

COMITÉ INTERNATIONAL

DES POIDS ET MESURES.

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES.

DEUXIÈME SÉRIE. — TOME XIII.

SESSION DE 1929.



PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

55, Quai des Grands-Augustins, 55

1929



LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 15 JUIN 1929.

Président :

1. M. V. VOLTERRA, Sénateur du Royaume d'Italie, Membre de l'Académie des Lincei, 17, via in Lucina, *Rome*.

Secrétaire :

2. M. D. ISAACHSEN, Directeur général du Service des Poids et Mesures de Norvège, Nobels gt, 29, *Oslo*.

Membres :

3. M. P. APPELL, Membre de l'Institut de France, 24 bis, rue de l'Abbé-Grégoire, *Paris (VI^e)*.
4. M. B. CABRERA, Professeur à l'Université de Madrid, 1, Paseo del General Martinez Campos, *Madrid*.
5. M. M. CHATELAIN, Président de la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'U. R. S. S., 19, Perspective Mejdounarodni, *Leningrad*.
6. M. R. GAUTIER, Professeur à l'Université; Directeur honoraire de l'Observatoire de Genève, 4, avenue Marc-Monnier, *Genève*.
7. M. E. S. JOHANSEN, Professeur à l'École Polytechnique, 1, Heilsmindevej, Charlottenlund, *Copenhague*.

8. M. C. KARGATCHIN, Inspecteur au Ministère du Commerce du Royaume des Serbes, Croates et Slovènes, 3, Obilitchev Venac, *Belgrade*.
9. M. W. KÖSTERS, Membre de l'Institut des Poids et Mesures d'Allemagne, 27-28, Werner Siemensstrasse, *Berlin-Charlottenburg*.
10. M. J. C. MACLENNAN, Professeur à l'Université, *Toronto*, 5.
11. M. le Major P.-A. MACMAHON, Membre de la Société Royale de Londres, 31, Herford Street, *Cambridge*.
12. M. V. POSEJPAL, Professeur à l'Université Charles IV, U Karlova, 5, *Prague* (11^e).
13. M. C. STATESCU, Directeur général du Service des Poids et Mesures de Roumanie, 42, Strada Benito Mussolini, *Bucarest*.
14. M. S.-W. STRATTON, Président du Massachusetts Institute of Technology, *Cambridge*, Mass., U. S. A.
15. M. A. TANAKADATE, Membre de l'Académie des Sciences de Tokyo, 144, Zôsigayamati, Koisikawa-ku, *Tokyo*.
16. M. P. ZEEMAN, Professeur à l'Université, 158, Stadhouderskade, *Amsterdam*.
17. M. CH.-ÉD. GUILLAUME, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, *Sèvres*.

Membres honoraires :

1. M. L. DE BODOLA, Professeur honoraire à l'École Polytechnique, 15, Pauler Utca, *Budapest*.
 2. M. A.-A. MICHELSON, Professeur à l'Université, *Chicago*.
 3. M. L. TORRES Y QUEVEDO, Membre de l'Académie des Sciences de Madrid, 3, Valgame Dios, *Madrid*.
-

LISTE DU PERSONNEL

DU

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 15 JUIN 1929.

	MM.
Directeur.....	CH.-ÉD. GUILLAUME.
Adjoints.....	{ A. PÉRARD. L. MAUDET. C. VOLET.
Archiviste-comptable....	L. REVERCHON
Assistants.....	{ A. BONHOURE. E. GUÉRIN.
Secrétaire-dactylographe.	M ^{me} C. BABOLAT.
Calculateurs.....	{ M ^{me} G. BROCHARD. H. MOREAU.
Mécanicien.....	R. HANOCQ.



COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

SESSION DE 1929.

PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL,

Mardi 4 juin 1929.

PRÉSIDENCE DE M. VOLTERRA.

Sont présents :

MM. CABRERA, GAUTIER, GUILLAUME, ISAACHSEN, JOHANSEN, KÖSTERS, MACLENNAN, POSEJPAL, TANAKADATE.

La séance est ouverte à 15^h 15^m.

M. le PRÉSIDENT exprime sa joie de se retrouver au milieu de Collègues déjà anciens, qui ont fourni une longue et utile collaboration aux travaux du Comité, et de nouveaux membres, qui lui apporteront un surcroît d'énergie pour la poursuite de son action. Aux uns et aux autres, il souhaite une cordiale bienvenue, dans cette maison qui abrite la première institution internationale de caractère scientifique.

Parmi les modifications qui se sont produites dans la composition du Comité depuis la dernière session, M. le PRÉSIDENT signale le décès du savant chimiste russe M. KONOVALOV, survenu peu après son voyage à Paris

pour la réunion du Comité consultatif d'Électricité, et à sa mémoire, il invite MM. les membres présents à se lever en signe de deuil.

Deux autres membres ont quitté volontairement le Comité : ce sont M. TORRES Y QUEVEDO, à cause de ses fonctions trop absorbantes, et M. de BODOLA, pour raisons d'âge et de santé. Malgré les instances du bureau du Comité, ils ont persisté dans leur détermination. M. le PRÉSIDENT exprime la vive reconnaissance du Comité pour le concours précieux qu'ils lui ont apporté, en particulier M. de BODOLA qui en était le doyen, ayant assisté déjà à la session de 1894, et en fut pendant quelques années le Secrétaire. Il demande à M. GUILLAUME de leur faire part des sentiments unanimes de regret et de sympathie de leurs collègues, en remerciant spécialement M. DE BODOLA qui a envoyé des vœux pour le succès de la présente réunion.

Au programme de la session actuelle figurent d'assez nombreuses et importantes questions. Le Comité consultatif d'Électricité s'est réuni en novembre dernier, et son rapport, rédigé par M. BURGESS, doit être soumis à l'examen et à l'approbation du Comité international des Poids et Mesures. La question de l'érection du nouveau bâtiment pour l'étude des étalons électriques devra également être abordée. L'*International Education Board* a voté avec beaucoup de générosité une subvention qui permettra de couvrir les frais de la construction. M. le PRÉSIDENT propose au Comité de lui exprimer sa vive gratitude, ainsi qu'au Gouvernement français pour la concession d'une bande de terrain à l'une des extrémités du domaine du Pavillon de Breteuil.

M. le PRÉSIDENT présente les excuses de MM. APPELL, KARGATCHIN, MACMAHON, empêchés tous trois pour raisons de santé d'assister à la présente session du Comité. Il

exprime ses meilleurs vœux pour leur rétablissement. M. STRATTON, de son côté, est retenu en Amérique par des occupations impérieuses.

Le quorum étant atteint, M. le PRÉSIDENT déclare ouverte la session de 1929 et prie M. le Directeur de présenter son Rapport sur la gestion du Bureau depuis la dernière réunion.

M. GUILLAUME donne alors lecture du Rapport suivant :

RAPPORT AU COMITÉ INTERNATIONAL

SUR LA GESTION DU BUREAU

PENDANT LA PÉRIODE ÉCOULÉE

ENTRE LE 1^{er} SEPTEMBRE 1927 ET LE 31 MAI 1929.

Tandis que les précédents Rapports présentés au Comité international déplorait l'épuisement rapide de nos réserves, et laissaient craindre, pour un avenir rapproché, le moment où le Bureau ne serait plus en mesure de rendre les services qu'on attend de lui, j'ai, cette fois, la satisfaction d'enregistrer le redressement complet de la situation financière, grâce au vote unanime de la Septième Conférence générale des Poids et Mesures, réunie en 1927. Nous avons pu réparer les bâtiments, qui en avaient un besoin urgent, acquérir les appareils nécessaires, prévoir l'engagement prochain de nouveaux collaborateurs, et accroître les traitements de manière à les mettre mieux en accord avec le coût de la vie.

I. — PERSONNEL.

Je n'ai, pour le moment, à signaler que la nomination, comme assistant, de M. Edmond Guérin, entré en fonction le 1^{er} mars. M. Guérin a fait ses études dans une école pratique, et s'est déjà distingué par quelques réalisations; il a préparé aussi la licence ès sciences physiques. Jusqu'ici, il n'a fait au Bureau que des travaux de début, pour lesquels cependant il a montré des aptitudes.

D'autres engagements sont en vue.

Au mois de septembre 1928, M. Kwiatkowski, du Bureau des Poids et Mesures de Pologne, est venu pour collaborer à la détermination de divers étalons appartenant à cet Institut. Et, tout récemment, M. R. H. Field a apporté plusieurs règles étalons appartenant au Service géodésique du Canada, et dont nous avons redéterminé la valeur. M. Field a pris part à ce travail.

L'an dernier, le professeur Swietoslawski, de Varsovie, nous avait demandé de recevoir son assistant, M. Alexandre Zmaczynski, afin qu'il puisse comparer des thermomètres à résistance de platine à nos thermomètres, en se servant d'ébullioscopés d'une forme nouvelle. M. Zmaczynski est venu, dans le courant du printemps, pour procéder à ces expériences; elles ont été poursuivies sans relâche à partir du milieu d'avril, avec la collaboration de M. A. Bonhoure.

II. — BATIMENTS.

L'an dernier, je signalais la nécessité de procéder sans retard au ravalement du bâtiment principal, le Pavillon de Breteuil proprement dit. Peu après la session, les dégâts que je craignais commençaient à se produire : l'entablement situé au-dessus de la porte d'entrée de l'appartement du Directeur laissait échapper des pans de mur, surtout comme conséquence du délabrement qui s'accroissait dans la couverture du bâtiment; d'autres revêtements en plâtre menaçaient de se détacher, et constituaient un danger permanent. Je les fis abattre, et alors apparurent à l'intérieur deux poutres entièrement pourries. Dès que les travaux furent entrepris, on commença par les remplacer, et l'on continua par le ravalement complet du Pavillon; on refit aussi une partie de la toiture.

Bien que le crédit annuel doive être dépassé, on a jugé bon, pendant qu'on était occupé à des réfections, d'entreprendre aussi celles des constructions annexes, qui auraient dû être régulièrement remises au printemps de 1929. Mais, en faisant le travail sans interruption, on a réalisé une sensible économie. D'ailleurs, les maîtres d'état nous sont venus en aide, en n'exigeant le solde de leurs mémoires qu'au commencement de cette année.

L'extérieur de l'observatoire n'a pas encore été touché : les crédits étaient dépensés; puis aussi, on a estimé qu'il convenait de différer toute réfection jusqu'au moment où, l'agrandissement du bâtiment étant achevé, on pourrait à la fois procéder au raccord et à la réparation, donnant ainsi à la construction toute entière un aspect homogène.

J'ai maintenant à parler de l'extension que nous apportons en ce moment aux laboratoires du Bureau. Après le vote de la Septième Conférence, qui a étendu notre programme à l'étude des étalons électriques, il était nécessaire de nous

agrandir, les laboratoires existants étant tous occupés. Tout d'abord, il fallait trouver des ressources nouvelles pour procéder aux travaux en vue. Dans ce but, je m'adressai au Docteur Augustus Trowbridge, qui était alors Directeur, pour l'Europe, de l'*International Education Board*, et lui demandai de nous venir en aide. M. Trowbridge désira avant toutes choses avoir des plans et un devis. Je m'abouchai alors avec M. R. Chameroy, architecte, qui, d'accord avec moi, étudia plusieurs possibilités d'agrandissement du bâtiment de l'observatoire : surélévation de la partie antérieure du bâtiment, deux à bouts symétriques par rapport au bâtiment actuel, l'un au nord, l'autre au sud, enfin extension unique des laboratoires du côté nord. Cette solution était la plus économique, en même temps qu'elle plaçait les nouveaux laboratoires d'électricité l'un à côté de l'autre, et donnait la possibilité de faire un deuxième étage comprenant des bureaux et un logement pour le garçon de laboratoire. Le devis, en y comprenant quelques aléas, est établi à 900000 fr.

Le Conseil de l'*International Education Board* s'est réuni à New-York en novembre dernier; un télégramme arrivé à la Direction de Paris m'apprit que la subvention était votée.

Mais les laboratoires prévus nécessitaient une extension du terrain, c'est-à-dire la cession, par le Gouvernement français, au domaine du Pavillon de Breteuil, d'une bande prise sur le parc, et prévoyant le recul de la grille du côté de la grande allée qui conduit à Saint-Cloud.

Le Ministère des Affaires Étrangères nous est, une fois de plus, venu en aide, en demandant aux Domaines et à la Direction des Beaux-Arts de vouloir bien nous accorder le terrain en question. Ces Administrations ont répondu à notre désir de la façon la plus gracieuse, en aliénant en notre faveur une bande de terrain de 5 mètres de largeur et de 40 mètres de longueur.

Le Comité consultatif d'Électricité venait justement de se réunir, et avait examiné les avant-projets. Dès le mois de janvier, nous pûmes commencer la fouille, assez laborieuse en raison du fait qu'il fallait gagner l'emplacement des laboratoires sur la colline, c'est-à-dire entamer fortement celle-ci. Le terrain contient plusieurs bancs de sable mouvant, ce qui a obligé à faire des murs de soutènement dont l'édification a demandé un labeur considérable. D'un autre côté, nous avons trouvé des roches en abondance, qui doivent fournir des matériaux de construction.

Nous avons été autorisés, par l'Administration du Parc, à

déverser le déchet dans les pentes, non loin du Pavillon de Breteuil, ce qui a économisé des transports onéreux.

Le détail du nouveau bâtiment est maintenant arrêté dans ses lignes essentielles; les membres du Comité en ont reçu récemment les plans, de telle sorte qu'ils pourront signaler les modifications qui leur paraîtraient nécessaires.

Disons seulement que la nouvelle construction comprendra, en sous-sol, un prolongement du couloir où est installée la base, avec des salles correspondant à celles du rez-de-chaussée. L'une d'elles sera aménagée dès maintenant de façon que l'on puisse-y installer plus tard des expériences de photométrie; une autre servira à la photographie.

A l'étage principal, on édifiera trois salles spacieuses, dont l'une servira aux mesures interférentielles, très à l'étroit dans la salle 6 actuelle. Les deux autres sont respectivement prévues pour les expériences sur les étalons de résistance électrique et ceux de force électromotrice. Les salles 7 et 8 seront éclairées par des lanternes, la dernière par des fenêtres doubles. Sur le devant du bâtiment, se trouveront deux salles où seront conservés les instruments remplacés par d'autres plus modernes, et dont l'existence marque les étapes de l'activité du Bureau, puis les appareils qui nous sont envoyés pour étude, et qui doivent être retournés aux Gouvernements.

Le premier étage comprendra des bureaux, une salle de chimie et un logement pour le gardien. Il conduira aux combles de l'observatoire.

III. — MACHINES ET INSTRUMENTS.

Je n'ai pas à signaler, comme la dernière fois, l'acquisition d'instruments importants.

La question des quartz étalons n'est pas aussi avancée qu'il le semblait lorsque j'ai présenté au Comité mon dernier rapport. A cette époque, nous venions de recevoir, par l'intermédiaire de M. Conti, Ambassadeur de France au Brésil, des quartz qui paraissaient susceptibles de fournir des étalons irréprochables. Plusieurs d'entre eux ont été effectivement taillés aux dimensions requises pour les décimètres, mais leur examen a révélé des macles qui les rendent inutilisables pour l'usage que nous nous proposons d'en faire.

MM. Jobin et Yvon possèdent un bloc de quartz d'assez grandes dimensions, et qu'ils seraient disposés à tailler à la cote d'un décimètre. Il y a cependant une condition qui nous a engagés à différer l'exécution de la commande; c'est que MM. Jobin et Yvon entendent ne sacrifier leur quartz que pour en faire des étalons qui l'emploient tout entier. Il y aurait une somme de près de 100000 francs à engager, et nous n'avons pas cru devoir le faire aussi longtemps que la demande d'étalons en quartz se limitait à cinq. La situation en est là; elle a le caractère d'une impasse.

D'un autre côté, nous espérons toujours obtenir du Brésil un approvisionnement en quartz, que nous ont fait espérer plusieurs professeurs de Rio de Janeiro.

Comme l'indiquait mon dernier Rapport, nous avons repris les comparaisons des bases fondamentales, en déterminant un ensemble de quatre fils, que nous avons envoyés d'abord à Teddington, où ils ont été mesurés. Ils sont ensuite revenus, et après une nouvelle détermination, les fils ont été mis à la disposition de la Reichsanstalt. Au National Physical Laboratory, les équations ont été trouvées uniformément de 2 milliardièmes plus grandes qu'au Bureau international. Nous n'avons pas pu découvrir la cause de cette divergence; M. Pérard et M. Maudet se rendront prochainement à Teddington dans le but de tirer la chose au clair.

J'ai déjà mentionné, dans un précédent rapport, les efforts que nous avons faits en vue d'obtenir des thermomètres formant une digne suite de ceux que Tonnelot, puis Baudin, ont fournis autrefois au Bureau.

On se souvient que le verre dur français, très parfait au point de vue uniquement thermométrique, avait, de temps à autre, des *neiges*, qui, sous certaines incidences, masquaient l'extrémité de la colonne. Vers 1900, nous remarquâmes que l'aspect du verre semblait s'améliorer, et Baudin nous confirma que, depuis quelque temps, en effet, son travail, paraissait plus facile. Vers 1906, un thermomètre ayant été cassé au National Physical Laboratory, on en profita pour faire une nouvelle analyse du verre, et l'on constata que celui-ci contenait 6 à 7 pour 100 d'oxyde de plomb.

Nous cherchâmes alors à faire revenir les verriers à la composition originale, mais sans y parvenir. Les glacières de Saint-

Gobain nous vinrent en aide, sans pouvoir cependant reconstituer le verre thermométrique tel que nous le désirions. Les tiges que nous fîmes venir d'Iéna étaient aussi de très médiocre qualité.

Finalement, nous avons commandé, aux Établissements Poulenc Frères, à Paris, des thermomètres dont les tiges sont en verre vert et les réservoirs en verre d'Iéna 16^{III}. Ces deux verres ayant à très peu près la même dilatation, se soudent parfaitement ensemble, et la soudure est très résistante, comme nous avons pu nous en convaincre par l'étude de thermomètres d'essai, qui ont été soumis à des variations de température très brusques, sans aucun dommage pour les instruments. D'autre part, les praticiens de la Maison Poulenc ont imité les modèles que nous avons adoptés, de telle sorte qu'on peut espérer obtenir des instruments dignes de la belle période du thermomètre à mercure.

Ces thermomètres n'ayant pas le réservoir en verre dur, leur échelle ne sera pas exactement la même que celle des nôtres; mais, d'après les expériences que j'ai faites en 1889, les échelles sont très peu différentes; elles divergent au maximum de 1 à 2 millièmes de degré entre 0° et 100°. Cette divergence sera prochainement déterminée à nouveau.

Pour l'observation des franges produites à l'interféromètre industriel, nous ne possédions pas de lunette présentant un grossissement inférieur à 6. Lorsqu'on voulait travailler avec des raies de faible intensité, on était parfois obligé de faire les lectures à l'œil nu. Le Bureau a acquis tout récemment une série de trois petites lunettes dont le grossissement s'échelonne de 1 à 5, et qui, en donnant une lumière beaucoup plus intense, diminuent sensiblement la fatigue des yeux. Il est intéressant de signaler que l'avantage est principalement marqué dans les grandes longueurs d'onde.

Grâce à l'obligeance de M. Kösters, nous avons pu obtenir, de la Maison Schuchardt et Schütte, l'envoi de tubes à krypton du modèle établi par lui, et dont les qualités seront indiquées plus loin.

Je signalerai encore, parmi les nouveaux instruments, le groupe convertisseur, livré par la Maison Ragonot, et qui, actionné par le courant triphasé, peut fournir, en courant continu, 3,5 ampères sous une tension comprise entre 100 et 500 volts, et 0,3 ampères entre 500 et 1000 volts. Il est destiné à alimenter les lampes marchant sur courant continu pour la pro-

duction des radiations monochromatiques. Le courant, assez intense, qu'il peut fournir au-dessous de 500 volts, sera utilisé pour les lampes à cadmium du type Nagaoka-Sugiura.

