'autre, dans l'étroit entrefer d'un électro-aimant. Le champ est très intense et lorsque le courant parcourt les fils, montant dans l'un et descendant dans l'autre, il tend à les pousser un en avant, l'autre en arrière, de sorte qu'un miroir collé sur le milieu des deux fils est dévié proportionnellement au courant.

Les deux fils forment, en réalité, les deux brins d'un ruban de bronze phosphoreux de $0,17\bar{5} \times 0,007\bar{5}$ millimètre. Ce ruban passe sur une poulie en ivoire, et les brins retombants sont ramenés à côté l'un de l'autre et attachés à des points fixes. Pour que le système ait une durée d'oscillation très courte, ce qui est une condition absolue pour les oscillographes, une tension énergétique est exercée sur le fil à l'aide d'un peson que l'on voit à la partie supérieure de la *fig.* 9; on obtient ainsi une durée d'oscillation de 10^{-4} seconde environ.

Pour obtenir l'amortissement des oscillations, autre condition indispensable, la partie inférieure des fils et le miroir sont enfermés dans une boîte très étroite formée par les pièces polaires sur les côtés, une cloison en arrière et une lentille en avant; cette boîte est remplie d'huile épaisse.

L'appareil de la *fig.* 9 est double, pour obtenir à la fois la courbe des ampères et celle des volts; la tension est donnée par un seul peson qui agit sur les deux bifilaires. L'électro annulaire qui produit le champ est composé de bobines séparées que l'on peut grouper, à volonté, en série ou en dérivation, selon la source de courant continu dont on dispose. Les quatre tubes que l'on voit

au-dessous des pôles renferment des fils fusibles destinés à protéger l'appareil.

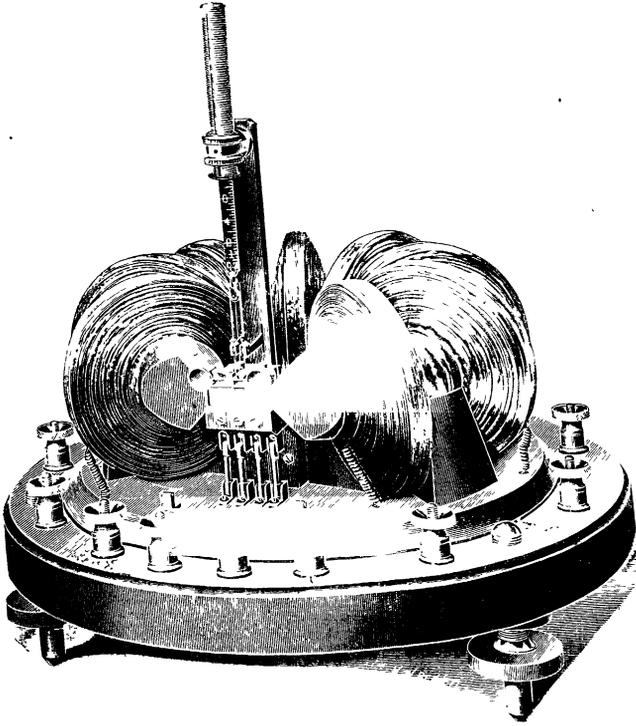


FIG. 9. — Oscillographe Duddell.

Lorsqu'un courant périodique parcourt le bifilaire, le miroir, sur lequel on fait tomber un pinceau de rayons lumineux, donne sur un écran, placé en face, un trait horizontal ; mais, au moyen d'un moteur synchrone, on donne au rayon réfléchi une oscillation verticale, ce qui décompose le mouvement du miroir et trace sur l'écran la courbe $I = f(t)$.

Le moteur synchrone est très simple (fig. 10) : il se compose d'une armature tournante formée de quatre tiges de fer doux qui sont attirées successivement par les électros, une à chaque phase, de sorte que l'armature fait un tour pour deux périodes complètes du courant à étudier. Sur l'arbre de l'armature se trouve une came, qui

imprime au miroir incliné un mouvement proportionnel au temps. Le retour du miroir à sa position initiale se fait à chaque tour en un temps très court, pendant lequel un écran vient intercepter le rayon