La même Maison nous a fourni un petit moteur de 0,1 kilowatt pour assurer le brassage de l'eau dans le comparateur Brunner.

M. Volet a apporté quelques perfectionnements à ce comparateur. Le couvercle des auges, lourd et difficile à manier, a été divisé en trois parties : les extrémités, dans lesquelles se trouvent les boutons de réglage et les agitateurs, sont maintenant fixées sur le comparateur, de telle sorte que la partie amovible est considérablement réduite.

Le comparateur à dilatation a été également perfectionné. En particulier, un chauffage électrique, placé dans l'auge même du comparateur, a été substitué au chauffage au gaz, ce qui a permis de gagner encore en stabilité de la température. La garniture en bois du couvercle a été remplacée par un revêtement moins épais en hæffelyte; de la sorte, on obtient une immersion plus profonde des règles.

A propos de la mesure des dilatations absolues, M. Volet a imaginé une méthode qui constitue une variante de celle que nous avons toujours utilisée. Jusqu'à présent, les allongements de la règle étudiée par rapport à la règle de comparaison maintenue à température fixe, étaient mesurés au micromètre (environ 310^µ dans le cas des règles en platine iridié). Dans la nouvelle méthode, la règle de comparaison porte une série de traits dont les distances sont sensiblement égales aux allongements à mesurer. On peut faire en sorte que, à toute température, la règle étudiée soit comparée à une longueur qui lui est sensiblement égale. Les intervalles de la règle de comparaison sont tracés de telle façon qu'ils puissent être étudiés par des étalonnages. Cette méthode évite la mesure de grands intervalles au micromètre et rend ainsi les résultats presque indépendants de la tare et des erreurs de cet organe.

M. Volet a fait une révision de la machine à diviser, qui s'était peu à peu faussée dans le cours des années. Le support présentait une courbure ayant deux points d'inflexion et des déviations atteignant 0^{mm},2. Par des rodages que guidaient des observations à la lunette autocollimatrice, il est arrivé à rendre au banc une rectitude satisfaisante.

A l'occasion de la réargenteure de la grande glace de 9^m semi-transparente de l'interféromètre Michelson, à l'aide de l'installation mentionnée dans mon dernier rapport, M. Pérard a exécuté de même, sur des surfaces de l'ordre du décimètre carré, une série d'argenteures plus ou moins épaisses qui se sont trouvées parfaitement uniformes et sans défauts sur toute leur étendue. Étant donnée la difficulté bien connue de cette opération et l'inconstance des résultats généralement obtenus sur les grandes surfaces, ce point mérite d'être signalé.

Par comparaison avec des argenteures neuves exécutées simultanément par voie chimique, on a vérifié le fait généralement admis, mais rarement contrôlé, que, pour un même pouvoir transmissif, les argenteures par pulvérisation cathodique ont un pouvoir réfléchissant sensiblement plus élevé que les argenteures chimiques.

IV. — TRAVAUX.

Après avoir publié, en 1886, les *Études thermométriques*. Mémoire consacré aux recherches sur le thermomètre en verre dur, je continuai pendant plusieurs années mes travaux sur le thermomètre à mercure. Une partie des résultats sont résumés brièvement dans mon ouvrage *Traité pratique de la thermométrie de précision*, paru en 1889. Jusqu'au moment où j'entrepris la détermination de la masse du décimètre cube d'eau, je pus encore liquider un certain nombre de questions. Le travail était resté jusqu'ici inédit; mais, chose singulière, les résultats que j'avais mis au jour à cette lointaine époque ne semblent pas avoir été retrouvés. Il convenait donc de leur consacrer une Note qui, sous le titre : *Nouvelles études thermométriques*, a été rédigée de façon à prendre place dans les *Travaux et Mémoires* du Bureau. Là, se trouve traitée d'abord la question du coefficient de pression et de la capillarité des thermomètres. Celle-ci joue un rôle considérable, qu'on a très souvent sous-estimé, et qui est particulièrement important pour un thermomètre dont le degré est très long. J'ai indiqué une méthode permettant de corriger l'erreur capillaire, et de déterminer le coefficient de pression sans erreur systématique.

L'étude du thermomètre hypsométrique a donné lieu à des expériences suivies, faites de 1886 à 1896. Ces expériences ont montré, en particulier, que les tables publiées dans les *Travaux et Mémoires*, et dans lesquelles Broch avait utilisé les données

de Regnault, contiennent des erreurs systématiques assez notables; Chappuis les a mises en lumière dans un travail mentionné dans les *Procès-verbaux* relatifs à l'année 1900. En réduisant les observations du thermomètre hypsométrique au moyen des nombres obtenus par Chappuis, il ne reste qu'une erreur systématique insignifiante dans les résultats. Chappuis n'a pas publié ses nombres. Ils trouveront leur place dans le Tome XVIII des *Travaux et Mémoires*. Il faudra dorénavant tenir compte de ses déterminations pour la réduction des intervalles fondamentaux des thermomètres.

Après cela, je rends compte d'un travail qui a consisté à déterminer les différences de marche des thermomètres en verre d'Iéna 16^{III} et en cristal anglais par rapport au thermomètre en verre dur. C'est là que l'on trouve le fait énoncé ci-dessus, que les thermomètres en verre d'Iéna et ceux en verre dur sont sensiblement équivalents. En revanche, l'échelle des thermomètres en cristal anglais se rapproche beaucoup de celle du thermomètre à hydrogène; malheureusement, le zéro de ces thermomètres varie très lentement et il est difficile de les employer pour des mesures de haute précision faites à des températures variables.

Le dernier Chapitre contient des déterminations, faites à neuf ans de distance, des corrections de calibre de thermomètres munis d'ampoules et qui n'ont pas été chauffés à une température supérieure à 100°. Ces corrections se retrouvent identiques dans les limites des erreurs d'observation.

Le Mémoire se termine par des études exécutées sur des thermomètres chauffés à 200°. Après un semblable traitement, les instruments présentent, en dehors de l'ascension du zéro, qui atteint 1 degré, divers changements précisés dans le texte, et dont il faut tenir compte.

Dans la même collection, M. Pérard a publié également un Mémoire intitulé : *Applications pratiques des interférences lumineuses à l'étude des calibres industriels et autres longueurs à bouts*, dont la majeure partie était rédigée depuis plusieurs années, mais qui n'a été achevée que récemment.

Un Mémoire antérieur avait proposé une première méthode, qui, par l'emploi de l'interféromètre Perot-Fabry, avait donné le moyen d'exécuter la mesure des calibres à bouts plans de faible valeur nominale (1 à 10 millimètres), et avait permis un certain nombre d'expériences au cours desquelles avait été établi ce

point important, que le contact de deux surfaces planes, tel que le réalise M. Johansson dans ses calibres, se trouve défini avec une précision qui n'est pas inférieure à 1 ou 2 centièmes de micron.

La méthode qui se trouve exposée dans le présent Mémoire dérive de l'ancienne en mettant à profit ses conclusions; le calibre à mesurer adhère contre un plan d'acier de grandes dimensions, disposé horizontalement sur la plate-forme d'un interféromètre spécial, qui porte à sa partie supérieure un plan de verre de référence susceptible de donner un double phénomène d'interférence, d'une part, avec la face supérieure du calibre, d'autre part, avec la surface libre du plan d'acier; la différence des deux lames d'air, que l'on peut ainsi mesurer très exactement, donne sous certaines conditions, qui sont bien spécifiées, la valeur du calibre étudié. Dans les mêmes conditions, les qualités de construction du calibre sont déterminées avec la plus grande facilité; la technique de cette étude se trouve précisée par des exemples.

Au cours du Mémoire, sont décrits avec quelques détails les deux interféromètres qui furent établis successivement pour la mise en œuvre de cette méthode: l'un qui ne fut qu'un modèle d'essai, construit à l'atelier du Bureau international, l'autre exécuté par MM. Jobin et Yvon; j'ai déjà indiqué, dans mon dernier rapport, l'acquisition que nous avons faite de cet instrument.

A vrai dire, au moment de l'élaboration du projet de cet appareil, une méthode basée sur l'emploi d'un interféromètre Michelson, analogue à celle qui avait été utilisée avec succès pour la détermination des quartz témoins du Mètre, avait été envisagée; mais, à ce moment, le nombre relativement important des surfaces planes de grande étendue, confiées à la vérification du Bureau international, imposait à l'appareil alors en projet l'obligation de se prêter dans les meilleures conditions à ces études, et le constructeur avait émis l'avis que la réalisation d'une surface de référence rigoureusement plane de grande étendue était possible sur la face réelle d'un plan de verre, mais présenterait des difficultés insurmontables si elle était la résultante de six des surfaces d'un appareil Michelson. D'ailleurs, l'avantage qu'offrirait ce dernier dans la détermination directe d'une longueur double de celle de l'appareil qui a été construit, ne s'affirmerait pas comme bien important, puisqu'il était possible de passer aux plus grandes longueurs par addition et comparaison; alors que la grande étendue du plan de référence de l'appareil à simple faisceau lumineux pouvait permettre la mesure simultanée de

plusieurs calibres, et aussi toutes les expériences spéciales auxquelles se prêtent les interférences lumineuses.

Tous les détails d'exécution des mesures sont soigneusement notés, ainsi que les diverses corrections : de dispersion, de complexité des raies, d'obliquité du faisceau, d'indice de l'air, de réduction de température.

Cet exposé est suivi de quelques Chapitres donnant un aperçu des variantes que peut subir la méthode. Il est indiqué comment elle permet la mesure simultanée de plusieurs calibres.

Un petit trépied double a aussi été établi, permettant la mesure d'un échantillon plan-parallèle quelconque, sans qu'il soit besoin de le faire adhérer contre le plan d'acier inférieur.

Si l'échantillon en question est transparent, comme c'est le cas des quartz témoins du Mètre international, on peut observer les deux phénomènes d'interférence produits sur les deux faces de ces quartz; mais alors, pour éviter la confusion des franges, il est bon d'éteindre l'un ou l'autre des phénomènes par région au moyen des deux artifices très simples qui sont décrits.

La mesure des broches à bouts sphériques, celle des petits cylindres d'horlogerie, ou des grands cylindres de la Section technique, n'offrent aucune difficulté par les méthodes qui ont été développées, soit dans les pages antérieures, soit dans le rapport présenté au Comité au cours d'une précédente session.

Enfin, quatre annexes donnent des exemples concrets des divers cas de la pratique : étude des surfaces, comparaison de calibres, mesure absolue d'un moyen et d'un grand calibres.

On trouvera, dans le présent volume, les Rapports et Procès-Verbaux du Comité consultatif d'Électricité. Cette publication, de plus de 120 pages, témoigne de l'ardeur avec laquelle les Comités nationaux et les Membres du Comité consultatif ont examiné les questions qui leur étaient soumises, avec le désir sincère d'aboutir à un ensemble de résolutions qui pût fixer les grandes lignes de notre programme de travail.

Ce Comité était composé des délégués de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt à Berlin, du Bureau of Standards à Washington, du National Physical Laboratory à Teddington, du Laboratoire central d'Électricité à Paris, du Laboratoire Electrotechnique de l'École Royale d'Ingénieurs à Rome, du Laboratoire Électrotechnique à Tokyo, de la Chambre Centrale des Poids et Mesures à Leningrad, et du Bureau international.

M. Volterra avait ouvert la session comme Président du Comité international, puis il avait nanti de ces fonctions M. Paul Janet, Directeur du Laboratoire central d'Électricité. M. George K. Burgess, Directeur du Bureau of Standards, a bien voulu se charger d'un rapport contenant les principales décisions du Comité consultatif. Plusieurs mémoires donnent les divers aspects de l'état actuel des unités et de leur représentation par les étalons.

Le Comité international, adoptant une proposition présentée par M. Foerster, avait décidé, dès l'année 1901, que les étalons à bouts devraient posséder dorénavant leur valeur nominale à 0°. Au contraire, lors de la réunion de la Septième Conférence générale, M. Burgess, délégué des États-Unis, avait formulé la proposition de définir les étalons à bouts à 20°.

Le Comité international avait alors été chargé par la Conférence de constituer un comité de cinq membres qui aurait pour mission d'étudier la question, et devait remettre un rapport au plus tard le 1^{er} mars de cette année. Les laboratoires consultés étaient : le Bureau of Standards, le National Physical Laboratory, la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, enfin le Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers; j'avais, en outre, été chargé de représenter le Bureau international.

Après de longues discussions auxquelles ont pris part les Comités nationaux, réunis à Prague, le Comité spécial a finalement adopté la température de 20° pour la définition des étalons. Les rapports sur cette question sont publiés dans ce volume.

La résolution prise par la Septième Conférence générale, relative à une échelle unique de température, pour laquelle des points fixes ont été adoptés, a rendu moins urgente la publication du Mémoire de MM. Keesom et Tuyn sur l'échelle absolue. Les Notes qui me sont parvenues de M. F. Henning et de M. George K. Burgess ont montré qu'il restait encore, au début de l'année 1928, de nombreuses expériences à faire afin que l'on connaisse les constantes des gaz avec une précision suffisante pour que l'on puisse calculer les écarts entre l'échelle des thermomètres à hydrogène et à hélium et l'échelle thermodynamique. Cependant, une lettre reçue récemment de M. Henning fait espérer, pour un proche avenir, un mémoire complet sur les expériences faites à la Reichsanstalt, de telle sorte qu'une Conférence thermométrique pourrait probablement être utilement convoquée pour l'automne.

Une nouvelle détermination des dilatations absolues a été entre-

prise, et aurait pu être menée à bonne fin, si les perturbations causées par la basse température de l'hiver dernier ne nous avaient obligés à suspendre les mesures pour un temps assez long : le gel avait, en effet, interrompu l'arrivée du gaz, puis de l'eau.

On se souvient que les expériences, exécutées d'une façon concomitante avec le comparateur et avec l'appareil Fizeau, avaient montré de façon indubitable que toutes les règles en platine iridié de même provenance possèdent la même dilatabilité dans les limites de la précision actuelle, de beaucoup supérieure à celle que l'on obtenait à l'époque de l'étude primitive des prototypes ⁽¹⁾.

Déjà avec l'ancien comparateur, les mesures avaient été considérablement perfectionnées, ainsi qu'il a été dit dans mon dernier rapport.

Avec le nouveau comparateur, nous pourrions gagner encore ; aussi, nous sommes-nous décidés à faire une détermination, qui pourra être considérée comme définitive, au moins pour un grand nombre d'années.

Nous avons choisi quatre règles en platine iridié particulièrement importantes. D'abord nos deux étalons d'usage, n° 26 et Type 3 ; le prototype n° 20, identique comme composition au n° 26 ; enfin la règle Type 2, témoin de nos mètres d'usage.

Les règles n°s 20 et 26 ont été tracées avant 1889 ; Type 3 a été divisée en 1892 ; Type 2, enfin, a été repolie et tracée par J.-René Benoit en 1909. Ses traits sont nettement plus fins que ceux des autres règles et surtout beaucoup plus réguliers. L'image en a été reproduite dans mon dernier rapport au Comité, ainsi que celle des traits de la règle n° 26 (p. 25 et 27).

Suivant l'usage admis maintenant, nous n'avons exécuté les mesures qu'à trois températures, 0°, 18° et 36°, en suivant deux méthodes différentes : mesure au micromètre des variations de longueur des règles, puis emploi d'intervalles auxiliaires sur la règle de comparaison.

Pour ces mesures, les quatre prototypes ont été associés par groupes de deux. Enfin, nous avons réuni les quatre règles dans une grande opération, par laquelle nous avons déterminé la dilatation relative de chacune d'elles par rapport aux autres. Ces expériences devaient être faites, d'une façon indépendante, par

(1). *Rapports présentés au Comité pendant les réunions de 1920, 1921, 1923, 1925, 1927 : passim.*

quatre observateurs : MM. Pérard, Maudet, Volet et moi. Les déterminations de MM. Pérard et Maudet sont achevées; celles que nous devons faire, M. Volet et moi, ont été retardées par les causes relatées ci-dessus.

Je donnerai une idée des contrôles auxquels ces mesures ont été soumises en disant que la détermination relative seule a nécessité un ensemble de 96 séries de mesures par observateur, soit 384 séries en tout.

Afin d'économiser le temps et les peines de la préparation, ainsi que pour exposer le moins possible les règles aux dangers des manipulations, nous nous sommes répartis en deux groupes de manière à faire les mêmes observations successivement. En formant un seul groupe, il aurait été en effet impossible, pendant le temps de ces mesures, d'accomplir au Bureau un travail de longue haleine.

Nous nous réservons encore d'adopter un β définitif après une discussion étendue de tous les résultats. Pour le moment, nous avons accepté le même β que dans les déterminations précédentes, savoir $1,77 \cdot 10^{-9}$.

Voici les résultats des mesures de MM. Pérard et Maudet, pour α_0 :

	M. Pérard.		M. Maudet.		Moyenne. P. M. Calc.
	Obs.	Calc.	Obs.	Calc.	
<i>Dilatations absolues par la tare.</i>					
20.....	8,6240	8,6247	8,6344	8,6300	8,6273
26.....	8,6202	8,6247	8,6290	8,6307	8,6277
T ₃	8,6139	8,6150	8,6250	8,6189	8,6169
T ₂	8,6283	8,6264	8,6381	8,6309	8,6286
<i>Dilatations absolues par les intervalles auxiliaires.</i>					
20.....	8,6263		8,6277		
26.....	8,6259		8,6261		
T ₃	8,6169		8,6180		
T ₂	8,6261		8,6224		
<i>Dilatations relatives.</i>					
20-26...	-0,0027	0,0000	-0,0023	-0,0007	-0,0003
20-T ₃ ...	+0,0107	+0,0097	+0,0117	+0,0111	+0,0104
20-T ₂ ...	-0,0002	-0,0017	-0,0011	-0,0009	-0,0013
26-T ₃ ...	+0,008	+0,0097	+0,0126	+0,0118	+0,0107
26-T ₂ ...	-0,0017	-0,0017	+0,0006	-0,0002	-0,0009
T ₃ -T ₂ ...	-0,0120	-0,0114	-0,0133	-0,0120	-0,0117

Nous voyons donc que, d'après les déterminations de MM. Pérard et Maudet, les règles n^{os} 20, 26 et T₂ ont la même dilatabilité tandis que, pour la règle T₃, la dilatabilité diffère de la précédente d'environ — 0,011 millionième.

Les résultats que M. Volet et moi avons trouvés, tout incomplets qu'ils soient, conduisent aux mêmes conclusions.

M. Pérard a continué à assurer la vérification courante des calibres industriels envoyés au Bureau international. En particulier, pour répondre à une demande présentée par l'Aktiebolaget Johansson, il a exécuté, aux trois températures 7°, 14° et 21°, les mesures absolues et les comparaisons d'un certain nombre de calibres à bouts plans de 50^{mm} et de 100^{mm} appartenant les uns à cette maison, les autres au Bureau international. Les formules de dilatation résultant de ce travail sont reproduites ci-après.

Dilatations de calibres Johansson
déterminées en janvier-février 1928, entre 7° et 21°
 (en millionièmes).

Date approxi- mative de fabrication.	Désignation.		α_{10} .	α_{20} .
<i>Calibres de 50^{mm}.</i>				
Août 1925...	50G	11,580+0,00749 θ	11,730	11,879
Août 1925...	50H	11,701+0,00749 θ	11,851	12,001
<i>Calibres de 100^{mm}.</i>				
1911.....	100 ₂₀	11,537+0,00749 θ	11,687	11,837
1912 et 1918.	Moy. (100 _L 100 _M)	11,599+0,00749 θ	11,749	11,899
1924.....	100Y	11,561+0,00749 θ	11,711	11,861
Août 1923...	Moy. (100 _I 100 _R)	11,933+0,00749 θ	12,083	12,233

On avait trouvé, par des mesures faites autrefois au moyen de l'appareil Fizeau :

1912.....	15B _I	12,091+0,00749 θ	12,251	12,391
-----------	------------------	-------------------------	--------	--------

Le coefficient du terme quadratique ayant été pris constamment égal au nombre trouvé à l'appareil Fizeau sur un calibre de 15^{mm} entre 0° et 100°, et considéré comme plus précis, on voit que le terme du premier degré est assez variable d'un calibre

à un autre, sans cependant que les écarts atteignent, pour ces quelques calibres, l'ampleur constatée exceptionnellement par la Reichsanstalt.