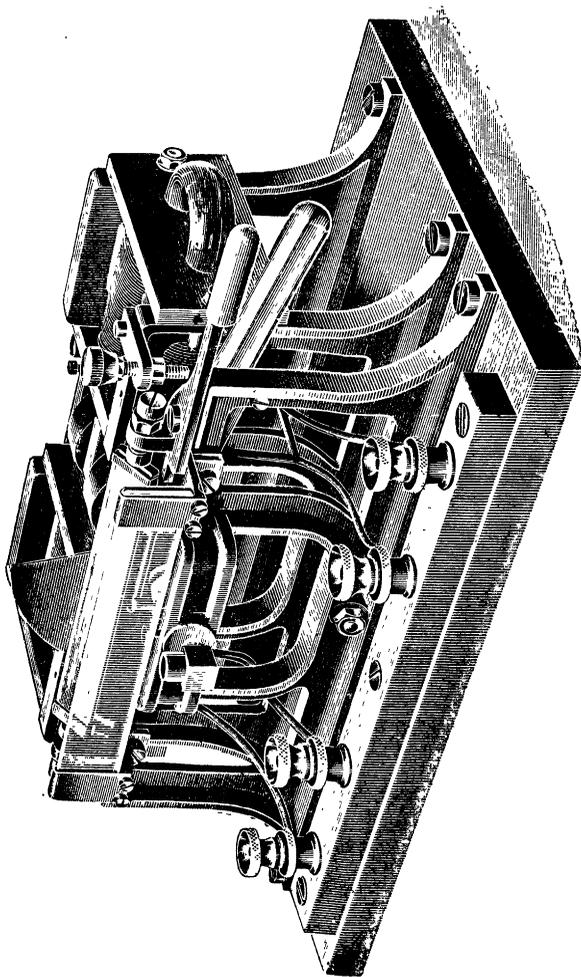


Fig. 40. — Moteur synchrone de l'oscillographe.

incident, de façon à éviter la superposition d'images de sens inverse.

L'installation complète se voit sur la *fig. 11* : une source lumineuse éclaire le miroir de l'oscillographe, et le rayon réfléchi, animé

d'un mouvement horizontal, tombe sur le miroir incliné, qui le réflé-

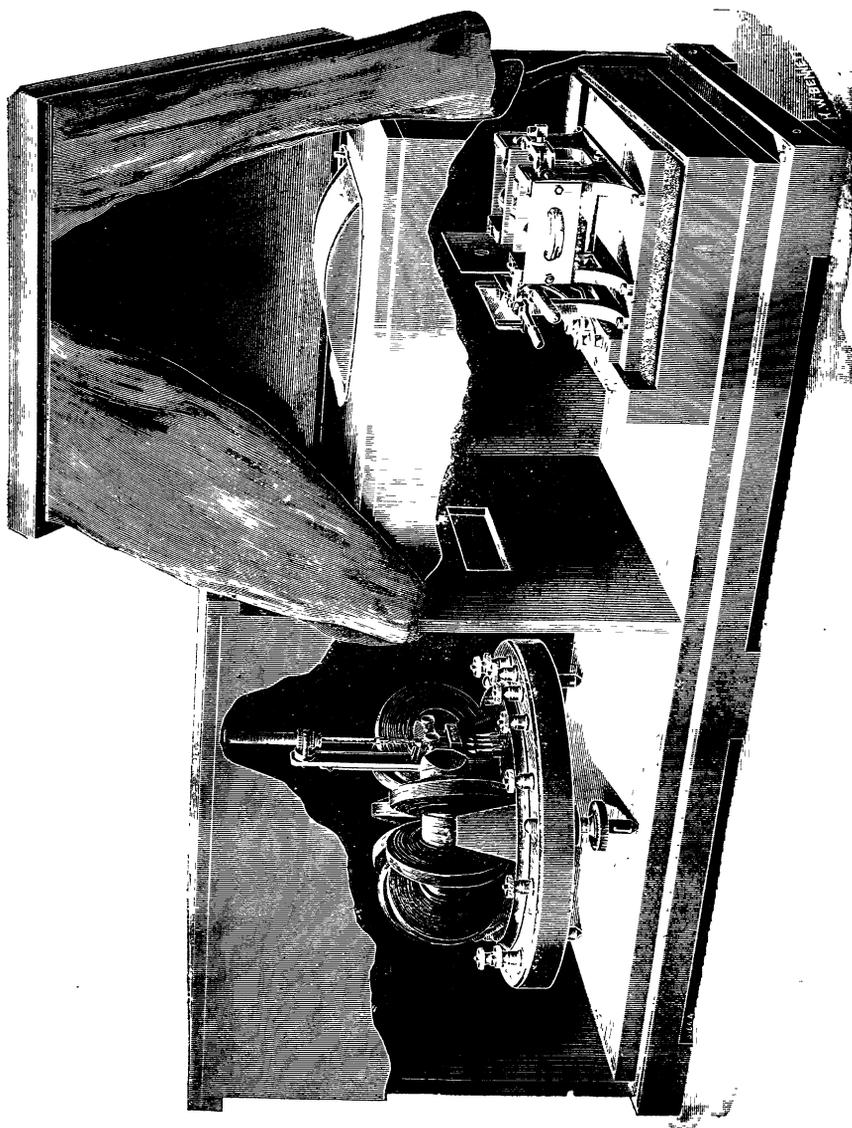


FIG. 11. — Installation de l'oscillographe.

chit à nouveau et l'envoie sur l'écran courbé.

J. de Phys., 3^e série, t. X. (Mars 1901.)

Ampèremètres et voltmètres pour courant continu. — L'appareil le plus employé à l'heure actuelle est le galvanomètre à cadre mobile, sous des formes très variées, mais rappelant toutes les appareils de Weston ; on sait, en effet, que c'est ce constructeur qui a, le premier, mis sur le marché des appareils industriels à cadre mobile monté sur des pivots. Le modèle est aujourd'hui trop connu pour insister.

Dans cette catégorie d'instruments, il y a à signaler deux galva-

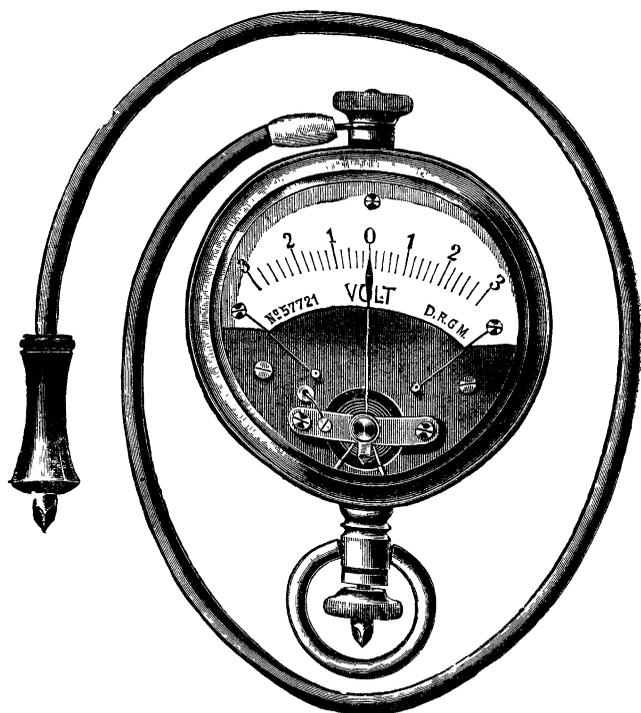


FIG. 12. — Voltmètre montre.

nomètres intéressants ; l'un d'eux, construit par Hartmann et Braun, est certainement le plus petit galvanomètre à cadre mobile réalisé industriellement. De la grandeur d'une grosse montre, il renferme un cadre mobile de 5 millimètres de côté environ, monté sur pivots et muni de très petits ressorts spiraux (*fig. 12*). Cet appareil est plus particulièrement destiné à la vérification des accumulateurs.

Le galvanomètre à cadre mobile de lord Kelvin, construit par

J. White, a cette particularité que le cadre, dont l'axe est horizontal, est entièrement suspendu par les ressorts spiraux qui le dirigent et lui amènent le courant; il n'y a pas de pivots, ce qui évite les frottements.

Les galvanomètres à cadre mobile ne supportent que de très faibles courants; aussi est-on obligé de les shunter par de très faibles résistances pour la mesure des grandes intensités; ceci est un inconvénient, au point de vue de la précision, mais un grand avantage pour la pratique, car cela permet de placer le shunt dans l'endroit du circuit le plus commode, l'appareil lui-même pouvant être placé à distance et le même galvanomètre pouvant servir pour plusieurs shunts.

Les shunts employés dans ce cas sont constitués par des lames de maillechort ou d'alliage à coefficient nul, disposées de façon à offrir une grande surface de refroidissement. Dans les shunts de Hartmann, (*fig. 13*), les lames sont embouties afin de leur donner de la rigidité.

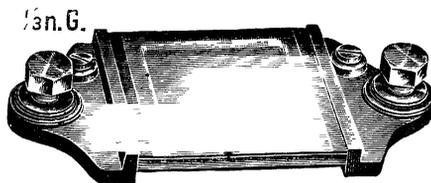


FIG. 13. — Shunt.

La Société Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft — A. E. G. — exposait un shunt pour 8.000 ampères; il serait aussi facile d'en faire un pour une intensité dix fois plus grande. Ces shunts ont, en général, une résistance telle qu'ils absorbent environ 0,1 volt.

Ampèremètres et voltmètres pour courant alternatif. — Les appareils simples de Siemens et Halske se composent d'un solénoïde vertical, au-dessus duquel une came en fer doux est portée par un axe horizontal, muni d'un index et d'un contrepoids; l'attraction exercée par le solénoïde tend à faire tourner la came, ce qui fait dévier l'index. Le point intéressant de cet appareil, c'est que l'amortissement est obtenu à l'aide d'un petit piston, solidaire de l'axe, qui entre, sans frottement, dans un cylindre courbé; la résistance de l'air produit un amortissement très suffisant. Nous retrouverons cet amortisseur dans le wattmètre de la même maison.

Dans l'*ampère gauge* de lord Kelvin, un solénoïde attire une tige de fer verticale, portée par un bras solidaire de l'index ; le système oscille sur des couteaux. L'amortissement est obtenu en faisant plonger un petit disque dans un vase rempli de glycérine. Cet appareil est déjà ancien ; les nouveaux modèles ont un solénoïde composé de tubes concentriques découpés en hélice.