Les valeurs absolues ressortant de ce travail ont également leur intérêt pour l'étude des variations de longueur dans le cours du temps.

Effectivement sur une nouvelle demande d'étude de la Société Jöhanesson, une détermination semblable a été faite récemment sur des calibres de 50^{mm} et 100^{mm}, dont la plupart étaient les mêmes que dans le travail précédent.

Les calibres de construction récente se sont allongés sensiblement : c'est ainsi que, entre janvier 1928 et mai 1929, les calibres de 50^{mm} (G) et (H), construits en 1925, ont augmenté respectivement de 0^μ,10 et 0^μ,08, la moyenne des calibres de 100^{mm} (I) et (K), de la même époque, a varié dans le même sens de 0^μ,45, alors que la moyenne des calibres de 100^{mm} (L) et (M), datant, l'un de 1912, l'autre de 1918, s'est augmentée de 0^μ,11; de même, le calibre de 100^{mm} (1004), établi en 1924, s'est accru de 0^μ,19 depuis avril 1927.

Au contraire, le calibre de 100^{mm} (10020), datant de 1911, ne se serait modifié, depuis janvier 1928, que d'une quantité (0^μ,02) inférieure aux erreurs possibles des observations; de même, les calibres de 50^{mm} (500) et (50 Bi), de la même époque, ont fait ressortir des valeurs sensiblement égales à celles qu'ils avaient constamment montrées autrefois. Il est vrai que les mesures anciennes, faites à l'aide de microscopes micrométriques, ne présentaient pas une précision comparable à celle de la détermination actuelle, et que l'incertitude sur la dilatabilité de ces calibrés (qui n'a jamais été mesurée exactement) limite l'approximation avec laquelle on peut affirmer leur parfaite stabilité.

Pour l'exécution des expériences à la température de 20° en hiver, une tentative de chauffage local, de l'enceinte où était contenu l'interféromètre, n'a pas été satisfaisante. Malgré toutes les précautions prises pour l'uniformisation, il s'établissait, par conductibilité métallique, un gradient de température entre le centre, où se trouvaient les calibres, et la périphérie de l'instrument, si bien que les thermomètres placés dans l'air indiquaient une température parfaitement stable, mais quelque peu différente de celle à laquelle se trouvaient portées les pièces à mesurer.

On a donc été obligé de maintenir la salle tout entière à la

température désirée, et, pour cela, de pourvoir de plaques de liège chacune des deux portes, avec interposition d'un matelas d'air; la grande glace servant à l'éclairage de la salle était également recouverte d'épaisses couches de liège aggloméré.

Pour donner satisfaction aux demandes de la Section technique de l'Artillerie, M. Pérard a déterminé, au moyen des interférences, non seulement un certain nombre de broches à bouts sphériques, mais encore un calibre cylindrique de moyenne dimension. La méthode employée par lui dans ce but ressemble à celle qui sert pour les calibres d'horlogerie, avec cette différence que la région à étudier doit pouvoir être choisie sur la longueur du cylindre, et que, pour cela, le calibre doit être tenu en équilibre sur une lame plan-parallèle de faibles dimensions latérales. Le cylindre a ainsi sa région à étudier comprise entre deux lames plan-parallèles (en l'espèce deux petits calibres Johansson), l'une qui adhère contre le plan d'acier inférieur, l'autre dont la seconde face produit les interférences avec le plan de référence.

Ainsi occupé par le travail courant, M. Pérard n'a pu reprendre que dans ces derniers mois les études, prescrites par le Comité, au cours de la dernière session, sur les nouvelles radiations lumineuses proposées par la Reichsanstalt comme étalons primaires ou secondaires (en particulier sur la raie 5401 du néon et la raie 5650 du krypton). Les lampes à krypton du modèle établi par M. Kösters sont d'une remarquable luminosité; malgré cela, dans les premiers essais, M. Pérard a été mal impressionné par la faible intensité relative de la raie 5650. Le pouvoir réfléchissant, très affaibli, des argentures de l'appareil Michelson datant de plusieurs années ne lui permettait pas de percevoir les interférences de cette raie. C'est seulement après la réfection de toutes les argentures, particulièrement réussies cette fois, que l'étude des radiations a pu être sérieusement entreprise.

Les résultats déjà acquis montrent que les longueurs d'onde ressortant de ce travail, seront en bon accord avec celles données par la Reichsanstalt.

Mais la question de savoir si la raie du krypton 5650 doit être substituée au rouge du cadmium comme étalon de longueur d'onde reste entière; quelque grandes que soient les qualités de finesse et de monochromatisme de cette raie, ce n'est pas un défaut négligeable pour la pratique que sa faible intensité relative.

M. Maudet, de son côté, a été très occupé par les multiples opérations que nécessite la mesure des fils géodésiques, dont le nombre, de plus en plus grand, nous crée un courant de travail très abondant. Il faut, en effet, déterminer la dilatabilité sur chaque livraison de fils, à leur arrivée, afin de supputer la température d'étuvage à laquelle ils devront être soumis pour obtenir, une fois terminés, une dilatation nulle. Puis il faut battre les fils pour faire disparaître les tensions, et les remettre au constructeur pour qu'il les munisse de leurs réglettes; et c'est seulement alors que l'on peut procéder à la mesure de leur longueur. Pour cette opération, qui nécessite le travail simultané de deux observateurs, M. Pérard a assuré à M. Maudet sa collaboration.

Dans la période écoulée depuis la dernière réunion du Comité, nous n'avons pas eu moins de soixante fils venus au Bureau pour leur première détermination, et au moins autant qui nous ont été renvoyés pour connaître leur équation après des mesures de bases.

A la détermination des fils, vient s'ajouter celle de la base elle-même, faite à la règle; cette mesure est effectuée régulièrement deux fois par an.

A ce propos, je ne saurais trop insister sur la nécessité, pour les géodésiens, de prévoir assez à l'avance les déterminations qui seront demandées au Bureau. A certaines époques, la base est encombrée de fils, et, étant donnée la règle, reconnue nécessaire, de faire dix mesures si l'on veut être certain du millionième, et la coutume que nous avons adoptée de faire une détermination par semaine, il faut, avec la pratique de mettre les fils sous tension pour s'assurer de la solidité des attaches, compter sur douze semaines de travail pour la détermination correcte d'un étalon, lorsque nous parvient la demande d'étude d'un fil neuf. Si l'on ajoute à cela les retards occasionnés par l'ajustage des fils chez le constructeur, il arrive que, malgré la meilleure volonté, nous ne puissions pas livrer un fil avant quatre ou cinq mois, comptés du jour de la demande d'étude. Enfin, il ne faut pas oublier que le râtelier auquel on accroche les fils est parfois tellement rempli qu'il serait dangereux d'en mettre davantage. On est obligé alors d'attendre, pour commencer l'étude de fils nouveaux, que des places soient devenues libres.

J'ai déjà parlé des fils destinés au contrôle des bases, envoyés à Teddington, puis à Charlottenburg. D'autres destinations sont prévues.

La détermination de la base murale suppose des mesures des règles géodésiques employées pour son contrôle. M. Maudet a effectué ces déterminations avec la collaboration de M. Bonhoure. Il a, de même, fait la mesure de deux étalons, appartenant l'un au Service géographique de l'Armée des Serbes, Croates et Slovènes, l'autre au Comité géodésique de l'U. R. S. S.

Avec la collaboration de M. Kwiatkowski, il a déterminé l'équation d'un étalon de 1^m et d'une règle de 0^m,25 appartenant à la Pologne.

M. Maudet a été, comme par le passé, chargé des pesées. Il a déterminé notamment un kilogramme en platine pour le Conservatoire, une pièce en or de 100 grammes pour le Gouvernement norvégien, un kilogramme en baros, avec densité, pour l'Université de Leyde, un autre pour le Gouvernement hollandais, deux kilogrammes, respectivement en laiton doré et en quartz, pour la Pologne, quatre pièces en platine pour M. Michelin, enfin huit pièces de 100 g à 1 mg pour le Laboratoire cryogène de Leyde.

Je mentionnerai, à cette occasion, une détermination que M. Maudet a faite, à la suite d'une discordance qui s'était produite à propos de lingots d'or venus d'Amérique en France, et qui, pour une quantité totale de dix milliards, portait sur deux millions.

Après avoir cherché les causes possibles de discordance dans la valeur admise pour l'once troy et dans la poussée de l'air, nous avons finalement offert les services du Bureau pour vérifier les poids qui avaient servi aux pesées, et constaté qu'une unité de 1 kg avait une masse trop forte de 53 mg; l'écart pour une masse de 10 kg était de 424 mg. Ces pesées de contrôle nous ont obligés à réétalonner les poids de la série Sauter.

Une partie de la discordance est expliquée par les écarts trouvés sur ces poids de précision non vérifiés, mais une autre partie, de sens contraire, doit être imputée aux poids américains.

Sur la demande de M. Sears, M. Maudet a effectué des calculs concernant la détermination du Yard par rapport au Mètre. Il a aussi prêté son concours à M. Pérard pour la réduction d'un certain nombre de mesures interférentielles.

M. Volet est plus particulièrement chargé de la mesure des dilatations. Outre le travail auquel il a collaboré pour l'étude

des prototypes, il a déterminé à nouveau la dilatation des étalons secondaires du Bureau, tels que la règle n° 48, les règles normales n° 1 et n° 2 en invar, une barre en invar, échantillon des décimètres fabriqués il y a trente ans. Il a trouvé, pour la plupart des étalons du Bureau, une légère différence par rapport à la première détermination. L'une des règles en invar sert à déterminer les étalons géodésiques.

Il a mesuré aussi la dilatation de l'acier Holtzer d'après un nouvel échantillon qui nous a été remis. Les déterminations faites au cours des trente dernières années, et qui portent sur quatre barres différentes, ont conduit à la formule :

$$\alpha = (10,419 + 00486\theta) \cdot 10^{-6}$$

avec de faibles écarts d'un échantillon à l'autre.

M. Volet a déterminé la dilatation de vingt-quatre tiges d'invar, qui ont été étuvées afin de connaître leur indice d'instabilité. C'est parmi des échantillons semblables que nous choisissons des coulées propres à fournir l'alliage des règles, et surtout des fils qui sont demandés au Bureau.

Parmi les autres travaux, je signalerai l'étude de diverses règles destinées à la Pologne, à la Commission géodésique hellénique, à l'U. R. S. S., et enfin de barres pour lesquelles un fabricant suisse avait indiqué des dilatations très différentes suivant la direction du laminage. Les mesures de M. Volet ont montré, entre ces diverses barres, de deux alliages différents, une remarquable concordance dans un même alliage.

Nous avons poursuivi l'étude des alliages CCR, qui a conduit à des résultats très remarquables, communiqués déjà à la Sixième Conférence générale. Mais, dans ces derniers temps, M. Volet a déterminé la dilatation de vingt-deux tiges de ces alliages, à l'état recuit et trempé. Les résultats en sont assez décevants, et nécessiteront encore une étude qui peut être assez longue.

La figure 1 représente les dilatations de ces alliages en fonction de leur contenu en chrome et en carbone.

Au cours des réductions effectuées sur les mesures faites par les thermomètres hypsométriques, j'avais été conduit à comparer la température d'ébullition de l'eau d'après les tables de Broch et les déterminations de Wiebe et de Chappuis. Ce dernier n'avait donné qu'un court résumé de ses mesures, paru dans les *Procès-Verbaux* relatifs à la session de 1900. Il a effectué d'autres

déterminations en 1901, mais il n'avait été fait qu'un calcul assez sommaire de ces résultats.

M. Volet a repris tous les calculs sur un plan uniforme, avec un nombre de chiffres suffisant pour ne pas introduire d'erreurs par les décimales négligées. Il a trouvé, contrairement à ce que montraient les formules de Chappuis, que les expériences de

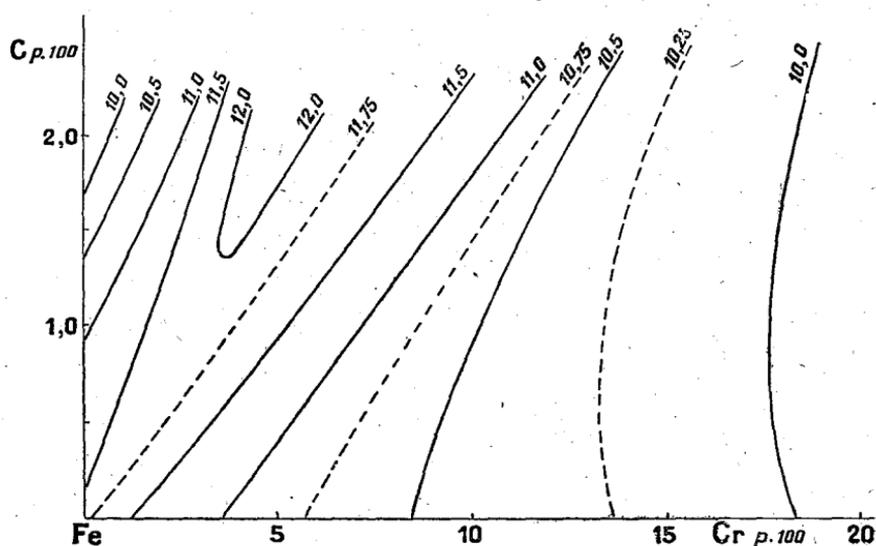


Fig. 1. — Dilatations en millièmes des alliages CCR en fonction de leur teneur en chrome et en carbone.

1900 et 1901 sont parfaitement concordantes. Il arrive à l'équation suivante, qui donne la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression exprimée en millimètres de mercure :

$$\theta = 50,4492 + 0,1066115 p - 71,8389 \cdot 10^{-6} p^2 + 22,8263 \cdot 10^{-9} p^3.$$

Les expériences couvrent l'intervalle de 550^{mm} à 825^{mm}.

M. Bonhure s'est presque exclusivement voué aux mesures à bouts. Il a fait d'abord une étude complète du comparateur Hartmann, après réfection de l'écrou et de la vis. Il a déterminé en particulier les erreurs de position des aiguilles, et l'erreur périodique de la vis, ainsi que la tare de celle-ci.

Il a exécuté, de même, la mesure de l'erreur progressive de la vis du microscope de la machine à mesurer, fait une étude du parallélisme des palpeurs, et une nouvelle détermination de l'effort exercé par ces derniers.

Dans le même ordre d'idées, M. Bonhoure a étudié, par auto-collimation, le défaut de rectitude des glissières ayant servi à la mesure des broches par la méthode d'Airy, en vue de leur utilisation à une nouvelle détermination de ces mêmes broches, à l'aide d'à bouts susceptibles d'être mesurés directement par les interférences. L'une de ces glissières a servi à la détermination d'une broche de 1 mètre appartenant au Bureau, par une méthode de contacts semblable à celle qui avait été employée par M. Benoît et moi pour mesurer les mètres à bouts en platine.

Il a déterminé aussi de nombreuses broches pour l'Atelier de précision de l'Artillerie de Madrid, pour le Gouvernement japonais, pour la Section technique de l'Artillerie à Paris, etc.

Il a fait, pour le Laboratoire central d'Électricité, une étude préliminaire d'un cylindre creux en silice. Ce cylindre doit être retouché, après quoi il nous sera rendu, pour être mesuré à nouveau.

M. Bonhoure a étudié onze thermomètres, et exécuté des mesures préliminaires sur les instruments nouveaux munis d'un réservoir en verre d'Iéna 16^{III}.

Enfin, il s'occupe de l'entretien de nos batteries d'accumulateurs.

La liste des certificats, reproduite ci-après, donne le détail des études achevées au Bureau, entre le 1^{er} septembre 1927 et le 31 mai 1929.

CERTIFICATS

DELIVRÉS DU 1^{er} SEPTEMBRE 1927 AU 31 MAI 1929.

1.	1927	Sept.	18.	Un fil géodésique de 24 ^m , n° 11, et un ruban de 4 ^m , n° 3.....	Institut géodésique de Kharkov.
2.	»	»	20.	Huit fils géodésiques de 24 ^m , n°s 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780 et 781; un fil de 8 ^m , n° 764, et un ruban de 4 ^m , n° 2518 F ₆	M. Adriano Maia, à Lourenço-Marquez.
3.	»	»	28.	Une pièce de 100 ^s en or.....	Norjes tekniske Høiskole, Trondhjem.
4.	»	Oct.	15.	Deux fils géodésiques de 24 ^m , n°s 782 et 783.....	Bureau central des mesures, Varsovie.
5.	»	»	20.	Règles de 1 ^m , n° 534, et de 0 ^m , 25, n° 533 (addition).....	Id.
6.	»	»	25.	Dilatation d'une règle en acier Holtzer.....	Section technique de l'Artillerie, Paris.
7.	»	Nov.	30.	Dix-neuf calibres (cylindres).....	Gouvernement japonais.
8.	»	»	30.	Cent quatorze étalons à bouts sphériques.....	Id.
9.	»	Déc.	7.	Deux calibres Johansson-Ford de 1 inch.....	Bureau of Standards, Washington.
10.	»	»	15.	Trois petits calibres cylindriques.....	Assortiments Gallay, Le Sentier.
11.	»	»	21.	Deux fils géodésiques de 24 ^m , n°s 50 et 64 (addition).....	Service hydrographique de la Marine française.
12.	»	»	29.	Quatre broches de 25, 50, 100 et 200 ^{mm}	Atelier de précision de l'Artillerie, à Madrid.
13.	»	»	29.	Un cylindre de 50 ^{mm} .	Id.
14.	»	»	29.	Un fil géodésique de 24 ^m , n° 624.	Institut géographique, Sofia.
15.	»	»	29.	Deux fils géodésiques de 24 ^m , n°s 285 et 286 (addition)....	Section technique du Ministère des Colonies des Pays-Bas.
16.	1928	Fév.	19.	Quatre fils géodésiques de 24 ^m , n°s 592, 596, 601, 602 (addition)	Institut cartographique militaire, Bruxelles.
17.	»	»	25.	Un ruban de 4 ^m , n° 2518 FM ₈ ..	Bureau central des mesures, Varsovie.

18.	1928 Mars	6.	Huit fils géodésiques de 2 ^m , n ^{os} 784, 785, 786, 787, 791, 792, 793 et 794; deux fils de 8 ^m , n ^{os} 765 et 766; deux rubans de 4 ^m , n ^{os} 2518 FM ₅ et 2518 FM ₆	Représentation commer- ciale en France de l'U. R. S. S.
19.	»	»	7. Un calibre Johansson [100 ⁺⁺ ++]	Aktiebolaget Johansson, Eskilstuna.
20.	»	»	7. Un calibre Johansson... [100 Y] (dilatation).....	Id.
21.	»	»	21. Quatre fils géodésiques de 2 ^m , n ^{os} 447 à 450 (addition).....	Ministère des Colonies, Lisbonne.
22.	»	»	24. Une broche en silice.....	Section technique de l'Ar- tillerie, Paris.
23.	»	Avril	11. Quatre fils géodésiques de 2 ^m , n ^{os} 164 à 167, et un ruban de 4 ^m H 240-4 (addition)..	Institut géographique mi- litaire, Prague.
24.	»	»	25. Quatre fils géodésiques de 2 ^m , n ^{os} 802 à 805, et un fil de 9 ^m , n ^o 813.....	Représentation commer- ciale en France de l'U. R. S. S.
25.	»	Mai	25. Étalon géodésique en invar (addition).....	Service géographique de l'Armée serbe-croate- slovène.
26.	»	»	30. Étalon géodésique en acier- nickel à 42 pour 100.....	Comité géodésique V. S. N. H., Moscou.
27.	»	»	30. Trois fils géodésiques de 2 ^m , n ^{os} 799 à 801, et un de 4 ^m , n ^o 767, un ruban de 4 ^m , n ^o 2509 G ₂	Institut de Géodésie de l'École Polytechnique, Varsovie.
28.	»	»	3. Règle de 1 ^m , n ^o 597.....	Commission géodésique hellénique.
29.	»	Juin	30. Quatre fils géodésiques de 2 ^m , n ^{os} 806, 807, 810, 811, un fil de 8 ^m , n ^o 788, et un ruban de 4 ^m , n ^o 2509 G ₁	Bandykt Munz, Lvov.
30.	»	Juillet	18. Huit fils géodésiques de 2 ^m , n ^{os} 279, 280, 281, 282, 673, 674, 675 et 683 (addition)...	Institut de Géodésie, Co- penhague.
31.	»	Sept.	1. Un fil de 2 ^m , n ^o 812.....	Régie générale de chemins de fer et travaux publics, Paris.
32.	»	Oct.	1. Un calibre Johansson de 100 ^{mm} .	Société « La Précision mé- canique », Paris.