Le voltmètre multicellulaire de lord Kelvin, pour voltages élevés (fig. 14), présente une disposition curieuse destinée à limiter

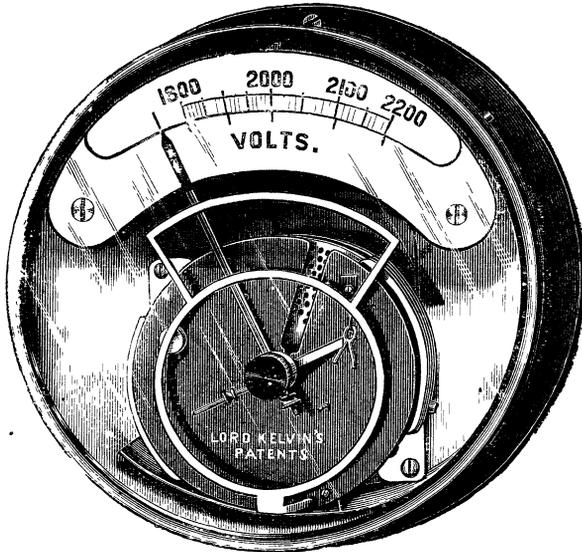


FIG. 14. — Electromètre multicellulaire.

l'échelle à la partie utile ; on sait que les voltmètres sont souvent employés dans des installations à voltage constant, de sorte que l'on n'a à observer que de faibles variations en dehors du régime. Dans cet appareil, l'axe horizontal repose sur des couteaux, et la force antagoniste est la pesanteur. Un contrepoids, fixé à gauche de l'axe, est équilibré par le petit cavalier que l'on voit à droite, de sorte qu'au zéro l'appareil n'est soumis qu'à une force directrice très faible ; mais, dès qu'une différence de potentiel existe entre les armatures, la partie mobile tourne, et le cavalier vient, presque aussitôt, reposer sur un support fixe ; il faut alors que la force électrostatique augmente beaucoup pour vaincre l'excès de la force antagoniste, et

la déviation ne continue à se produire que quand on approche du régime. Par ce moyen, on réduit le nombre de divisions de l'échelle et on augmente leur amplitude, ce qui facilite beaucoup les observations.

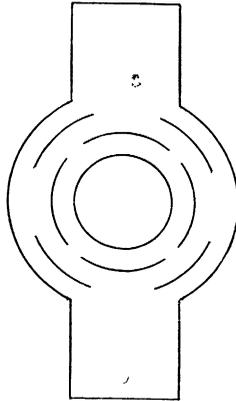


FIG. 15. — Wattmètre Siemens.

Le volt-ampèremètre Elliott, le wattmètre Weston et les électrodynamomètres Siemens, à lecture directe, sont des appareils qui, comme les précédents, peuvent servir sur courant continu ou sur courant alternatif. Ce sont des électrodynamomètres, dans lesquels un cadre mobile, porté par des pivots, est placé au centre d'une bobine fixe dans laquelle il peut dévier. Un index permet de lire cette déviation sur un cadran divisé ; ce sont, si l'on veut, des galvanomètres Deprez d'Arsonval, dans lesquels le champ magnétique fixe est produit par un solénoïde, au lieu de l'être par un aimant permanent ; grâce à cette substitution, il est possible de les employer avec le courant alternatif.

Dans le wattmètre de Weston, la bobine fixe reçoit le courant total et la bobine mobile est placée en dérivation sur le circuit ; elle agit comme bobine des volts ; c'est le dispositif connu de tous les électrodynamomètres employés comme wattmètres. L'amortissement des oscillations est obtenu en produisant un léger frottement sur l'index, à l'aide d'un arc de cercle commandé par une manette ; bien entendu ce frottement n'est que temporaire.

Dans le volt-ampèremètre Elliott, les deux bobines, fixe et mobile,

sont enroulées en fil fin ; elles sont montées en série et constituent un milliampèremètre. Pour la mesure des intensités, on emploie des shunts de faible résistance. Pour la mesure des voltages ordinaires, on fait usage de résistances, montées en série avec l'appareil, et enfin, pour les voltages supérieurs à 100 volts, on emploie un transformateur réducteur de tension.

Les électrodynamomètres à lecture directe de Siemens diffèrent du modèle classique : ce sont des appareils portatifs dans lesquels la déviation du cadre mobile donne la valeur du courant ; ils sont munis de l'amortisseur à air déjà signalé. Le wattmètre de cette série est intéressant, à cause de la forme donnée à la bobine fixe. On sait que la force électrodynamique exercée par un champ uniforme sur une bobine mobile est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle au cosinus de l'angle que fait le plan des spires avec la direction du champ ; quand celui-ci est parallèle, la déviation du cadre mobile n'est pas proportionnelle au produit des intensités du courant dans les deux cadres. Pour corriger cet effet, la bobine fixe est rectangulaire et les deux côtés perpendiculaires à l'axe de rotation du cadre mobile sont découpés en cercle (*fig. 15*), avec des fentes destinées à forcer le courant à suivre la circonférence. Cette disposition fait que le champ produit par la bobine fixe est divergent, et le cadre mobile coupe les lignes de force normalement.

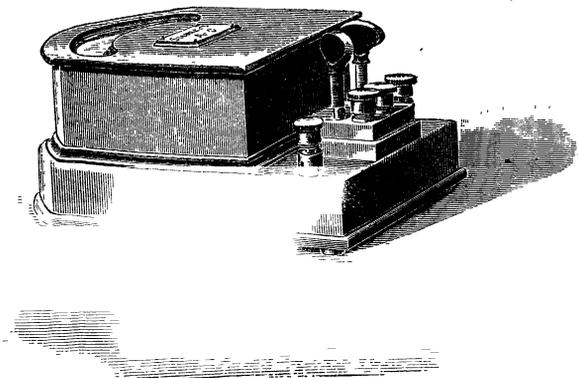


FIG. 16. — Wattmètre de précision Siemens.

Le même résultat que ci-dessus est obtenu, dans les électrodynamomètres de l'A. E. G., en enfermant la bobine fixe dans l'évide-

dement d'un faisceau de tôle (*fig. 17*). L'ouverture a une forme cylindrique qui produit également la divergence des lignes de force. Cette solution a l'inconvénient d'introduire du fer dans l'appareil. L'amortissement est obtenu par l'action de deux aimants sur un disque d'aluminium; la présence de ces aimants fait que l'appareil ne peut pas servir avec le courant continu.

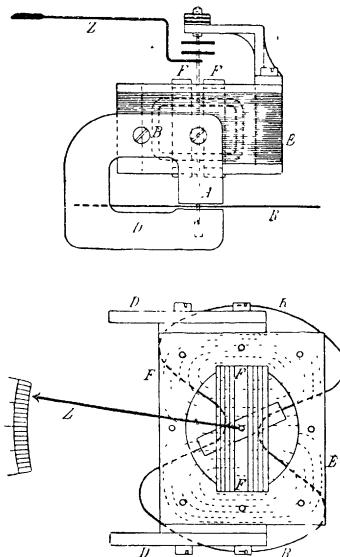


FIG. 17. — Wattmètre A. E. G.

D'autres appareils ne peuvent servir que sur courants alternatifs; de ce nombre sont les galvanomètres à induction. On connaît le principe de ces appareils : un électro parcouru par le courant à mesurer, induit des courants dans un disque ou un tambour en métal bon conducteur, susceptible de tourner autour de son centre; si tout est symétrique dans l'appareil, il ne se produit aucun déplacement du disque; mais si, par un moyen quelconque, par exemple, à l'aide d'un écran conducteur fixe, placé en partie entre l'électro et le disque, on crée une dissymétrie, les courants induits se développent inégalement des deux côtés, et leur action électrodynamique sur le champ de l'électro produit une réaction qui tend à faire tourner le disque; le couple moteur est fonction de l'intensité du courant que l'on mesure.

Dans les appareils de l'A. E. G. (fig. 18 et 19), la partie mobile est un disque qui passe dans l'étroit entrefer ménagé dans le circuit magnétique d'un électro. Dans le wattmètre, il y a trois électros : un, au

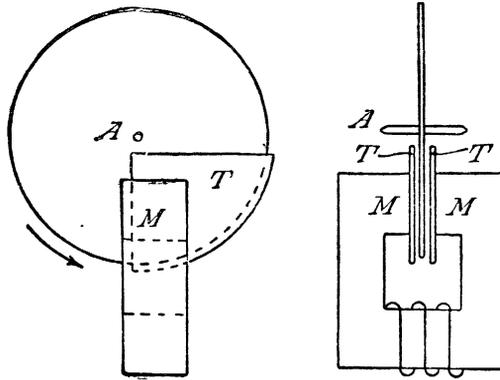


FIG. 18. — Schéma des appareils à induction A. E. G.

centre, pour les ampères, deux sur les côtés, pour les volts. La force antagoniste est fournie par *deux* ressorts spiraux opposés de façon à éviter les déplacements de zéro causés par la dilatation d'un ressort

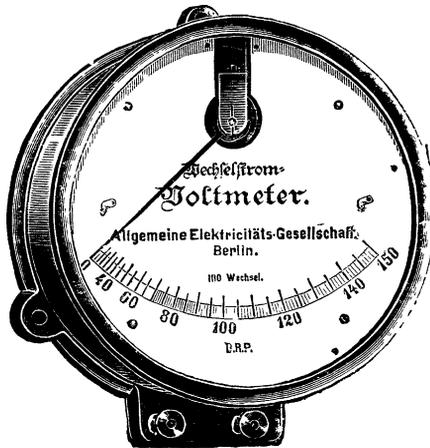


FIG. 19. — Voltmètre à induction.

unique. Un aimant permanent agit sur la partie du disque opposée aux électros et produit l'amortissement.

Dans les appareils Siemens (*fig. 20*), l'armature est un tambour placé au centre d'un anneau de tôle de fer ; sur cet anneau, il y a des projections polaires sur lesquelles sont enroulées les bobines. L'amortisseur magnétique est placé sur un disque indépendant.