33.	1928	Oct.	10.	Un fil de 24 ^m , n° 12.....		Wostwag, Berlin.
34.	»	»	17.	Une règle en acier-nickel à 42 pour 100, n° 332.....		Bureau national des me- sures, Varsovie.
35.	»	Déc.	1.	Quatre fils géodésiques de 24 ^m , n°s 834, 835, 836 et 837.....		Représentation commer- ciale en France de l'U. R. S. S.
36.	»	»	10.	Dilatation d'un ruban.....		M. Littlejohn, Wellington.
37.	»	»	26.	Six fils géodésiques de 24 ^m , n°s 460, 461, 462, 463, 179 et 200 (addition).....		Ministère des Colonies, Lisbonne.
38.	»	»	28.	Un kilogramme en baros.....		Université de Leyde.
39.	»	»	29.	Deux cylindres.....		Assortiments Gallay, Le Sentier.
40.	1929	Janv.	8.	Quatre fils géodésiques de 24 ^m , n°s 164 à 167 (addition)....		Institut géographique mi- litaire, Prague.
41.	»	Fév.	6.	Une échelle divisée en invar..		Université de Liège
42.	»	»	25.	Une règle n° 164 R (addition).		Société genevoise d'ins- truments de Physique, Genève.
43.	»	Mars	2.	Trois fils géodésiques n°s 127, 499, 500 (addition).....		Cadastré de l'Uruguay.
44.	»	»	5.	Huit fils géodésiques n°s 279, 280, 281, 282, 673, 674, 675 et 683 (addition).....		Institut de Géodésie, Co- penhague.
45.	»	»	15.	Un kilogramme en laiton doré.		Gouvernement polonais.
46.	»	Avril	10.	Quatre fils géodésiques n°s 634, 635, 636 et 637 (addition)...		Institut géodésique de Finlande.
47.	»	»	14.	Quatre fils géodésiques n°s 621, 622, 623, 624 (addition)....		Institut géographique de Sofia.
48.	»	»	15.	Cinq fils géodésiques n°s 235, 236, 237, 339, 340 (addition).		Service géographique de l'Indo-Chine.
49.	»	»	22.	Quatre fils géodésiques n°s 512, 513, 851, 852 (addition)....		Institut de Géodésie, Co- penhague.
50.	»	»	25.	Deux fils géodésiques n°s 838, 846.....		M. L. Viborel, à Shanghai.
51.	»	»	28.	Quatre fils géodésiques de 24 ^m , n°s 842 à 845, et un fil de 8 ^m , n° 815.....		École Polytechnique Tchèque, Brno.
52.	»	Mai	2.	Quatre fils géodésiques de 24 ^m , n°s 847 à 850, et un fil de 8 ^m , n° 817.....		Cadastré de Roumanie.
53.	»	»	4.	Quatre fils géodésiques de 24 ^m , n°s 853, 854, 855, 856, et un fil de 8 ^m , n° 816.....		Service hydrographique de la Marine française.

54.	1929	Mai	12.	Deux fils géodésiques de 48 ^m , n ^{os} 362 et 363, et un ruban de 4 ^m	} Service géographique, Athènes.
55.	»	»	15.	Six fils de 24 ^m , n ^{os} 6, 7, 8, 9, 580 et 582, deux fils de 8 ^m , n ^{os} 10 et 510, et un ruban de 4 ^m , n ^o 2.....	
56.	»	»	17.	Une règle de 1 ^m , n ^o 94217.....	Askania Werke, Berlin.
57.	»	»	17.	Douze cylindres-étalons.....	} Section technique de l'Ar- tillerie, Paris.
58.	»	»	20.	Un fil géodésique de 72 ^m , n ^o 277.	
59.	»	»	25.	Un ruban de 12 ^m	} Représentation commer- ciale en France de l'U. R. S. S.
60.	»	»	25.	Deux fils géodésiques de 24 ^m , n ^{os} 864 et 865.....	

NOTES D'ÉTUDE.

1.	1927	Nov.	4.	Dilatation d'une règle en laiton.	} Service géographique de l'Armée française.
2.	»	»	16.	Étalons pour mires de nivelle- ment.....	
3.	1928	Mai	15.	Étalons pour mires de nivelle- ment (addition).....	} Id.
4.	»	»	21.	Un pied à coulisse.....	
5.	»	»	22.	Huit déterminations de masses.	} Natuurkundig Laborato- rium, Leyde.
6.	»	Oct.	17.	Zéros de vingt thermomètres...	
7.	»	Déc.	12.	Zéros de six thermomètres.....	} Id.
8.	»	»	26.	Deux pièces de 10 ^g	
9.	1929	Janv.	8.	Zéros de six thermomètres.....	} Société du Gaz de Paris.
10.	»	»	10.	Mesure complémentaire des fils n ^{os} 673, 674, 675 et 683.....	

Les certificats, au nombre de soixante, atteignent le maximum de ceux que nous avons délivrés dans l'espace de vingt et un mois. Le nombre des déterminations demandées au Bureau tend donc à s'accroître, et il est nécessaire d'assurer constamment un strict emploi du temps pour suffire à toutes les études.

V. — COMPTES.

La stabilisation de fait du franc français dans le courant de l'année 1927, puis sa stabilisation de droit en mai 1928, ont mis fin aux incertitudes budgétaires du Bureau. Déjà, le Comité avait voté, en mars 1928, les appointements en francs-or avec effet rétroactif jusqu'en octobre 1927. Mais il restait les autres dépenses, dont la plupart étaient forcément soldées en francs français. Depuis la stabilisation du franc, toute indétermination a disparu de notre budget.

Nous avons gardé le dépôt de 245 000 francs dans l'Union de Banques Suisses. De plus, une partie des contributions ayant été versées en dollars, nous les avons déposées, sans transformer la monnaie, dans une banque américaine de Paris. Ces divers comptes peuvent être évalués en francs français stabilisés.

Nous donnerons d'abord le bilan de chacun des chapitres de la comptabilité, en renvoyant, pour le détail des Comptes III, IV et V, à des tableaux annexes; comme précédemment, ces tableaux couvriront sept exercices, afin de faciliter les comparaisons.

COMPTE I.

FRAIS D'ÉTABLISSEMENT ET D'AMÉLIORATION DU MATÉRIEL SCIENTIFIQUE.

D'après les <i>Procès-Verbaux</i> relatifs à la session de 1927 (p. 34), le Compte I possédait, au début de l'exercice de 1927, un actif disponible de.....	fr 70 871,98
Il s'est augmenté, au cours des exercices de 1927 et 1928, des sommes provenant des taxes de vérification.....	22 467,55
Total.....	<u>93 339,53</u>
Il a été débité des sommes énumérées ci-après :	fr
A M. Ragonot pour un groupe convertisseur.....	9 080,00
A divers entrepreneurs pour l'installation du nouveau comparateur.....	6 445,35
A MM. Jobin et Yvon pour un interféromètre.....	10 800,00
Total.....	<u>26 325,35</u>
Il a donc, au 31 décembre 1928, un solde actif, de....	<u>67 014,81</u>

COMPTE II.

FRAIS DES ÉTALONS ET TÉMOINS INTERNATIONAUX.

Le Compte II. possédait, au début de 1927, un actif disponible de.....	fr. 8576,80
Il n'a rien été porté à son débit.	
Il lui reste donc au 31 décembre 1928.....	<u>8576,80</u>

COMPTE III.

FRAIS ANNUELS.

Au début de l'exercice de 1927, le Compte III possédait un actif disponible de.....	fr. 420464,24
Au cours des deux exercices de 1927 et 1928, ses recettes ont été de.....	1333041,15
suivant le détail donné au Tableau III _a .	
Total.....	<u>1753505,39</u>

Les dépenses inscrites à ce compte au cours de ces exercices se sont élevées à..... fr. 1018219,87
suivant le détail du Tableau III_b.

On le trouve donc, à la fin de l'exercice de 1928, avec un actif disponible de..... 735285,52

Les États retardataires doivent encore, à cette date, 224827^{fr.},85.

COMPTE IV.

CAISSE DE SECOURS ET DE RETRAITES.

La Caisse de secours et de retraites possédait, au commencement de 1927, un actif de.....	fr. 76948,40
dont 74244 ^{fr.} ,70 en rente française 3 % (valeur d'achat) et 3171 ^{fr.} ,15 en espèces en caisse.	
Au cours des exercices 1927 et 1928, elle a reçu les sommes portées au Tableau IV _a , formant ensemble..	36437,05
Total.....	<u>113385,45</u>

Les sommes payées par elle et détaillées au Tableau IV, se montent à	30 842,30 ^{fr}
Il résulte de là que, à la fin de l'exercice de 1928, il figure à son actif une somme de.....	<u>82 543,15</u>
se décomposant comme suit :	
2309 ^{fr} de rente 3 %/o représentant, valeur d'achat.....	74 244 ^{fr} ,70
Espèces en caisse	8 298 ^{fr} ,55
Les avances du Compte III à la Caisse de retraites se montaient, le 31 décembre 1926, à.....	18 440,00
Au cours des exercices 1927 et 1928, la Caisse a remboursé au Compte III.....	<u>8 150,90</u>
Elle reste donc débitrice seulement de.....	10 289,10

Si l'on évaluait l'avoir du Compte IV au cours de 74^{fr},30 pour les 2309^{fr} de rente qu'il possède, on obtiendrait 57 186^{fr}, lesquels, joints à l'encaisse de 8298^{fr},55, représenteraient un actif de 65 484^{fr},55, contre un passif de 10 289^{fr},10, soit un solde net de 55 195^{fr},45.

**COMPTE V.
FONDS DE RÉSERVE.**

Le Compte V avait, au 1 ^{er} janvier 1927, en titres (valeur d'achat).....	134 648,35 ^{fr}
En espèces.....	10 780,80
En créance sur le Compte III.....	15 000,00
Total	<u>160 429,15</u>
Ses intérêts, en 1927 et 1928, forment un total de.	11 989,50
Il possède donc au 31 décembre 1928.....	<u>172 418,65</u>
Cette somme se décompose comme suit :	
Titres dont le détail est ci-après.....	159 407,30
Créance sur le Compte III.....	2 41,05
Espèces en caisse.....	12 770,30
Total égal.....	<u>172 418,65</u>

La créance de 241^{fr},05 provient du fait que, en 1927, le Compte V a encore prêté 10000^{fr} au Compte III, ce qui a porté la dette de celui-ci à 25000^{fr}, mais que le Compte III a remboursé en valeurs 24758^{fr},95. La différence de ces deux sommes représente bien 241^{fr},05 portés ci-dessus.

Voici le détail des valeurs possédées par le Compte V au 31 décembre 1928 :

2247 ^{fr}	de rente 3 0/0 ancienne,
1085	de rente 5 0/0,
284	de rente 4 0/0 1917,
1512	de rente 6 0/0,
570	de rente 3 0/0 amortissable.
450	de rente 5 0/0 1920.
24	Communes Foncier 1922.

Nous remarquerons en passant que, du fait de la revalorisation des titres, la valeur réelle des rentes 3 0/0, qui formaient seules le portefeuille d'avant-guerre du Bureau, a sensiblement augmenté depuis notre dernier Rapport. Le cours du 3 0/0 étant de 57^{fr} en 1927, les 2247^{fr} de rente du Fonds de réserve représentaient : 42693^{fr}. Aujourd'hui ils sont devenus au cours de 74^{fr},30, 55650^{fr}.

TABLEAU III_a. — Recettes du Compte III.

	1922.	1923.	1924.	1925.	1926.	1927.	1928.
CONTRIBUTIONS DES ÉTATS :							
	fr	fr	fr	fr	fr	fr	fr
Réglementaires de l'année.....	111147,40	116037,75	137918,00	193430,00	302414,00 —6281,00	480721,00	604703,53
Arriérées.....	75739,28	65270,00	121886,40	215258,00	49640,45	50909,20	104712,15
Anticipées.....	1199,25	—	—	56046,00	50,00	168,30	—
Remboursement par la Caisse des retraites.....	2818,45	8237,15	6750,00	3400,00	14500,00	—	1219,15
<i>Totaux</i>	190904,38	189544,90	266554,40	468134,00	360323,45	531798,50	710634,83
INTERÊTS BONIFIÉS :							
Par Caisse des Dépôts.....	1169,37	1234,22	1321,36	1740,42	899,85	1132,28	2237,86
Par Banquiers et divers.....	1604,34	1206,25	1497,77	5546,30	9070,40	3479,10	12272,33
<i>Totaux</i>	2773,71	2440,47	2819,13	7286,72	9970,25	4611,38	14510,19
Virements de divers comptes.....	—	—	—	—	38652,00	10965,66	60520,59
<i>Totaux</i>	193678,09	191985,37	269373,53	475420,72	408045,70	547375,54	785665,61

TABLEAU III_b. — Dépenses du Compte III.

	1922.	1923.	1924.	1925.	1926.	1927.	1928.
PERSONNEL :							
Directeur, Adjoint, Assistants, Calculateurs, Mécanicien, Personnel auxiliaire.....	fr 127780,20	fr 137615,05	fr 149549,05	fr 168023,35	fr 241027,95	fr 266468,25	fr 357683,55
Avance à la Caisse des retraites ...	—	—	—	—	—	1916,15	—
INDEMNITÉ DU SECRÉTAIRE....	8000,00	8000,00	8000,00	8000,00	8000,00	5666,70	15033,35
FRAIS GÉNÉRAUX D'ADMINISTRATION :							
Entretien des bâtiments, dépendances et mobilier.....	20401,20	13496,65	20142,45	23948,30	18075,80	26848,55	104508,55
Machines et instruments, frais d'atelier et de laboratoire.....	5070,75	4555,95	7762,15	7342,30	17397,55	12691,20	13202,30
Frais de chauffage et d'éclairage, gaz pour laboratoire et moteur.....	12728,87	15961,05	16443,00	16000,45	19839,70	18794,40	16659,30
Concession d'eau.....	199,20	118,90	164,40	—	—	—	—
Primes d'assurance.....	1331,85	1258,05	1066,70	1879,15	1960,55	2065,85	2070,55
Bibliothèque.....	3530,50	2428,55	5362,20	1810,20	8559,90	322,90	8400,42
Frais d'impressions et publications.	7583,35	4986,80	8434,80	11352,55	16583,40	61552,60	30090,25
Frais de bureau et de secrétariat...	3287,35	3175,00	3499,00	4412,45	4358,30	6700,20	9125,35
Frais divers et imprévus.....	6455,86	5473,13	5506,12	8500,00	12784,40	15757,40	17903,10
Installations nouvelles.....	629,00	2317,65	4946,15	—	—	—	—
Remboursement à la réserve	—	—	—	—	—	—	24758,95
<i>Totaux.....</i>	196998,13	199386,78	230876,02	251268,75	348587,55	418784,20	599435,67

TABLEAU IVa.

Recettes du Compte IV.

	1922.	1923.	1924.	1925.	1926.	1927.	1928.
Retenues sur les traitements ..	fr 3835,10	fr 4261,50	fr 4368,00	fr 4371,60	fr 5241,20	fr 4783,60	fr 13726,45
Intérêts du capital	2300,30	2301,35	2335,60	2396,80	2352,95	2358,95	2418,15
Part sur les taxes.....	1326,65	2758,50	3361,45	1692,00	5919,75	2385,85	8847,90
Avances du Compte III...	—	—	—	—	—	1916,15	—
Remboursement des Banquiers.	1018,15	—	—	—	—	—	—
<i>Totaux..</i>	8480,20	9321,35	10065,05	8460,40	13513,90	11444,55	24992,50

TABLEAU IVb.

Dépenses du Compte IV.

	1922.	1923.	1924.	1925.	1926.	1927.	1928.
Pensions	fr 6000,00	fr 575,00	fr 800,00	fr 820,00	fr 3721,75	fr 8775,15	fr 12000,00
Remboursement au Compte III.	2818,45	8237,15	6750,00	3400,00	14500,00	—	10067,15
<i>Totaux..</i>	8818,45	8812,15	7550,00	4220,00	18221,75	8775,15	22067,15

TABLEAU Va.
Recettes du Compte V.

	1922.	1923.	1924.	1925.	1926.	1927.	1928.
Intérêts du capital.....	fr 5319,30	fr 5621,30	fr 6645,90	fr 5965,65	fr 6180,55	fr 5928,85	fr 6060,65
Reçu du Compte III...	—	—	—	—	—	—	24758,95
Titres échus...	—	—	—	11500,00	—	—	—
<i>Totaux..</i>	5319,30	5621,30	6645,90	17465,65	6180,55	5928,85	30819,60

TABLEAU Vb.
Dépenses du Compte V.

	1922.	1923.	1924.	1925.	1926.	1927.	1928.
Achats de Rente.	—	fr 11784,00	fr 11500,00	—	—	fr 24758,95	—
Avance au Compte III...	—	—	—	—	fr 15000	10000,00	—
		—6500fr Bons + 24 Com- munales	11500fr de Bons.	—11500fr de Bons.			amort. + 570fr30/0 + 350fr50/0 amort.

En mettant à part les Comptes IV et V, nous pouvons, pour les deux années écoulées, présenter comme suit les dépenses du Bureau :

Payé pour le Compte I.....	fr 26325,35
» » II.....	—
» » III.....	1018219,87
Total.....	1044545,22

La vérification générale de la comptabilité du Bureau résulte de l'égalité entre la somme des actifs disponibles indiqués par les

Comptes I, II, III, et la somme des soldes restant effectivement, au même moment, à la Caisse des Dépôts et Consignations, dans les banques et dans la Caisse du Bureau.

Or, en récapitulant les résultats donnés plus haut, nous trouvons, au 31 décembre 1928, les actifs disponibles suivants :

Compte I.....	fr 67014,18
» II.....	8576,80
» III.....	<u>735285,52</u>
Total.....	<u>810876,50.</u>

Nous avons, à la même date :

A la Caisse des Dépôts et Consignations....	fr 253183,00
Au Crédit Commercial de France, en francs français.....	76984,80
A l'Union de Banques Suisses, en francs suisses.....	252643,50
Au Bankers Trust Company, en dollars....	148382,20
Au même, en francs français.....	45032,45
A la Société Générale.....	31389,05
A la Caisse du Bureau.....	3261,50
Total.....	<u>810876,50</u>

Cet actif, qui représente 165485^{fr} or, soit un peu plus d'une année de contributions, diffère en plus de celui relevé au 31 décembre 1926, de la somme de 310963^{fr},47. Cet excédant provient presque intégralement des suppléments de recettes pour 1927, année où 21 États ont payé sur le taux de 1928, laissant un boni de 233318^{fr}, et de l'incorporation au Compte III du solde du Fonds Stratton, soit 55108^{fr}.

Il appert que le Bureau sera en état, comme cela a été prévu, de faire face aux dépenses qu'occasionnera le fonctionnement de la Section d'électricité.

Il convient de noter que le Fonds de réserve aurait dû recevoir à cette date 40000^{fr}, pour les huit années écoulées depuis 1921, et de prévoir l'augmentation du Fonds de retraites.