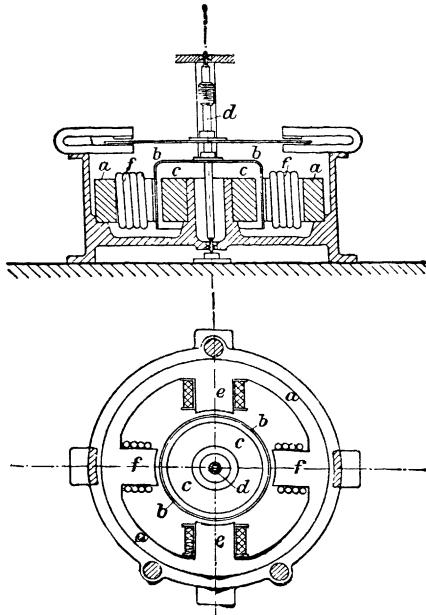


FIG. 20. — Appareil Ferraris de Siemens.

L'emploi des transformateurs tend à se généraliser dans la mesure industrielle des courants alternatifs ; on conçoit facilement qu'un transformateur, dont la résistance des circuits est négligeable, peut donner un coefficient de transformation constant. Il est cependant bon de n'employer ces appareils que dans les conditions où ils ont été gradués, si l'on veut obtenir des résultats exacts.

Les avantages réclamés pour l'emploi des transformateurs sont les suivants : pour les ampèremètres, ils permettent d'employer des appareils d'intensité moyenne, plus faciles à construire et que l'on peut placer en un point commode pour l'observation, tandis que le transformateur, intercalé dans le circuit à grande intensité, est d'accès moins commode. En un mot, le transformateur donne, pour le courant alternatif, les mêmes avantages que le shunt pour les appa-

reils à courant continu. La Société A. E. G. exposait un transformateur pour la mesure de courants alternatifs de 8.000 ampères, à peu près semblable à celui de la figure 21. Ce transformateur *élevateur de tension* consiste simplement en lames de cuivre traversées par le courant, entourées d'un cadre en tôle de fer sur un des côtés

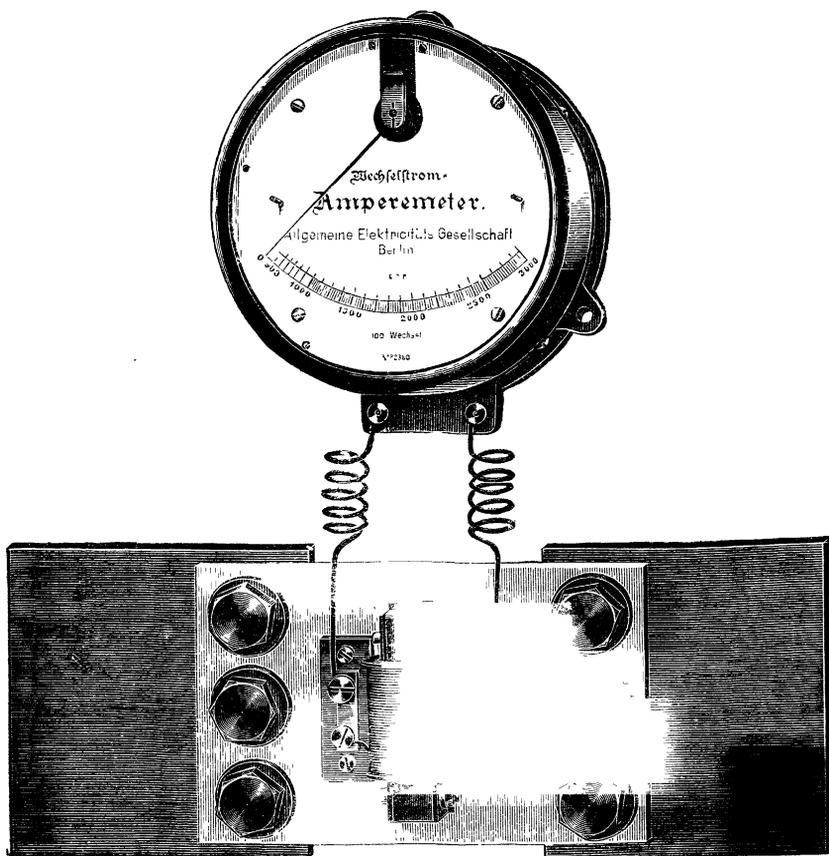


FIG. 21. — Ampèremètre avec transformateur.

duquel est enroulé une bobine secondaire ayant un nombre convenable de tours de fil.

Pour les voltmètres, les transformateurs *réducteurs de tension* ont le double avantage d'éviter l'emploi des très grandes résistances qu'il serait nécessaire de mettre en série pour réduire la sensibilité,

et, en même temps, ils isolent complètement l'appareil de mesures du circuit à haute tension. Dans les compteurs et les wattmètres destinés aux distributions à haut voltage, on emploie fréquemment un transformateur pour les ampères et un autre pour les volts, de sorte que l'appareil est complètement isolé et peut être manipulé sans danger.

Les transformateurs de mesures sont des appareils assez importants. Celui de la figure 22 pèse environ 39 kilogrammes. Ces dimensions sont nécessaires pour obtenir des circuits ayant une très faible résistance ohmique.

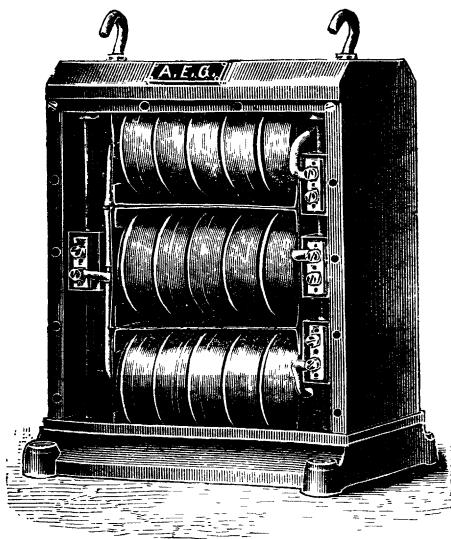


FIG. 22. — Transformateur.

Le voltmètre du professeur R. Arno est basé sur l'hystérésis diélectrique et sur les champs électrostatiques tournants. Il se compose essentiellement de trois armatures formant des portions isolées d'un même cylindre ; au milieu se trouve un cylindre en matière isolante : papier ou carton paraffiné, monté sur un axe central, autour duquel il peut tourner. Le cylindre mobile est maintenu par un ressort spiral, et il porte un index qui permet de lire la déviation sur un cadran divisé. Quand les trois armatures sont reliées aux pôles d'un circuit triphasé, un champ électrostatique tournant prend naissance entre

elles et le cylindre mobile est sollicité à tourner par suite du retard d'électrisation dû à l'hystérésis diélectrique. Cet appareil est plutôt théorique, le professeur Arno l'a cependant réalisé sous la forme d'un voltmètre.

Phasemètres. — Deux courants alternatifs de même forme et de même période différent entre eux par leur amplitude et aussi par le retard qui peut exister entre leurs passages au zéro. En particulier, quand les deux courants comparés sont, l'un le courant total I , l'autre, un courant proportionnel à la différence de potentiel U du même courant, il est intéressant de noter la différence de phase φ qui existe entre leurs passages au zéro, puisque la puissance utile est donnée, dans le cas d'un courant sinusoïdal, par :

$$P = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos \varphi.$$

Dans le cas, beaucoup plus général, où le courant n'a pas la forme sinusoïdale simple la puissance est exprimée par :

$$P = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} K,$$

où K est ce que l'on nomme le *facteur de puissance*.

Le facteur φ n'a pas toujours une signification précise; car, selon la forme des courants mesurés et aussi selon le principe du phasemètre employé, le résultat atteint est une fonction de K ou de $\cos \varphi$; néanmoins, au point de vue pratique, l'indication du phasemètre peut être utile en montrant de quelle façon l'énergie produite est absorbée. Par exemple, dans une usine de distribution de courant alternatif à haute tension, quand tous les transformateurs des clients sont sur le circuit et qu'il n'y a pas de consommation *utile*, on constate que la puissance apparente $U_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$ est grande, tandis que la puissance réelle est faible, parce que φ est élevé, ou, pour mieux dire, parce que K est petit.

Comme phasemètres industriels, on voyait, à l'Exposition, deux modèles : celui de Hartmann et celui de l'A. E. G.

Le phasemètre Hartmann est une sorte de wattmètre dans lequel la bobine fixe est parcourue par le courant total, tandis que le courant dérivé, proportionnel à U , traverse simultanément deux cadres mobiles fixés à 90° l'un de l'autre (*fig. 23*). Les cadres mobiles sont montés sur pivots et des lames minces d'argent leur amènent le courant, sans donner de force directrice appréciable, de sorte que l'en-

semble est libre de tourner. A l'aide de résistances et de bobines de self, l'un des cadres reçoit le courant en phase avec U , tandis que, dans l'autre, on obtient un retard de 90° ; ces deux courants sont égaux comme intensité. Un champ tournant prend naissance dans l'intérieur des cadres mobiles et tend à orienter le système jusqu'à

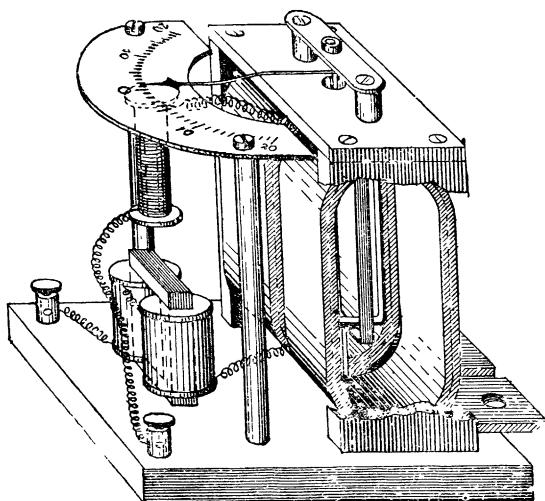


FIG. 23. — Phasemètre Hartmann.

ce que l'action exercée par le cadre fixe soit maximum ; ce résultat est atteint quand la composante du champ tournant qui est en phase avec I est parallèle au champ créé par la bobine fixe. Un index indique à ce moment l'angle de phase φ sur un cadran gradué empiriquement.