Nous donnons ici la situation du compte ouvert sous le nom de *Fonds Stratton*, et constitué par le versement, effectué le 17 juillet 1926 à la Caisse de la Bankers Trust Cy, de \$ 3500.

Il a été porté au débit de ce compte, au cours des deux exercices de 1927 et 1928, conformément aux intentions des bailleurs :

Une machine à calculer.....	295 ⁰⁰
Divers appareils Chauvin et Arnoux.....	118,90
Deux factures Gauthier-Villars de 1928....	250,50
Une facture Adam Hilger.....	60,70
Total.....	<u>725,10</u>

Il reste donc disponible à ce compte la somme de

$$3500 - 725,10 = \$ 2774,90.$$

Cette somme est comprise dans le solde créditeur du Bureau à la Bankers Trust Cy, qui est au 31 décembre 1928 de \$ 5796,18.

M. le PRÉSIDENT annonce que la discussion des questions soulevées par le Rapport de M. le Directeur se fera dans les séances de Commissions, qui rapporteront ensuite dans les séances plénières. Toutefois, il offre la parole aux membres qui désireraient présenter des observations d'un caractère général.

M. le PRÉSIDENT demande quelle est la situation exacte de M. Edmond Guérin, engagé dans le personnel du Bureau depuis la dernière session du Comité. M. GUILLAUME répond qu'il a été engagé comme assistant à titre provisoire, et que lorsqu'il aura donné des preuves suffisantes de ses aptitudes, il sera titularisé.

Personne n'ayant d'autres questions à poser, M. le PRÉSIDENT remercie M. le Directeur de son intéressant Rapport, et le félicite, ainsi que ses collaborateurs, au nom du Comité, de tout le travail accompli au cours des deux dernières années.

M. le PRÉSIDENT demande qu'il soit procédé à la nomi-

nation des Commissions. Celles-ci sont constituées de la façon suivante :

Commission des Comptes et des Finances : MM. JOHANSEN, POSEJPAL, TANAKADATE.

Commission des Instruments et des Travaux : MM. CABRERA, GAUTIER, KÖSTERS, MACLENNAN.

M. le PRÉSIDENT invite les deux Commissions à se constituer pendant une suspension de séance. Il rappelle que MM. les Membres du Comité peuvent tous assister aux séances de l'une ou l'autre Commission.

La séance ayant été reprise, M. le PRÉSIDENT fait connaître que les deux Commissions se sont ainsi constituées :

Commission des Comptes et des Finances : Président, M. TANAKADATE; Rapporteur, M. POSEJPAL.

Commission des Instruments et des Travaux : Président, M. GAUTIER; Rapporteur, M. CABRERA.

M. le PRÉSIDENT invite ces Commissions à se réunir les jeudi 6 et vendredi 7, de façon à pouvoir présenter leurs premiers rapports à la séance plénière du samedi 8.

Préalablement, une séance plénière aura lieu le mercredi 5 à 14^h30^m, au Laboratoire central d'Électricité, 14, rue de Staël, pour la lecture du Rapport de M. le Secrétaire, l'élection de nouveaux membres du Comité et éventuellement de membres honoraires.

La séance est levée à 18^h.

PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,
TENUE AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ,

Mercredi 5 juin 1929.

PRÉSIDENCE DE M. V. VOLTERRA.

Sont présents :

MM. CABRERA, GAUTIER, GUILLAUME, ISAACHSEN, JOHANSEN, KÖSTERS, MACLENNAN, POSEJPAL, TANAKADATE.

La séance est ouverte à 14^h 15^m.

Le procès-verbal de la première séance est lu et adopté.

M. le PRÉSIDENT exprime la reconnaissance du Comité à M. Paul JANET pour l'hospitalité qu'il veut bien lui offrir dans les locaux du Laboratoire central d'Électricité. Il donne ensuite la parole à M. le Secrétaire pour la lecture de son Rapport sur la gestion du bureau du Comité depuis sa dernière session.

M. ISAACHSEN donne alors lecture du Rapport suivant :

RAPPORT

SUR LA GESTION DU BUREAU DU COMITÉ

POUR LA PÉRIODE COMPRISE

ENTRE LE 1^{er} SEPTEMBRE 1927 ET LE 31 MAI 1929.

I.

La période écoulée depuis la réunion du Comité en 1927 figurera certainement comme une des plus intéressantes de la vie du Bureau. Elle marque en effet l'ouverture d'une ère nouvelle, qui coïncide avec la célébration de son cinquantenaire.

Les mesures électriques ont été incorporées à notre domaine.

Cette importante addition aux attributions du Bureau est la conséquence du vote émis, le 4 octobre 1927, à l'unanimité, par la Septième Conférence générale sur le texte suivant :

« La Septième Conférence générale décide de donner pleins pouvoirs au Comité international des Poids et Mesures, après qu'il aura pris connaissance du Rapport du Comité consultatif d'Electricité, pour passer à l'exécution des stipulations de l'article 7 de la Convention de 1921. »

Cet article 7 était ainsi conçu :

« Après que le Comité aura procédé au travail de coordination des mesures relatives aux données électriques, et lorsque la Conférence générale en aura décidé par un vote unanime, le Bureau sera chargé de l'établissement et de la conservation des étalons électriques et de leurs témoins, ainsi que de la comparaison, avec ces étalons, des étalons nationaux et d'autres étalons de précision.

» Le Bureau est chargé, en outre, des déterminations relatives aux constantes physiques dont une connaissance plus exacte peut servir à accroître la précision, et assurer mieux l'uniformité, dans les domaines auxquels appartiennent les unités ci-dessus mentionnées.

» Il est chargé, enfin, du travail de coordination des déterminations analogues effectuées dans d'autres Instituts. »

Le Comité consultatif d'Électricité s'est réuni le 20 novembre 1928, sous la présidence de M. Volterra, puis de M. Paul Janet, Directeur de l'École supérieure d'Électricité de Paris et du Laboratoire central d'Électricité.

Il a immédiatement donné mission au Directeur du Bureau de s'occuper des travaux d'agrandissement nécessités par les nouvelles fonctions de l'Établissement.

On a pu commencer tout de suite le terrassement, l'Administration française des Domaines ayant bien voulu mettre à la disposition du Bureau, du côté Nord, la bande de terrain nécessaire aux nouvelles constructions.

C'est grâce à l'intervention bienveillante de l'*International Education Board* que le Bureau pourra faire face aux dépenses de ces constructions. Dans sa réunion du 23 novembre 1928 cette Institution a décidé en effet de mettre à notre disposition la somme de 900000^{fr.} Nous avons enregistré avec une extrême gratitude cette bonne nouvelle et cette marque de profond intérêt apporté à notre œuvre par l'*Education Board*.

Le devis présenté par M. R. Chameroy, architecte, s'élève à 857350^{fr.} Il comprend les travaux de fouille, de terrassement et de maçonnerie pour le mur de soutènement :

Cl. 125000

et pour les travaux de bâtiment proprement dits :

Terrasse et maçonnerie.....	375 000
Serrurerie.....	55 000
Charpente et couverture.....	98 000
Menuiserie.....	66 150
Escaliers.....	10 000
Plomberie.....	7 200
Peinture et vitrerie.....	12 000
Divers.....	60 000
Honoraires de l'architecte.....	49 000
Total.....	857 350

soit en nombre rond : 860000^{fr.}

II.

Nous venons d'avoir la très vive satisfaction d'enregistrer l'adhésion du Gouvernement des Pays-Bas à la Convention du Mètre. Après avoir été votée par les deux Chambres hollandaises, cette accession a été signée par S. M. la Reine, et communication en a été officiellement donnée par le Ministre des Pays-Bas à Paris à M. le Ministre des Affaires étrangères de France par lettre du 15 mars 1929.

A la suite de cette adhésion, le nombre des pays faisant partie de la Convention de 1875, modifiée en 1921, est porté à trente-deux. Elle a été annoncée au Bureau par la lettre suivante :

Paris, 20 mars 1929.

« Monsieur le Directeur.

» J'ai l'honneur de vous remettre, ci-jointe en copie, une lettre par laquelle le Ministre des Pays-Bas à Paris me fait part du désir de son Gouvernement d'adhérer, à partir du 1^{er} janvier 1929, à la Convention de Paris du 20 mai 1875, et à la Convention de Sèvres, du 6 octobre 1921.

» Je vous serais obligé de me faire connaître si je puis informer le Ministre des Pays-Bas que cette adhésion prend effet à la date ci-dessus et de m'indiquer le montant de la contribution annuelle de la Hollande aux dépenses de votre Bureau.

» Agréez, Monsieur le Directeur, etc.

» Pour le Ministre et par autorisation :

» *Le Ministre plénipotentiaire, Sous-Directeur,*

» GAUSSEN. »

A Monsieur Ch.-Ed. Guillaume, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures.

« Le Ministre des Pays-Bas à Paris

à Monsieur le Ministre des Affaires étrangères.

» J'ai l'honneur de porter à la connaissance de votre Excellence que je me trouve chargé de notifier au Gouvernement français l'adhésion des Pays-Bas (en ce qui concerne le Royaume en

Europe) à la Convention de Paris du 20 mai 1875 pour assurer l'unification internationale et le perfectionnement du Système métrique, et ses annexes, ainsi qu'à la Convention de Sèvres, en date du 6 octobre 1921, modifiant la Convention de 1875 et une de ses annexes. J'y ajoute que cette adhésion doit être considérée comme étant entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1929. »

M. le Directeur du Bureau a répondu dans ces termes :

Sèvres, le 22 mars 1929.

« Monsieur le Ministre,

» La bonne nouvelle contenue dans votre lettre du 20 mars nous cause un très vif plaisir. Il y avait bien longtemps que la Hollande nous témoignait le désir d'accéder à la Convention du Mètre, et seules, des considérations financières avaient empêché jusqu'ici son adhésion.

» Au sujet de la somme à payer, elle se composera de la contribution pour 1929 et d'une somme globale calculée sur ce que la Hollande aurait eu à payer si elle avait été adhérente à la Convention pendant les six années antérieures.

» Pour les années 1923, 1924 et 1925, la dotation totale du Bureau était de 250000 francs-papier. En 1926 et 1927, elle atteignait 300000 francs-papier, et, en 1928, 150000 francs-or. Mais, en 1927, un grand nombre d'États, répondant à l'appel que la France a fait en notre faveur, ont payé déjà sur le même taux qu'en 1928.

» Le calcul est fait ci-après, en supposant que la population de la Hollande soit de 7 millions 626000 habitants :

Année.	Taux en or du franc français.	Contribution de la Hollande. (francs stabilisés)
1923.....	0,34	5074
1924.....	0,30	4477
1925.....	0,28	4179
1926.....	0,20	3582
1927.....	0,20	3582
1928.....	0,20	8893
		<hr/>
	Total.....	29787

» Si la Hollande accepte de verser pour l'année 1927 au même

taux que pour 1928, c'est-à-dire 8893 francs au lieu de 3582 francs, le total de la somme s'élèvera à 36 172 francs stabilisés.

» Veuillez agréer, Monsieur le Ministre, . . .

» *Le Directeur du Bureau.*

» CH.-ÉD. GUILLAUME. »

Il a été d'autant plus agréable au Bureau d'enregistrer cette adhésion que les Pays-Bas avaient participé aux négociations qui ont abouti, en 1875, à la Convention du Mètre, et que leur délégué avait même pris part aux travaux de la Première Conférence générale, qui s'est tenue en 1889.

III.

Depuis sa dernière session, en 1927, le Comité a eu le regret de perdre trois de ses membres les plus appréciés.

M. le professeur Konovalov, Président de la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'U. R. S. S., est décédé le 6 janvier 1929 des suites d'une maladie dont il avait déjà ressenti l'atteinte lors de notre réunion de 1927. C'est une grande perte pour le Comité qui, dès le premier contact, avait senti qu'il avait fait en Konovalov une recrue d'une valeur hors de pair.

Je renouvelle ici à la famille de notre éminent Collègue les vives et sincères condoléances qui lui ont été déjà adressées par notre Président.

Ce n'est pas la mort, heureusement, qui a éloigné de nous M. L. Torres y Quevedo, mais ses occupations nombreuses et absorbantes. Prévoyant que ses travaux de laboratoire, ses recherches et ses fonctions officielles en Espagne ne lui laisseraient pas la liberté nécessaire pour s'occuper effectivement des affaires du Bureau, M. Torres a donné sa démission que le Comité a acceptée avec regret, tout en appréciant la délicatesse du sentiment qui l'avait inspirée.

Je souhaite à M. Torres la continuation et le développement des succès qu'il n'a cessé d'enregistrer dans le domaine de l'Automatique, dont il a fait une science, et qu'il continue à explorer.

Jusqu'au dernier moment, nous avons espéré conserver parmi nous M. de Bodola. Il était notre doyen. Pendant un tiers de siècle, il fut l'un des membres les plus dévoués du Comité.

L'affabilité de son caractère, l'étendue et la sûreté de ses connaissances, le souci éclairé qu'il prenait de la prospérité de notre Institution l'avaient fait justement aimer et apprécier de ses collègues. Les cinq années durant lesquelles il remplit les fonctions de Secrétaire l'avaient montré si actif que personne ne s'imaginait qu'il pût un jour se retirer. Il vient cependant de le faire, et nous avons dû nous incliner devant une résolution que M. de Bodola appuie sur l'âge et l'état de sa santé. Mais nous sommes certains qu'il sera, malgré tout et toujours, d'esprit et de cœur avec ce Comité qu'il a si utilement servi.

Le décès de M. Konovalov, auquel sera consacrée une prochaine Notice, est encore trop rapproché pour que le Comité ait pu le remplacer en se conformant aux usages.

Une élection faite par cooptation, et dont le résultat sera soumis à l'approbation de la prochaine Conférence générale, a amené parmi nous :

M. Blas Cabrera y Felipe, de Madrid;

M. V. Posejpal, de Prague;

M. E. S. Johansen, de Copenhague;

M. J.-C. MacLennan, de Toronto,

auxquels je suis particulièrement heureux de souhaiter ici la bienvenue.

IV.

Nous constatons avec satisfaction que le paiement des contributions des États s'effectue avec une régularité plus grande que par le passé. Vous verrez, par le tableau suivant, qu'à l'heure actuelle tous les États sont en règle avec la caisse du Bureau, jusqu'à la fin de 1928, sauf le Chili, l'Espagne et le Pérou.

Au cours de l'exercice de 1927, le Bureau a encaissé 531630^{fr}, et en 1928, 709415^{fr}.

Vingt et un États ont accepté de payer déjà en 1927 leur contribution en or, sur le taux admis à partir de 1928 de 150000 francs-or. De ce fait, le Bureau a eu un supplément de recettes de 233318^{fr} pour lequel nous adressons nos vifs remerciements aux Gouvernements qui ont accepté la proposition faite par la France à la fin de 1926. C'est ce supplément bénévole qui a relevé les finances du Bureau.

De 1924 à 1927 les contributions sont en francs-papier, en 1928 en francs-or.

ÉTATS.	CONTRIBUTIONS			DATES DES VERSEMENTS.				
	1924-1925.	1926-1927.	1928.	1924.	1925.	1926.	1927.	1928.
1. Allemagne.....	23838	28606	14492	VII 24	V 25	VIII 26	V 27	IX 28
2. Etats-Unis.....	37500	45000	22500	V 25	V 25	I 26	XI 28	XI 28
3. République Argentine.	3087	3704	1876	VII 24	V 26	V 27	V 27	VIII 28
4. Autriche.....	2400	2880	1459	IV 24	IV 25	V 26	VI 27	XI 28
5. Belgique.....	2963	3555	1802	XI 25	XII 26	X 27	XII 27	VIII 28
6. Brésil.....	10276	12331	6247	VI 27	VI 27	VI 27	VI 27	X 28
7. Bulgarie.....	1903	2284	1157	VII 24	III 25	VII 27	III 28	II 29
8. Canada.....	3273	3928	1990	VIII 24	VII 25	XII 26	XI 27	II 29
9. Chili.....	1570	1884	954	VIII 25	X 28	X 28	X 28	—
10. Danemark.....	1250	1500	750	II 24	II 25	I 26	VII 27	V 28
11. Espagne.....	8122	9746	4937	XII 25	I 26	II 26	XII 28	—
12. Finlande.....	1305	1566	750	II 24	II 25	II 26	XI 27	XI 28
13. France.....	17760	21312	10796	II 24	VIII 25	XII 26	XII 27	II 29
14. Grande-Bretagne.....	18041	21649	10215	V 24	III 26	III 26	II 27	III 28
15. Hongrie.....	2740	3288	1666	XI 24	VII 25	III 26	V 27	V 28
16. Irlande.....	»	1500	750	»	»	II 26	III 27	III 28
17. Italie.....	14305	17166	8607	IV 24	III 25	III 26	VII 27	V 28
18. Japon.....	30476	36571	18528	IV 24	IV 25	IV 25	VI 27	VI 28
19. Mexique.....	5917	7100	3597	III 25	III 25	VI 26	VI 28	X 28
20. Norvège.....	1250	1500	750	II 25	VIII 25	VIII 26	V 28	III 29
21. Pérou.....	1785	2142	1085	—	—	—	—	—
22. Pologne.....	»	12773	6471	»	XI 25	IX 26	XII 27	II 29
23. Portugal.....	2332	2798	1418	IV 25	X 25	III 27	V 27	XII 28
24. Roumanie.....	6365	7368	3870	VI 24	XII 25	VIII 26	II 28	II 29
25. Serbie.....	5630	6756	2860	IV 24	V 25	VIII 26	VII 27	IX 28
26. Siam.....	3381	4057	2055	XII 25	XII 26	XII 26	II 29	II 29
27. Suède.....	2262	2714	1375	V 25	V 25	V 26	V 27	VIII 28
28. Suisse.....	1519	1823	923	I 24	II 25	II 26	II 27	V 28
29. Tchécoslovaquie.....	5089	6107	3094	III 24	III 25	IV 26	II 28	VI 28
30. U. R. S. S.....	37500	45000	22500	VI 25	VI 25	V 26	IV 27	III 28
31. Uruguay.....	1250	1500	750	III 26	III 26	XI 26	XI 27	XI 28

Lorsque j'ai eu l'honneur de présenter au Comité mon dernier Rapport, vingt-quatre États avaient ratifié officiellement la Convention de 1921. Aujourd'hui il ne reste plus à attendre que les dépôts des instruments de ratification de la République Argentine, du Brésil, du Chili, du Pérou, de la Serbie et du Siam.

Voici maintenant, conformément à l'usage, les principales considérations générales formulées dans les deux Rapports financiers adressés en 1927 et 1928 aux Gouvernements adhérents à la Convention du Mètre.

Extrait du Rapport sur les Exercices de 1927 et de 1928.

La Septième Conférence générale des Poids et Mesures s'est réunie du 27 septembre au 6 octobre de cette année, et le Comité international a tenu de nombreuses séances entre le 20 septembre et le 8 octobre.

C'est au cours des six années précédentes que le Bureau international s'est occupé de la première des vérifications périodiques des mètres prototypes; et, à cette occasion, il a fait une étude approfondie de la dilatation du platine iridié qui a servi à les construire.

En 1889, on avait attribué, à chacun des mètres, une formule de dilatation, qui avait été donnée directement par l'expérience. Mais des recherches minutieuses et abondamment vérifiées ont amené à conclure que, pour les étalons d'une même coulée, il n'est pas possible de déceler la différence des dilatations par les observations les plus complètes et les plus précises. En conséquence, la même formule de dilatation sera appliquée aux étalons d'une même coulée.

Quant aux équations des prototypes, elles sont en général d'accord, dans les limites imposées par les meilleures observations, avec les valeurs portées aux certificats. Quelques étalons en diffèrent en plus ou en moins, de quantités très petites, dont il n'a pas été possible de fixer la cause. Le travail pourra être considéré comme achevé, lorsqu'un petit nombre de prototypes, qui n'ont pas encore été envoyés au Bureau, auront été soumis à la vérification. Le Comité international a reçu, de la Conférence, les pouvoirs nécessaires pour faire, aux certificats des étalons, les modifications dont l'expérience aura montré le bien-fondé.

Un grand nombre de mesures sont faites aujourd'hui en employant les méthodes interférentielles. Les résultats sont alors exprimés, d'abord en longueurs d'onde, et ne sont transformés en valeurs métriques qu'en adoptant, pour ces longueurs d'onde, un rapport déterminé avec le Mètre. Ce nombre pourra être modifié dans le cours du temps. au fur et à mesure que les valeurs métriques des longueurs d'onde seront mieux connues. Mais il a semblé qu'il fallait adopter un nombre unique pour l'époque actuelle.

Le Bureau a fait une étude approfondie de ces méthodes, et a exécuté la détermination d'étalons en quartz, dont le plus grand possède la longueur de 1 décimètre. D'autres sont en construction, et, dès qu'ils seront achevés, on déterminera leur valeur en longueurs d'onde lumineuses, de telle sorte que les laboratoires outillés pour faire des mesures de précision pourront en obtenir.

On a aussi fait au Bureau des recherches afin de déterminer la longueur d'onde apparente de diverses radiations prises dans le spectre du cadmium, du néon, du mercure et du krypton, telle qu'elle apparaît pour des différences de marche diverses du faisceau lumineux, en raison de phénomènes particuliers, engendrés par les satellites des raies spectrales.

La Première Conférence générale des Poids et Mesures avait défini l'échelle normale des températures comme étant celle qui est fournie par le thermomètre à hydrogène sous la pression initiale de 1^m.

Mais les progrès réalisés dans l'étude des propriétés des gaz permettent aujourd'hui de faire un pas de plus, et de rapporter les mesures de température à l'échelle absolue, fondée sur la connaissance de leurs propriétés thermodynamiques. Cette question a déjà été agitée par la Cinquième et la Sixième Conférence, mais à l'époque où elles se sont réunies, la question semblait prématurée. Il n'en est plus de même aujourd'hui, et le Bureau a pu, grâce à des collaborations extérieures, établir, avec une grande approximation, les valeurs numériques des corrections qu'il faut appliquer au thermomètre à hélium pour obtenir les températures dans l'échelle thermodynamique.

En attendant que ces corrections fussent définitivement fixées, les grands laboratoires nationaux d'Allemagne, des États-Unis et de Grande-Bretagne avaient proposé une série de températures fixes, exprimées aussi bien qu'on pouvait le faire dans l'échelle absolue, et des moyens d'interpolation (résistance électrique du

platine, thermocouple platine-platine rhodié, éclat des sources), qui permettront de fixer la valeur de toutes les températures accessibles. Une conférence thermométrique s'occupera de cette question.

La Convention du Mètre, modifiée en 1921, prévoyait que le Bureau international pourrait, par un vote unanime de la Conférence, être chargé de la comparaison des unités électriques. Ce vote a eu lieu. Les mesures d'exécution devront être d'abord examinées par un Comité consultatif d'Électricité, qui présentera un rapport au plus tard le 1^{er} mars 1929. Lorsque ce rapport aura été discuté par le Comité international, des dispositions générales seront prises pour la vérification des étalons des principales unités électriques.

Quelques délégués à la Conférence ont estimé qu'un intervalle de deux ans entre les réunions du Comité international est trop étendu pour qu'une question qui lui est posée puisse attendre sa prochaine réunion avant d'être résolue. En conséquence, on a proposé la formation d'un sous-Comité qui, avec le Directeur du Bureau, sera chargé d'examiner les questions nécessitant des décisions urgentes et de proposer éventuellement des sessions extraordinaires.

Les résolutions du Comité ont, pour la plupart, été transmises à la Conférence pour leur acceptation.

En plus, le Comité a, d'abord, pris connaissance des travaux exécutés dans ces deux dernières années, et qui consistent dans le remplacement de l'ancien comparateur à dilatation, dans la mise en service de la nouvelle base murale, ainsi que dans l'achèvement d'importantes publications, telles que le tome XVII des *Travaux et Mémoires* et le Livre du Cinquantenaire.

En ce qui concerne la base murale, elle permet aujourd'hui des déterminations relativement rapides et très précises de la longueur de 24^m, qui est celle des fils employés en géodésie. En conséquence, le Comité a repris une idée émise déjà lors de la Cinquième Conférence générale, et qui consiste à préparer un groupe de fils de 24^m, qui seront déterminés au Bureau, et envoyés à toutes les organisations disposant d'une base murale.

Le Bureau of Standards, ayant recommandé que l'on accepte, entre le Yard et le Mètre, une relation comprise entre celle qui est légale aux Etats-Unis et celle qui a été déterminée directement par un travail commun du Bureau international et de l'Administration britannique des Poids et Mesures, le Comité a

prié d'abord les délégations des Etats-Unis et de Grande-Bretagne de créer un accord, qui serait ensuite adopté par le Comité, puis sanctionné par la Conférence. Cet accord n'a pas encore été obtenu.

Le Bureau of Standards a proposé que la Conférence adopte la température de 20° pour celle à laquelle les étalons de longueur industriels doivent avoir leur valeur nominale. Mais cette question a paru trop grosse de conséquences et trop peu élucidée pour que le Comité puisse prendre une décision immédiate. En 1901, le Comité avait résolu de définir à 0° la valeur des étalons industriels, décision à laquelle se sont tenus les constructeurs de plusieurs pays. Mais, depuis cette époque, des apports techniques nouveaux ont incité plusieurs bureaux nationaux à se rallier à la température de 20°, de telle sorte que la question a perdu de son unité. Le Comité international a institué une Commission spéciale en vue de son étude complète, et en particulier des répercussions qu'une décision, dans un sens ou dans l'autre, pourrait avoir dans l'industrie.

Extraits du Rapport sur les Exercices de 1928 et de 1929.

Le Bureau a eu, cette année, à assurer l'exécution des décisions prises par la Septième Conférence générale des Poids et Mesures. Il s'agissait essentiellement de préparer les travaux concernant les unités et les étalons dans le domaine électrique, d'arriver à une opinion unanime au sujet de la température de définition des étalons industriels, et de mettre le Comité à même de prendre des décisions concernant l'équation complète des mètres. Cela, joint au programme, toujours assez chargé, de déterminations de toutes sortes imposées au Bureau, a suffi à l'occuper d'une façon continue.

Le Comité consultatif d'Électricité, institué par décision de la Septième Conférence générale, s'est réuni récemment. Les résultats de ses études et de ses délibérations paraîtront incessamment dans un Rapport qui est à l'impression (1).

Les nouvelles attributions du Bureau, se rapportant aux étalons fondamentaux dans le domaine électrique, exigent une nouvelle

(1) Ils ont été imprimés en février 1929.

organisation, et tout d'abord une extension du laboratoire, ce qui nécessite, d'une part, une mise de fonds assez considérable, et d'autre part, un accroissement des terrains à bâtir attribués au Bureau.

Grâce à l'aide généreuse du Gouvernement français et de l'*International Education Board* on a pu commencer les travaux. Le nouveau bâtiment doit faire suite à l'observatoire actuel. Il contiendra, au rez-de-chaussée, trois salles principales, dont le sous-sol sera aménagé pour les travaux que l'on peut prévoir. Au même étage, sera réservée une salle pour le dépôt des instruments anciens qui méritent d'être conservés. Pour le premier étage, on prévoit des bureaux, une salle de chimie, et un logement pour le gardien, qui remplira en même temps l'emploi de garçon de laboratoire. Les plans d'un chauffage et d'un aérage rationnels sont à l'étude.

Pour la question de la température d'ajustage des étalons à bouts, le Bureau a reçu plusieurs rapports nationaux concluant à une solution commune. Mais celui qu'on a demandé sur l'état actuel et sur les perspectives d'accord en Angleterre n'est promis que pour le mois de mai, et, par conséquent, ne nous parviendra probablement qu'immédiatement avant la réunion du Comité international.

• Pour les équations complètes des mètres, les mesures de dilatation sont assez concordantes pour que l'on puisse prendre des décisions en toute connaissance de cause. La précision est environ dix fois supérieure à celle qui avait été atteinte en 1889, et peut être maintenant considérée comme suffisante pour une longue série d'années.

La Cinquième Conférence générale avait, en 1913, « recommandé au Comité international d'autoriser le Bureau à organiser, entre les établissements possédant une base d'étalonnage, la circulation, en groupe, de fils d'invar bien déterminés, en vue de permettre la réalisation d'un accord sur la méthode de détermination de ces bases, ainsi que sur le procédé d'emploi des fils ».

Le Bureau, après quelques essais, avait provisoirement renoncé à donner suite à cette décision de la Conférence, et avait étudié les principes de la construction d'une nouvelle base murale. Celle-ci a été exécutée en 1926. Le Comité a dès lors décidé, l'an dernier, que des fils parfaitement étudiés au Bureau seraient envoyés comme contrôle des bases murales établies en divers pays. Ce contrôle a commencé. Il sera forcément assez long.

Je terminerai, Messieurs, en adressant mes remerciements sincères et cordiaux à mon aimable et distingué prédécesseur, M. L. de Bodola, qui a bien voulu, lors de notre réunion de 1927, remplir encore une fois les fonctions de Secrétaire, que mon état de santé ne me permettait pas d'assurer. J'ai été profondément touché de la sympathie qui m'a été témoignée dans cette circonstance et j'ai ressenti davantage encore l'honneur que le Comité m'a fait en m'appelant à occuper la place qu'ont si dignement tenue avant moi, Hirsch, Blaserna, Hepites, et M. de Bodola; Hirsch, de 1875 à 1901, Blaserna, de 1901 à 1918, Hepites, de 1918 à 1922, et M. de Bodola, de 1922 à 1927.

M. le PRÉSIDENT offre la parole aux membres du Comité qui auraient des observations à présenter au sujet de ce Rapport.

A propos des retards dans le paiement des contributions, M. GUILLAUME signale qu'ils ont sensiblement diminué. Actuellement, le Chili et l'Espagne sont en retard d'un an, et s'acquitteront sans doute prochainement. Par contre, le Pérou est en retard de cinq ans, malgré plusieurs réclamations successives. De nouvelles démarches seront faites auprès des autorités péruviennes.

M. MACLENNAN demande si, en dehors du Canada, d'autres dominions anglais ont adhéré à la Convention du Mètre. M. GUILLAUME répond par la négative; il ajoute que tous les ressortissants de l'Empire britannique bénéficient du tarif réduit lorsqu'ils utilisent les services du Bureau international.

M. le PRÉSIDENT demande si la Commission des suggestions, prévue par la dernière Conférence, se réunira pendant cette session. M. GUILLAUME répond que cette Commission devait se composer de MM. VOLTERRA, GAUTIER et lui-même, puis de MM. P. JANET et SEARS; tous deux ont accepté d'en faire partie, mais M. SEARS a fait connaître qu'il lui sera impossible de se rendre à

Paris pendant la session. Si la Commission juge utile de se réunir, elle présentera un Rapport à l'une des prochaines séances.

M. le PRÉSIDENT remercie alors M. le Secrétaire de son intéressant Rapport; la discussion en aura lieu dans les séances des Commissions, puis en séance plénière.

L'ordre du jour appelle ensuite l'élection des membres honoraires et de nouveaux membres du Comité.

Sur la proposition de M. le PRÉSIDENT, MM. DE BODOLA et TORRES Y QUEVEDO sont élus membres honoraires par acclamation.

Le Comité procède à l'élection de trois nouveaux membres, en remettant à plus tard de pourvoir aux deux autres places vacantes.

Au scrutin secret, MM. MICHEL CHATELAIN (de Leningrad), CONSTANTIN STATESCU (de Bucarest), et PIETER ZEEMAN (d'Amsterdam) sont élus.

La prochaine séance est fixée au samedi 8 juin à 15^h.

PROCÈS-VERBAL

DE LA TROISIÈME SÉANCE,
TENUE AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ.

Samedi 8 juin 1929.

PRÉSIDENTE DE M. V. VOLTERRA.

Sont présents :

MM. CABRERA, CHATELAIN, GAUTIER, GUILLAUME, ISAACHSEN, JOHANSEN, KÖSTERS, MACLENNAN, POSEJPAL, TANAKADATE.

La séance est ouverte à 15^h 10^m.

Le procès-verbal de la précédente séance est lu et adopté.

M. le PRÉSIDENT informe le Comité que MM. CHATELAIN et STATESCU ont accepté leur nomination de membres du Comité, prononcée dans la précédente séance. M. CHATELAIN, présent à Paris, prend place parmi ses Collègues, et M. le PRÉSIDENT lui souhaite une cordiale bienvenue. Il lui demande ensuite de vouloir bien faire partie de la Commission des Instruments et des Travaux.

M. le PRÉSIDENT annonce que M. KARGATCHIN lui a donné mandat de le représenter et de voter pour lui dans la session actuelle.

M. le PRÉSIDENT prie alors M. TANAKADATE de donner lecture du premier Rapport de la Commission des Comptes et des Finances, qui est rédigé en ces termes :

**Premier Rapport de la Commission des Comptes
et des Finances.**

La Commission, composée de MM. Johansen, Posejpal et Tanakadate, s'est réunie une première fois le 4 juin 1929, au Pavillon de Breteuil, pour se constituer. Elle a nommé M. Tanakadate président et M. Posejpal rapporteur.

Elle a ensuite examiné les comptes du Bureau, ainsi que les documents originaux, et a trouvé que tout est dans un ordre parfait; elle propose donc au Comité de donner décharge au Directeur, M. Guillaume, pour sa gestion de 1927 et 1928.

Le Rapporteur,

V. POSEJPAL.

Le Président,

A. TANAKADATE.

M. le PRÉSIDENT remercie M. TANAKADATE et met aux voix les conclusions de ce Rapport. A l'unanimité, le Comité approuve les Comptes du Bureau international des Poids et Mesures pour les exercices 1927-1928 et en donne décharge pleine et entière à M. le DIRECTEUR.

M. le PRÉSIDENT donne ensuite la parole à M. CABRERA pour la lecture du Rapport de la Commission des Instruments et des Travaux; ce rapport est ainsi conçu :

**Rapport de la Commission des Instruments
et des Travaux.**

La Commission, composée de MM. Cabrera, Gautier, Kösters, MacLennan et Chatelain, s'est réunie une première fois, le 4 juin, au Pavillon de Breteuil pour se constituer. Elle a nommé M. Gautier président, et M. Cabrera rapporteur.

Elle a tenu ensuite, les 6 et 7 juin, deux longues séances au Laboratoire central d'Électricité, auxquelles ont assisté tous les autres membres du Comité présents à Paris, ainsi que MM. Pérard, Maudet et Volet, adjoints, invités.

La Commission a décidé tout d'abord de scinder son étude des documents présentés en deux parties concernant, l'une la conti-

nuation des activités anciennes du Bureau, et l'autre les travaux relatifs aux unités électriques.

A la séance du 7 juin, plus spécialement consacrée à l'extension du programme du Bureau pour l'étude des étalons électriques, assistaient, en outre, M. Janet, directeur, et M. Jouaust, sous-directeur du Laboratoire central d'Électricité. M. le Président du Comité a saisi cette occasion pour remercier M. Paul Janet de l'hospitalité qu'il veut bien accorder, cette année, au Comité et à ses Commissions pour tenir leurs séances à Paris dans la Bibliothèque du Laboratoire.

Puis le Président de la Commission a exprimé à ceux qui avaient assisté, en novembre 1928, aux importantes séances du Comité consultatif d'Électricité, MM. Volterra, Janet, Guillaume et Jouaust, présents, la reconnaissance du Comité international pour le travail considérable que ce Comité consultatif a mené à chef, et qui a trouvé son expression dans l'Annexe contenant les Procès-verbaux de ses séances et le Rapport de M. Burgess, adopté à l'unanimité par le Comité consultatif.

I. — Propositions du Comité consultatif.

Il est d'abord décidé à l'unanimité de recommander au Comité international l'adoption des propositions suivantes énoncées dans le Rapport du Comité consultatif :

A. A l'égard du système des unités :

1^o Considérant la grande importance qu'il y a à unifier les systèmes de mesures électriques sur une base dépourvue de tout caractère arbitraire, le système absolu, dérivé du système C. G. S., devra être substitué au système des unités internationales, pour toutes les déterminations scientifiques et industrielles.

2^o Comme il n'est pas possible de fixer, dès maintenant, avec toute l'exactitude désirable et dont ils sont susceptibles, les rapports qui existent entre les unités absolues, dérivées du système C. G. S., et les unités internationales de courant, de force électromotrice et de résistance, telles qu'elles ont été définies par le Congrès international de Chicago de 1893 et la Conférence de Londres en 1908, la Commission émet le vœu que des

recherches soient poursuivies dans ce but dans les laboratoires convenablement outillés, suivant un programme préalablement étudié en accord avec le Comité consultatif d'Électricité.

B. Le Bureau international des Poids et Mesures établira :

« 1° Un secrétariat central pour organiser un échange systématique d'étalons et assurer la synthèse des résultats des comparaisons faites par les Laboratoires nationaux ;

» 2° Un laboratoire auquel les étalons matériels représentant les résultats obtenus dans divers pays pourront être apportés pour des comparaisons précises ;

» 3° Un dépôt d'étalons de référence et d'étalons de travail, y compris les étalons d'inductance et de capacité, avec les installations nécessaires pour la comparaison d'autres étalons avec ceux du Bureau. »

C. Le Comité international des Poids et Mesures, sous l'autorité que lui donne la Conférence générale, aura la responsabilité de décider et de promulguer les valeurs à employer pour les étalons pratiques, et déterminera la date d'une révision nouvelle. A cet effet, et pour les dispositions des déterminations expérimentales et les analyses en résultant, le Comité consultatif continuera à donner son avis au Comité international pour les fonctions que la Conférence générale lui a déléguées.

D. Le Comité international des Poids et Mesures fera, auprès des autorités compétentes, les démarches nécessaires en vue d'obtenir des facilités particulières, pour le passage aux frontières, de colis, accompagnés ou non, qui contiendraient des étalons.

Agrandissement des laboratoires. — En rapport avec les fonctions nouvelles du Bureau international, la Commission a étudié le projet d'agrandissement des laboratoires du Bureau ; et en tenant compte des buts immédiats auxquels ils sont appelés à servir, estime qu'elle doit proposer au Comité international son approbation, des projets tels qu'ils ont été arrêtés, à moins qu'on ne puisse obtenir la substitution, au fer, d'autres matériaux et procédés de construction, sans une trop grande élévation du prix du bâtiment. On prévoit la possibilité de constructions spéciales éloignées de tous champs magnétiques artificiels pour les mesures absolues.

II. — Travaux concernant la continuation des activités anciennes du Bureau.

La Commission reprend les sujets traités dans le rapport du Directeur, et saisit cette occasion pour exprimer à M. Guillaume et à ses collaborateurs les remerciements de la Commission et du Comité pour les travaux exécutés à Sèvres depuis la session de 1927 concordant avec la Septième Conférence générale.

1. *Publications.* — La Commission propose au Comité de décider, conformément à la proposition de M. le Directeur, la publication du tome XVIII des Travaux et Mémoires, qui contiendra les Comptes rendus, déjà imprimés, des Sixième et Septième Conférences générales, l'exposé des progrès du Système métrique en 1921, puis trois Mémoires en cours d'impression : Mémoire de M. Guillaume, qui, sous le titre : *Nouvelles études thermométriques*, résume des expériences anciennes; Mémoire de M. Pérard intitulé : *Applications pratiques des interférences lumineuses à l'étude des calibres industriels et autres longueurs à bouts*; enfin, un Mémoire de M. Volet résumant et complétant les travaux de Chappuis des années 1900 et 1901 sur la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression.