L'appareil de l'A. E. G. est basé sur un principe un peu différent : si nous reprenons l'hypothèse du courant sinusoïdal, nous savons que U et I peuvent être représentés par deux vecteurs faisant entre eux un angle égal à l'angle de phase. Le vecteur représentant le courant I peut être remplacé par deux autres dont la résultante se confond avec I ; prenons l'une des composantes en phase avec U ; sa valeur sera $I \cos \varphi$; c'est le courant qui donne la puissance ; prenons la seconde composante en quadrature avec U , sa valeur sera $I \sin \varphi$, et la valeur moyenne du produit $UI \sin \varphi$ étant toujours nulle, ce courant ne produit aucune puissance ; on l'appelle souvent courant *dévié*.

Si l'on connaît $I \sin \varphi$, on possède un des éléments du problème. L'appareil de l'A. E. G. donne $I \sin \varphi$; il est gradué en *ampères*; c'est, en résumé, un wattmètre à induction, comme celui dont nous avons parlé plus haut; mais ici le courant dans la bobine des volts est en phase avec U , de sorte que si U et I sont également en phase, le couple exercé sur le disque est nul, tandis que, dans le wattmètre proprement dit, on est obligé de donner une self-induction considérable à la bobine de volts, afin que son courant soit retardé de 90° .

Fréquencemètres. — Bien que la mesure de la fréquence soit plutôt intéressante dans les laboratoires, la maison Hartmann a créé deux modèles de fréquencemètres industriels, dus à M. Kempf. Le premier, qui est un fréquencemètre proprement dit (*fig. 24*), est composé de

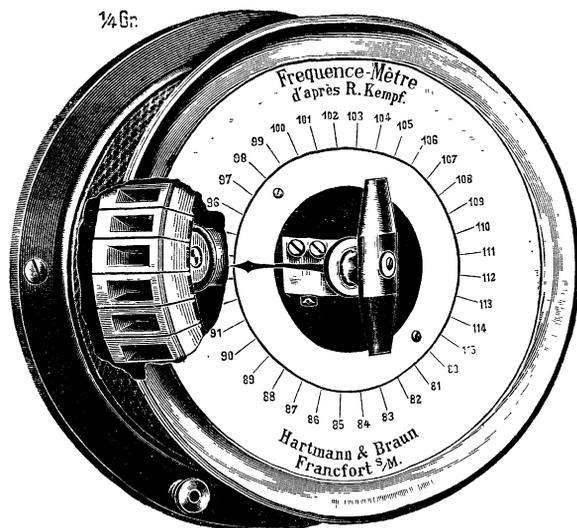


FIG. 24. — Fréquencemètre.

32 lames vibrantes disposées à l'intérieur d'un cylindre, au centre duquel un arbre porte un électro, qu'une manette permet d'amener devant chaque lame. Les lames vibrantes sont réglées de telle sorte que leur nombre de vibrations augmente d'une unité, d'une lame à la suivante. Quand l'électro est excité par le courant alternatif à mesurer, on l'amène successivement devant chaque lame, et quand il arrive devant celle dont la période correspond, cette lame résonne et fait entendre un son très intense; il n'y a plus qu'à lire le nombre de

vibrations indiqué par cette lame, ce qui fait connaître la fréquence cherchée. L'appareil exposé était construit pour des fréquences comprises entre 40 et 56 périodes par seconde. L'égalité de vibration de deux lames consécutives permet aussi de mesurer à une fraction de période près.

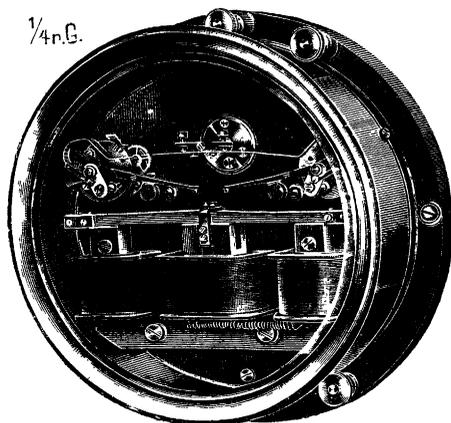


FIG. 25. — Fréquencemètre.

Le second appareil (*fig. 23*) est plutôt un indicateur de vitesse : deux ressorts, de fréquence voisine, sont placés devant deux électros excités par le courant alternatif ; quand la fréquence est normale, les lames restent au repos ; si elle augmente ou diminue, l'une ou l'autre des lames résonne et ses vibrations prennent une grande amplitude, de sorte qu'elle ferme un circuit contenant un avertisseur : sonnerie ou lampe.

De cet exposé sommaire on peut conclure que si l'Exposition ne nous a pas montré d'appareils entièrement nouveaux, elle renfermait néanmoins beaucoup de choses intéressantes, même au point de vue un peu spécial des mesures, et en se limitant, comme nous l'avons fait ici, aux sections étrangères. L'examen de la Section française montrait qu'au point de vue des progrès réalisés, comme à celui des idées originales, notre pays n'est pas resté en arrière.