2. *Température de définition des étalons à bouts.* — Plusieurs problèmes qui ont été posés au Bureau par le Comité attendent encore une solution pour différents motifs. C'est le cas pour la question des étalons en quartz, puis pour la température de définition des étalons à bouts industriels; à ce propos, la Commission signale l'intérêt de l'Annexe contenant les rapports et travaux de MM. Kösters, Burgess, Johansson, Cellierier, et les remarques de M. Guillaume, concluant, comme il le dit aussi dans son rapport, que les Comités nationaux réunis à Prague ont adopté la température de 20° pour la définition des étalons. Il manque seulement encore la décision et le rapport de la Grande-Bretagne.

3. *Échelle absolue.* — En ce qui concerne l'échelle absolue pour les températures, M. Guillaume communique les lettres échangées avec M. Keesom et M. Henning, d'où il résulte que la question reste ouverte, et sera ultérieurement tranchée, peut-

être dans une conférence thermométrique prévue pour cet automne.

4. *Dilatation de prototypes et d'autres étalons.* — Parmi les travaux en cours, la Commission signale que l'étude des dilatations des quatre règles en platine iridié, n° 20, 26, T₃ et T₂, sera prochainement terminée. Les résultats déjà obtenus permettent de constater, une fois de plus, que les règles en platine iridié de même provenance possèdent la même dilatabilité.

Pour la dilatation des calibres Johansson, on a trouvé des différences faibles, toujours inférieures à celle constatée exceptionnellement par la Reichsanstalt. D'autre part, quelques calibres nouveaux ont présenté une variation avec le temps dont l'interprétation n'est pas encore éclaircie.

5. *Raies spectrales.* — L'étude des raies spectrales nouvelles, proposées pour être adoptées comme étalons de longueur d'onde, ne permet pas de conseiller leur substitution à la raie rouge du cadmium. A ce propos, la Commission signale avec reconnaissance le don fait au Bureau par M. Tanakadate d'un nouveau modèle perfectionné de la lampe Sugiura. La note y relative sera publiée comme Annexe aux Procès-verbaux de la session.

6. *Fils géodésiques.* — Le Bureau assure l'étude de fils neufs et aussi de fils qui ont servi à la mesure d'une ou de plusieurs bases, et lui sont renvoyés pour la détermination de leur équation. La demande de l'une ou l'autre catégorie de ces fils devient chaque jour plus importante, et à certains moments, elle excède les possibilités du Bureau. C'est pour cela que la Commission juge à propos de prier les services géodésiques nationaux de formuler leurs demandes beaucoup plus longtemps à l'avance.

M. Tanakadate a apporté à la Commission l'exposé d'une méthode nouvelle pour la mesure directe des fils géodésiques en longueurs d'onde lumineuses, dont l'auteur est M. Watanabe. La Commission propose que cette note soit publiée comme Annexe aux Procès-Verbaux de la présente session.

Le Rapporteur,

B. CARRERA.

Le Président,

R. GAUTIER.

M. le PRÉSIDENT déclare la discussion ouverte, et un

assez long entretien s'engage sur divers points du Rapport.

Les propositions du Comité consultatif d'Électricité, telles qu'elles sont consignées au paragraphe B du Rapport de M. CABRERA, sont adoptées, en remplaçant les mots « Secrétariat central » par le mot « organisme », étant bien entendu qu'il ne s'agit nullement d'une fonction séparée, mais que le nouvel organisme fera partie intégrante du Bureau international et fonctionnera sous la dépendance étroite de son Directeur.

En ce qui concerne la collaboration ultérieure du Comité consultatif d'Électricité, le Comité international est d'avis qu'elle se poursuive tant que l'utilité s'en fera sentir. Ce Comité comprend des représentants des divers Laboratoires nationaux d'Électricité, et il importe de pouvoir y introduire les délégués des pays où de nouveaux laboratoires de ce genre viendraient à être créés. D'autre part, ses fonctions doivent conserver un caractère consultatif, les décisions à prendre restant du ressort du Comité international.

Le Comité décide donc d'ajouter à la résolution proposée au paragraphe C du Rapport de M. CABRERA la phrase suivante : « Le Comité international des Poids et Mesures établira un règlement relatif à l'organisation et aux fonctions du Comité consultatif. »

Le Comité charge MM. CABRERA et GUILLAUME d'établir un projet de règlement dans ce sens.

Enfin, le Comité examine le vœu relatif à la substitution aux poutres en fer de poutres en bois ou de voûtes dans la construction des bâtiments pour l'électricité, en vue de permettre l'exécution de mesures absolues en l'absence de tout champ magnétique.

M. CHAMEROY, architecte des bâtiments, consulté, estime l'emploi de voûtes impraticable. La substitution de

poutres en bois est possible, au prix de nombreuses complications et d'un relèvement très sensible des devis, étant donnée la grande portée de ces poutres. M. CABRERA pense que la suppression des poutres en fer ne résoudrait pas le problème posé, à cause des grosses masses de fer dans les laboratoires voisins. Pour les mesures absolues, il vaudra mieux prévoir une petite construction amagnétique spéciale dans les jardins. MM. KÖSTERS, POSEPAL et CHATELAIN sont du même avis, et M. GUILLAUME ajoute qu'il sera sans doute facile, le moment venu, d'obtenir de l'Administration des Domaines l'autorisation de construire un petit pavillon dans le Parc de Saint-Cloud, loin de toute ligne électrique et de toute masse de fer.

M. MACLENNAN trouve les bâtiments prévus beaucoup trop petits, étant donné le développement ultérieur probable des services. M. GUILLAUME répond que ce point n'a pas échappé aux auteurs du projet, mais que l'on s'est trouvé en face de deux difficultés à peu près insurmontables : l'obtention d'un terrain plus étendu et celle des ressources nécessaires. La construction en cours réalise le maximum des possibilités actuelles.

M. TANAKADATE demande si les plans du bâtiment ont été approuvés par le Comité consultatif d'Électricité.

M. GUILLAUME répond que les plans définitifs n'étaient pas dressés au moment de la réunion de ce Comité, mais le principe des constructions lui a été soumis et il l'a approuvé. Depuis lors, M. JANET, qui a eu connaissance des plans définitifs, les a également approuvés.

M. le PRÉSIDENT met aux voix l'approbation des plans, qui est prononcée à l'unanimité.

L'ensemble des conclusions de la première partie du

Rapport de M. Cabrera est approuvé, sous réserve des quelques additions ou modifications qui précèdent.

M. CABRERA ajoute qu'en ce qui concerne la question des étalons photométriques soulevée également par le Comité consultatif, il est d'avis d'en remettre la solution à plus tard, après une étude plus approfondie qui pourrait être demandée à ce Comité.

M. CHATELAIN signale que la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'U. R. S. S. avait déjà discuté ce sujet avant la réunion du Comité consultatif. L'industrie de l'éclairage se trouve en face de grosses difficultés par suite de l'absence d'unités fixes, et tous les techniciens apprécieraient une décision prochaine dans ce domaine. On pourrait donc nommer une petite Commission préparatoire qui ferait un Rapport à la prochaine session du Comité international, ou charger le Comité consultatif d'Électricité de poursuivre l'étude de la question.

M. CABRERA pense que cette dernière solution est préférable; cependant il serait utile que ce Comité ne comprît pas seulement des spécialistes de l'éclairage électrique, mais aussi des membres au courant de l'éclairage au gaz.

M. CHATELAIN est chargé de présenter à une prochaine séance un projet de résolution dans ce sens.

M. le PRÉSIDENT ouvre ensuite la discussion sur la seconde partie du Rapport de la Commission, concernant la continuation des activités anciennes du Bureau.

Personne ne demandant la parole, le Rapport est mis aux voix et adopté à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT donne ensuite la parole à M. Guillaume pour une communication sur la situation financière du

Bureau à la fin de 1928, en vue de l'établissement du budget des années à venir.

La Commission des Comptes et des Finances est chargée de présenter un Rapport sur ce sujet à l'une des prochaines séances.

Un des membres du Comité étant obligé de quitter Paris avant la fin de la session, et le Comité ayant été suffisamment renseigné sur la situation financière, M. le PRÉSIDENT propose de mettre dès maintenant aux voix la fixation de la dotation du Bureau pour les années 1930 et 1931.

A l'unanimité, la dotation du Bureau international, fournie par les vingt-huit États adhérents à la Convention du Mètre en 1921, est fixée à 150 000 francs-or pour chacune des années 1930 et 1931.

Comme précédemment, les États ayant adhéré postérieurement fourniront une contribution calculée suivant le même taux.

La prochaine séance est fixée au mercredi 12 juin, à 15^h.

La séance est levée à 17^h 45^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA QUATRIÈME SÉANCE,

TENUE AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ,

Mercredi 12 juin 1929.

PRÉSIDENTE DE M. V. VOLTERRA.

Sont présents :

MM. CABRERA, CHATELAIN, GAUTIER, GUILLAUME, ISAACHSEN, JOHANSEN, KÖSTERS, POSEJPAL, TANAKADATE.

La séance est ouverte à 15^h 15^m.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté après quelques rectifications.

M. le PRÉSIDENT annonce que M. MAC LENNAN a dû quitter Paris et a donné pleins pouvoirs pour le représenter à M. ISAACHSEN.

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. GUILLAUME pour la lecture du projet de règlement concernant la composition et les fonctions du Comité consultatif d'Électricité.

Un entretien s'engage à ce sujet. M. CABRERA pense que le nombre des membres du Comité consultatif d'Électricité, fixé à dix dans le projet, pourrait être porté à quinze au maximum, pour permettre au Comité international de faire appel au concours de spécialistes autres que les représentants des Laboratoires nationaux; mais il ne serait pas nécessaire, dès le début, de pourvoir à toutes les places disponibles, et, d'autre part, le nombre des spécialistes ne devrait pas dépasser celui des autres délégués.

En outre, en plus des convocations du Comité consultatif faites sur l'initiative du Comité international, on pourrait prévoir des réunions convoquées sur la demande de la moitié au moins des membres du Comité consultatif.

MM. CABRERA et GUILLAUME sont chargés de rédiger un texte définitif qui sera mis aux voix à la prochaine séance.

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. CHATELAIN pour la lecture du projet de résolution concernant la question des mesures et des unités de lumière. Il est ainsi conçu :

1° Le Comité international des Poids et Mesures, considérant l'importance qu'il y a à unifier les méthodes employées en photométrie, décide d'entreprendre l'étude de la question de l'adoption d'un système international des unités de lumière.

2° Dans ce but, le Comité international charge le Comité consultatif d'Électricité de le conseiller sur toutes les questions relatives aux méthodes de mesures et aux unités et étalons de lumière.

3° Le Comité international des Poids et Mesures donne pouvoir au Comité consultatif de solliciter, pour l'étude de ces questions, la collaboration des Laboratoires nationaux et de la Commission internationale d'éclairage.

Ces propositions sont adoptées à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. POSEJPAL pour la lecture du deuxième Rapport de la Commission des Comptes et des Finances. Il est rédigé en ces termes :

Deuxième Rapport de la Commission des Comptes et des Finances.

La Commission a tenu une seconde séance le 11 juin. Tous ses membres étaient présents, ainsi que les autres membres du Comité actuellement à Paris.

La Commission propose au Comité :

1° Que l'on établisse une réserve de 300 000^{fr}, qui seront pris, savoir : 200 000^{fr} constituant à très peu près l'excédant des recettes sur les dépenses de 1928, et une somme de 100 000^{fr} sur l'excédant de l'année 1929. Cette réserve doit être employée : a) aux dépenses d'installation des nouveaux laboratoires, particulièrement à l'achat des instruments nécessaires aux comparaisons du domaine de l'électricité; b) à l'installation du chauffage et de la ventilation de l'Observatoire;

2° Que les appointements du personnel soient augmentés de 10 pour 100; il est laissé au directeur du Bureau la faculté de donner des augmentations plus considérables aux débutants.

Le bureau du Comité a pleins pouvoirs pour apporter à ces propositions toutes modifications qu'il jugera utiles dans les cas imprévus;

3° Que le budget soit arrêté comme suit :

<i>A. Personnel.</i>	Francs-or.
Directeur.....	18 000
Adjoints.....	27 500
Assistants, archiviste-comptable, calculateurs, mécanicien, dactylographe, garçon de bureau.....	42 800
<i>B. Indemnité du Secrétaire.....</i>	3 000
<i>C. Frais généraux d'administration.</i>	
Entretien des bâtiments.....	5 000
Machines et instruments, frais d'atelier et de laboratoire.....	4 000
Frais de chauffage et d'éclairage.....	5 000
Primes d'assurances.....	800
Bibliothèque.....	1 800
Frais d'impression et de publications.....	9 000
Frais de bureau et de secrétariat.....	1 500
Installations et travaux.....	5 000
Divers et imprévus.....	5 000
Déplacements.....	5 000
Travaux urgents de réparation.....	8 000
Somme réservée.....	20 229
Total.....	162 119

M. le PRÉSIDENT ouvre la discussion sur ce Rapport. Le paragraphe 1 est réservé jusqu'à la prochaine séance, où le Comité sera exactement fixé sur l'importance de certaines dépenses relatives aux nouvelles constructions.

Les paragraphes 2° et 3° sont adoptés à l'unanimité.

M. GUILLAUME communique une lettre de M. SEARS, faisant remarquer qu'il n'a pu trouver nulle part un tableau complet des décisions du Comité international et des Conférences générales des Poids et Mesures, et qu'il lui semblerait très utile de les réunir.

M. GUILLAUME ajoute qu'un tel exposé figure en annexe aux Procès-Verbaux de la session de 1901 pour toutes les décisions prises jusqu'à cette date. Il y aurait lieu de refaire ce travail et de le publier en annexe aux Procès-Verbaux de la présente session ou des Comptes rendus de la prochaine Conférence générale.

Le Comité décide la publication de ce travail dans les Procès-Verbaux de sa présente session.

La prochaine séance aura lieu le jeudi 16, à 15^h.

La séance est levée à 17^h.

PROCÈS-VERBAL

DE LA CINQUIÈME SÉANCE,

TENUE AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ,

Judi 13 juin 1929.

PRÉSIDENTE DE M. V. VOLTERRA.

Sont présents : MM. CABRERA, CHATELAIN, GAUTIER, GUILLAUME, ISAACHSEN, KÖSTERS, POSEJPAL, TANAKADATE.

M. CHAMEROY, architecte, assiste à la première partie de la séance.

La séance est ouverte à 15^h20^m.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté.

M. VOLTERRA donne connaissance au Comité des pouvoirs que lui a laissés M. JOHANSEN, obligé de retourner à Copenhague.

Au sujet de la décision concernant les appointements du personnel du Bureau international, M. GUILLAUME demande si l'augmentation prévue pour les années 1930 et 1931 ne pourrait prendre date à partir du 1^{er} juillet 1929, l'élévation du coût de la vie faisant déjà sentir ses effets depuis plusieurs mois.

Après discussion, le Comité décide d'autoriser M. le Directeur du Bureau à appliquer l'augmentation à partir de juillet 1929, en imputant celle-ci au chapitre « Frais

divers et imprévus » du budget 1929, dans la mesure des sommes disponibles à ce chapitre, et si cette manière de procéder est correcte.

M. le PRÉSIDENT annonce qu'il a reçu de M. ZEEMAN un télégramme l'informant qu'il accepte sa nomination comme membre du Comité.

L'ordre du jour appelle le vote sur le paragraphe 1^o du deuxième Rapport de la Commission des Comptes et des Finances, qui avait été réservé.

Les renseignements fournis par l'architecte sur les frais d'installation du chauffage central et de l'aération étant conformes aux prévisions, ce paragraphe, mis aux voix, est adopté.

M. le PRÉSIDENT donne lecture du projet de règlement fixant la composition et les fonctions du Comité consultatif d'Électricité.

Ce projet est adopté avec une légère addition.

Le Comité décide que le règlement ne sera pas publié avant d'avoir été communiqué au Comité consultatif dans sa prochaine session, pour qu'il puisse faire connaître ses remarques s'il y a lieu. En attendant, le règlement sera considéré comme provisoire; il ne deviendra définitif qu'après son adoption dans la prochaine session du Comité international.

Le Comité décide d'autre part que le Comité consultatif, tel qu'il est actuellement composé, sera invité à se réunir dans l'intervalle d'une année environ, afin de considérer, d'une part, l'installation des laboratoires d'électricité, d'autre part la question de la photométrie.

M. CHARLES MARIE, directeur des Tables internationales de Constantes et Données numériques, demande à recevoir les Travaux et Mémoires du Bureau international. Le

Comité décide que l'envoi lui en sera fait à l'avenir à titre gracieux.

M. GUILLAUME donne lecture d'une lettre de M. SEARS formulant des suggestions complémentaires à la proposition présentée à la dernière séance et concernant la publication d'un recueil de toutes les décisions du Comité international et de la Conférence générale depuis l'origine.

M. GAUTIER propose qu'on s'en tienne pour le moment au travail dont l'impression a été décidée par le Comité. Une fois publié, le Comité examinera les suggestions qui peuvent s'en dégager et prendra une décision à sa prochaine session.

Cette proposition est adoptée.

La prochaine séance aura lieu le vendredi 14, à 15^h 30^m, au Bureau international.

La séance est levée à 16^h 45^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA SIXIÈME SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Vendredi 14 juin 1929.

PÉSIDENCE DE M. V. VOLTERRA.

Sont présents :

MM. CABRERA, CHATELAIN, GAUTIER, GUILLAUME,
ISAACHSEN, KÖSTERS, POSEJPAL, TANAKADATE.

La séance est ouverte à 15^h40^m.

Le procès-verbal de la précédente séance est lu et adopté.

A propos du procès-verbal, M. GUILLAUME annonce qu'il a consulté, au Ministère des Affaires Étrangères, M. Gaussen, Ministre plénipotentiaire, Directeur du Service des Unions internationales, sur la possibilité d'imputer au chapitre des « Frais divers et imprévus » du budget de 1929 les augmentations de traitement du personnel. M. Gaussen l'a assuré que cette façon de procéder est parfaitement correcte.

M. le PRÉSIDENT propose que l'on porte à la connaissance des journaux scientifiques les décisions du Comité consultatif d'Électricité, maintenant qu'elles ont été approuvées par le Comité international. Cette proposition est adoptée.

La séance est alors suspendue pour permettre la visite réglementaire du Dépôt des prototypes par les membres du Comité.

A la reprise de la séance, M. ISAACHSEN donne lecture du procès-verbal suivant constatant les résultats de cette visite :

PROCÈS-VERBAL

DE LA VISITE DU DÉPÔT DES PROTOTYPES.

Le 16 juin 1929, à 16^h30^m, en présence des membres du Comité assistant à la séance de ce jour, et du personnel scientifique du Bureau, il a été procédé à la visite du Dépôt des Prototypes métriques internationaux.

Les deux portes de fer du Caveau ayant été ouvertes, ainsi que le coffre-fort qui contient les prototypes, on a constaté, dans ce dernier, la présence des prototypes métriques et de leurs témoins.

Sur les instruments météorologiques enfermés dans le coffre-fort, on a relevé les indications suivantes :

Thermomètre à mercure et alcool, à maximum et minimum :

Température maximum.....	16° (?)
» minimum.....	9°

Thermomètre Tonnelot à mercure :

Température actuelle.....	11°
---------------------------	-----

Hygromètre à cheveu..... 100 pour 100

On a constaté que la pression de l'air, dans le tube de laiton fermé contenant le témoin n° 13, était de 740^{mm} inférieure à la pression atmosphérique de ce jour.

On a alors refermé le coffre-fort ainsi que les portes du Caveau.

Le Secrétaire,
D. ISAACHSEN.

Le Président,
VITO VOLTERRA.

A propos de ce procès-verbal, M. GAUTIER demande s'il

serait possible d'effectuer les réparations des murs et du plafond du caveau, et en même temps de remplacer les instruments météorologiques : thermomètres et hygromètre, qui ne paraissent plus donner des indications très exactes. Le Comité donne son accord pour la réparation, et, dans ce but, M. le Président remet à M. GUILLAUME une des clefs dont il a la garde.

M. GAUTIER tient, avant la clôture de la session, à exprimer à M. le Président, à M. le Secrétaire et à M. le Directeur du Bureau, les remerciements de leurs Collègues pour la façon distinguée dont ils ont organisé, puis conduit les nombreuses séances de la présente session.

M. le PRÉSIDENT le remercie au nom du bureau du Comité et adresse ses félicitations à M. le Directeur, aux adjoints et à tout le personnel du Bureau pour le travail considérable qu'ils ont fourni au cours des deux dernières années. Il remercie ses Collègues de leur assiduité aux séances et des décisions qu'ils ont prises; ces décisions auront une grande importance pour l'avenir du Comité et du Bureau international. Une nouvelle phase s'ouvre dans l'existence de ce dernier par l'adjonction des mesures électriques; de nombreux et importants travaux sont en perspective. M. le Président et ses Collègues sont persuadés que le Bureau se montrera plus que jamais à la hauteur de sa tâche.

Le présent procès-verbal est lu et adopté.

M. le PRÉSIDENT déclare alors close la session du Comité international des Poids et Mesures de 1929.

La séance est levée à 17^h20^m.

Le Secrétaire,
D. ISAACHSEN.

Le Président,
VITO VOLTERRA.

M. le Directeur du Bureau a reçu, au premier courrier du 15 juin, une lettre à lui adressée par le Bureau hydrographique international lui communiquant la décision suivante :

« Le Mille Marin international aura une longueur égale à 1852 fois celle du prototype international du Mètre. »

Cette définition a été acceptée déjà par les Gouvernements de l'Allemagne, du Danemark, de la France, de la Grèce, de l'Islande, du Japon, de la Norvège et de la Suède.

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

RAPPORT,

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES DE 1928

ET

ANNEXES.



LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

Président :

M. le Sénateur V. VOLTERRA, Président du Comité international des Poids et Mesures.

Président délégué :

M. PAUL JANET, Directeur du Laboratoire central d'Électricité.

Membres :

Pour la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, *Berlin* :

M. le Professeur VON STEINWEHR, Membre de la Reichsanstalt.

Pour le Bureau of Standards, *Washington* : M. le

D^r GEORGE K. BURGESS, Directeur du Bureau of Standards.

Pour le National Physical Laboratory, *Teddington* : M. le

D^r D. W. DYE, Assistant au National Physical Laboratory.

Pour le Laboratoire central d'Électricité, *Paris* : M. R.

JOUAUST, Sous-Directeur du Laboratoire.

Pour le Laboratoire Électrotechnique de l'École Royale d'Ingénieurs, *Rome* : M. le Professeur L. LOMBARDI, Directeur du Laboratoire.

Pour le Laboratoire Électrotechnique, *Tokyo* : M. SEIKICHI JIMBO, Assistant au Laboratoire.

Pour la Chambre centrale des Poids et Mesures, *Lenin-grad* : M. le Professeur D. KONOVALOV, Président de la Chambre centrale.

Pour le Bureau international des Poids et Mesures, *Sèvres* : M. CH.-ÉD. GUILLAUME, Directeur du Bureau.

Experts :

M. F. MALIKOV, Sous-Directeur de la Chambre centrale, Adjoint au professeur Konovalov.

M^{me} A. FOEHRINGER, de l'Observatoire Géophysique de *Lenin-grad*, Adjoint au Professeur Konovalov.

Invités :

M. J. BLONDIN, Directeur de la *Revue générale de l'Électricité, Paris*.

M. A. PÉRARD, Adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, *Sèvres*.

M. L. MAUDET, Adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, *Sèvres*.

M. C. VOLET, Adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, *Sèvres*.

COMITE CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

SESSION DE 1928

PREMIER RAPPORT

DU COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ
AU COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES,

par M. George K. BURGESS, Rapporteur.

Le Comité international des Poids et Mesures a adopté, le 4 octobre 1927, la proposition suivante ratifiée par la Septième Conférence.

« Le Comité international des Poids et Mesures approuve l'organisation d'un Comité consultatif d'Électricité ayant pour objet de conseiller le Comité international des Poids et Mesures sur les questions relatives aux systèmes de mesure et aux étalons électriques.

» Ce Comité consultatif sera limité à dix membres et composé :

» 1° D'un représentant de chacun des Laboratoires nationaux désignés par le Comité international;

» 2° Des spécialistes nominativement désignés par le Comité international.

» Le Président du Comité consultatif d'Électricité sera pris parmi les membres du Comité international, et désigné par lui.

» Les Mémoires présentés par la Délégation britannique et par la Délégation des États-Unis sont renvoyés à l'examen du Comité consultatif d'Électricité.

» Un rapport sur ce sujet devra être présenté au plus tard le 1^{er} mars 1929. »

En accord avec les termes de cette résolution, les six laboratoires nationaux désignés par le Comité international ont nommé les représentants suivants :

Pour la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Berlin :
M. le professeur von Steinwehr, Membre de la Reichsanstalt.

Pour le Bureau of Standards, Washington : M. le D^r George K. Burgess, Directeur du Bureau of Standards.

Pour le Laboratoire central d'Électricité, Paris : M. R. Jouaust, Sous-Directeur du Laboratoire.

Pour le National Physical Laboratory, Teddington :
M. le D^r W. Dye, Assistant au National Physical Laboratory.

Pour le Laboratoire électrotechnique, Tokyo : M. Seikichi Jimbo, assistant au Laboratoire.

Pour la Chambre centrale des Poids et Mesures, Leningrad :
M. le professeur D. Konovalov, Président de la Chambre centrale.

Deux membres ont été élus à titre nominatif : M. le professeur L. Lombardi, Directeur du Laboratoire électrotechnique de l'École royale d'Ingénieurs, Rome, et M. Ch.-Éd. Guillaume, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, Sèvres.

Aux termes de la résolution, il reste deux places à remplir par le Comité international. M. Volterra, comme Président de ce Comité, a gracieusement consenti à

présider nos séances, et il a rendu de grands services en dirigeant nos délibérations sur les questions générales; tandis que M. Paul Janet, comme Président délégué, a contribué, de la façon la plus efficace, au progrès des questions techniques présentées devant le Comité.

On verra, par les Procès-Verbaux ci-joints, que le Comité s'est réuni à Sèvres le 20 novembre, et à Paris les 21 et 22 novembre 1928.

Le Comité désire exprimer sa gratitude pour l'hospitalité que lui ont offerte le Bureau international des Poids et Mesures et le Laboratoire central d'Électricité, ainsi que pour la coopération donnée par les membres de ces deux Institutions. Il ne peut omettre de mentionner les précieux services de M^{me} Foehringer, secrétaire du Comité.

Assistaient aussi aux séances du Comité M. Malikov, Sous-Directeur de la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'U. R. S. S., à Leningrad; MM. Pérard, Maudet et Volet, Adjointes au Bureau international des Poids et Mesures, et M. Blondin, Directeur de la *Revue générale de l'Électricité*, à Paris.

Sur la proposition de M. Volterra, le Comité a été très heureux de prier MM. W. Jaeger et F. E. Smith, membres du Comité technique international qui s'est réuni à Washington en 1910, de prendre part aux travaux futurs du Comité, au titre de Membres d'honneur, assurant ainsi la liaison avec ceux projetés par la Conférence de Londres de 1908:

L'excellent compte rendu donné dans les Procès-Verbaux facilite la tâche du rapporteur pour les questions traitées dans les séances. De même, deux mémoires remarquables sur quelques problèmes techniques qu'avait à traiter le Comité, soumis d'avance par ses membres et distribués par les soins de M. Guillaume, rendent inutile ici la discussion de ces problèmes.

Les deux mémoires dont il est question ci-dessus ont été publiés en Annexes aux *Comptes rendus des Séances de la Septième Conférence générale des Poids et Mesures* réunie en 1927 (p. 90-93 et 102-108). D'autres, préparés pour la session du Comité consultatif, sont imprimés à la suite des Procès-Verbaux qui suivent ce rapport. Pour les questions de détail, on peut se référer à ces contributions, auxquelles le rapporteur n'a rien à ajouter. Son rapport est constitué par un résumé de la situation générale et des conclusions du Comité, avec mention des matières les plus importantes incluses dans les quelques mémoires qui lui ont été soumis.

L'opportunité et l'importance de ce projet du Comité international sont démontrées par le fait que les délégués ont bien voulu venir de pays lointains; tous les membres du Comité consultatif se sont trouvés réunis. Ses travaux ont été facilités par des réunions préliminaires des groupes nationaux intéressés aux problèmes électriques dans presque tous les pays représentés; les délégués se sont sentis de ce fait appuyés dans les positions qu'ils étaient préparés à maintenir.

Ajoutons que l'esprit cordial et les buts désintéressés du Comité sont nettement démontrés par cette circonstance heureuse que toutes les décisions à rapporter furent votées à l'unanimité.

Problèmes présentés au Comité consultatif. — L'étendue de la tâche assignée au Comité consultatif « de conseiller le Comité international des Poids et Mesures sur les questions relatives aux systèmes de mesure et aux étalons électriques » est si grande qu'elle ne pouvait évidemment pas être accomplie dans les quelques mois précédant la date fixée pour le premier rapport du Comité. Il parut certain qu'il faudrait des

années pour préciser tous les détails nécessaires à l'établissement initial d'un système satisfaisant de mesures.

En conséquence, le Comité consultatif est d'avis que ce premier rapport ne doit traiter que de deux problèmes généraux, savoir :

1° Les principes fondamentaux sur lesquels on peut baser le système des mesures électriques;

2° Un plan général pour l'emploi le plus efficace de l'outillage des établissements scientifiques adaptés à ce genre de travaux : Laboratoires nationaux de recherches et de vérification et Bureau international des Poids et Mesures.

Certaines propositions demandaient que les unités et étalons de lumière et de radio-fréquences fussent pris en considération. Sur l'avis de M. Volterra parlant comme Président du Comité international, on a estimé que la décision à prendre concernant ces sujets doit rester audit Comité, qui aura à décider si ces questions sont du domaine du Comité consultatif.

Systèmes d'unités. — Les valeurs des unités électriques internationales d'usage courant aujourd'hui, dérivées d'abord du système électromagnétique : centimètre-gramme-seconde, et actuellement définies par un système d'étalons arbitraires, sont indépendantes des unités fondamentales. Comme conséquence des erreurs expérimentales dans les dérivations originales, les unités électriques actuelles ne sont pas exactement d'accord avec lesdites unités.

Il est donc évident que dans les cas où la possibilité se présente de combiner les mesures électriques avec les mesures mécaniques et thermiques, on doit saisir l'occasion de faire disparaître les écarts qui existent entre les

deux systèmes. Un système unique est éminemment désirable.

Les raisons de cette unification des systèmes ont été clairement exprimées dans le rapport du *National Physical Laboratory Committee on Electrical Units and Standards*, signé de Sir Richard Glazebrook (pour les rapports cités, voir les Annexes). Les Comités analogues de la *Société française des Électriciens* et de l'*Associazione elettrotecnica italiana* sont arrivés aux mêmes conclusions que le Comité britannique. Aux États-Unis, non seulement un Comité consultatif spécial, constitué auprès du *Bureau of Standards*, a fortement appuyé la proposition que les unités électriques soient reliées aux unités absolues ou mécaniques, mais encore l'*American Institute of Electrical Engineers* a émis un vote formel en faveur de cette proposition. Le *Laboratoire électrotechnique* du Japon et la *Chambre centrale des Poids et Mesures de l'U. R. S. S.* sont également d'accord. Dans le rapport allemand on accepte la proposition de définir et contrôler les unités électriques par des mesures absolues, mais on y manifeste une préférence pour la conservation aussi exacte que possible des valeurs actuelles en usage pour les unités internationales, qu'il n'y a pas lieu de remplacer de façon à les mettre d'accord avec les unités mécaniques.

Le Comité se rend compte des perturbations qu'un changement, même minime, apporterait aux laboratoires se servant d'appareils ajustés avec une haute précision. Il a aussi reconnu les difficultés qui pourraient en résulter dans certains pays, où une base légale est établie pour les unités. Considérant, cependant, le fait que le système à adopter dès maintenant sera probablement conservé pendant une très longue durée, ou au moins que ce système devra être choisi dans ce but, le

Comité est d'avis que toute difficulté temporaire sera de peu de poids en comparaison des avantages permanents. Il a été ainsi amené à l'étude détaillée de l'état actuel du système international d'unités électriques en vigueur.

Les unités électriques actuelles. — Le système des unités et étalons électriques employés partout dans le monde aujourd'hui est le résultat d'un développement coordonné et logique, dans lequel on a combiné les contributions de plusieurs nations, de sorte que toutes emploient une base commune et toutes sont suffisamment d'accord. Une série de congrès internationaux ont pris part à ce développement, d'abord par l'établissement d'ententes sur les questions fondamentales, et en s'accordant sur des étalons pratiques que l'état de nos connaissances, à un moment donné, semblait désigner.

Il est remarquable que ces ententes internationales aient reconnu les unités fondamentales mécaniques comme base appropriée des unités électriques. Cependant, chaque congrès a senti la nécessité d'exprimer les valeurs des unités électriques en fonction d'étalons physiques, et chacun d'eux a pensé adopter des valeurs immuables.

La dernière de ces réunions était la Conférence internationale des Unités et Étalons électriques, tenue à Londres en 1908. Elle a institué un *Comité international des Unités et Étalons électriques*. On avait apparemment l'intention que ce Comité fût permanent, mais les circonstances mondiales l'ont rendu inactif pendant les dix années suivantes.

La Conférence de Londres a choisi comme base du système des unités, l'ohm et l'ampère; le premier a été défini par la résistance d'une colonne de mercure, le second par le courant qui déposerait de l'argent à une vitesse spécifiée, de façon que la colonne de mercure et

le voltamètre à argent (coulombmètre) devinssent la base du système international actuel.

Très sagement cependant, cette Conférence n'a pas compté sur ces décisions formelles comme suffisantes pour amener l'uniformité internationale des unités et étalons. Elle a pourvu aux étalons pratiques sous la forme de bobines de résistance en fils et de piles étalons pour lesquelles on pourrait établir des valeurs par entente internationale. De cette façon, la Conférence a inconsciemment préparé la voie à une méthode maintenant l'uniformité parmi les nations, méthode qu'on a trouvée supérieure à son propre plan, employant les ohms définis par des tubes à mercure et les voltamètres à argent.

Pour établir l'entente proposée sur les bobines de résistance et les éléments étalons, un Comité technique s'est réuni à Washington en 1910. Les représentants de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt et du National Physical Laboratory y ont apporté des étalons de résistance, pour lesquels on avait obtenu des valeurs par comparaison avec des ohms à mercure. Ceux-ci se trouvaient presque d'accord, et leur valeur moyenne fut acceptée. Des voltamètres de ces deux laboratoires, ceux du Laboratoire central d'Électricité et du Bureau of Standards furent ensuite employés en commun afin de permettre de désigner par un nombre l'élément étalon moyen. Bien que ces voltamètres aient marqué des différences appréciables, les résultats furent suffisamment d'accord, et l'on adopta, comme valeur moyenne, 1,0183 volt pour la force électromotrice de l'élément normal Weston (saturé). Depuis cette époque, les valeurs ainsi établies pour l'ohm et le volt ont été maintenues par des méthodes diverses comme unités internationales, mais aucun pays n'a exécuté complètement le plan adopté formellement

par la Conférence de Londres. En particulier, tous les laboratoires nationaux se sont basés sur des bobines de résistance et des piles étalons pour conserver des valeurs constantes, au lieu de déterminer des valeurs précises de ces étalons par l'emploi des étalons primaires : la colonne de mercure et le voltamètre.

Conclusions sur le système des unités. — Depuis 1910, on a donc maintenu l'entente internationale par un système d'étalons secondaires. Ceux-ci n'ont pas été en réalité contrôlés par les étalons primaires nominalement adoptés. Ces derniers étaient supposés représenter les meilleures valeurs obtenues jusqu'à cette époque par des mesures absolues exprimées en unités de la longueur, de la masse et du temps. Depuis lors, on a accompli un tel progrès dans les mesures absolues, que leur exactitude pour la reproduction des valeurs semble rivaliser avec celle des étalons primaires arbitraires. Si, à l'avenir, des recherches confirment ce fait, il n'y aura plus de raison de conserver ces étalons arbitraires. La seule difficulté, en les rejetant pour accepter les unités absolues, est le fait que l'ohm et le volt, définis par ces étalons, ont une erreur de 1 sur 2000 environ. Il faudra par conséquent les modifier de cette quantité quand le système absolu sera mis en vigueur.

Eu égard à cette situation, le Comité consultatif a adopté les propositions suivantes :

« 1° Le Comité consultatif d'Électricité, institué auprès du Comité international des Poids et Mesures, considérant la grande importance qu'il y a à unifier les systèmes de mesures électriques sur une base dépourvue de tout caractère arbitraire, reconnaît dès sa première réunion que le système absolu, dérivé du système C. G. S., pourra être avec avantage substitué au système des unités

internationales pour toutes les déterminations scientifiques et industrielles, et décide d'en proposer l'adoption au Comité international des Poids et Mesures.

» 2° Le Comité consultatif d'Électricité, tout en reconnaissant les grands progrès déjà accomplis dans le domaine des mesures électriques de haute précision, ne croit cependant pas qu'il soit possible dès maintenant de fixer avec toute l'exactitude nécessaire, et dont ils sont susceptibles, les rapports qui existent entre les unités absolues dérivées du système C. G. S. et les unités internationales de courant, de force électromotrice et de résistance, telles qu'elles ont été définies par le Congrès international de Chicago en 1893 et la Conférence de Londres en 1908, et émet le vœu que des recherches soient poursuivies dans ce but dans les laboratoires convenablement outillés, suivant un programme préalablement étudié en accord avec le Comité consultatif d'Électricité. »

Rôle des laboratoires. — Le second problème, dont le Comité international est saisi, est de définir le rôle qui peut être le mieux rempli par les divers laboratoires dans l'exécution de son programme. Le Comité international ayant à diriger les travaux du Bureau international, le Comité consultatif a formulé et adopté la recommandation suivante concernant ce Bureau :

« Le Comité consultatif est d'avis que les fonctions qu'il est désirable de confier au Bureau international des Poids et Mesures en connexion avec les unités électriques soient d'établir :

» 1° Un secrétariat central pour organiser un échange systématique d'étalons et assurer la synthèse des résultats des comparaisons faites par les Laboratoires nationaux ;

» 2° Un laboratoire auquel les étalons matériels repré-

sentant les résultats obtenus dans divers pays pourront être apportés pour des comparaisons précises;

» 3° Un dépôt d'étalons de référence et d'étalons de travail, y compris les étalons d'inductance et de capacité, avec les installations nécessaires pour la comparaison d'autres étalons avec ceux du Bureau. »

Étant donné qu'il s'agit dans ces résolutions de trois fonctions distinctes du Bureau international, il en ressort pour les Laboratoires nationaux trois responsabilités définies comme suit :

1° Les Laboratoires nationaux doivent prendre part immédiatement à un échange des étalons afin de déterminer, de façon plus précise, les rapports existant parmi les étalons des différents pays. Il est désirable que ces comparaisons aient lieu dans un avenir rapproché, afin non seulement de favoriser l'uniformité des mesures pratiques, mais aussi de donner une base commune et précise pour les valeurs qui seront établies par le moyen des mesures absolues.

2° Chaque laboratoire possédant les moyens suffisants entreprendra des recherches sur quelque partie du programme nécessaire pour établir les unités en valeur absolue. Ce travail ne sera pas forcément limité aux Laboratoires nationaux puisque des déterminations faites dans d'autres laboratoires pourraient aussi être acceptées. Néanmoins, les ressources en personnel et en appareils, requises pour faire ce genre de recherches d'une façon satisfaisante, sont si considérables que la plus grande partie de ce travail doit être exécutée par les Laboratoires nationaux.

3° Les résultats de ces mesures absolues seront rassemblés pour servir de base à de nouvelles valeurs des étalons, et seront conservés dans les Laboratoires nationaux, aussi

bien qu'au Bureau international, jusqu'à l'époque éloignée où l'on pourrait se trouver encore dans la nécessité d'un ajustement nouveau par une entente générale.

Rôle du Comité international. — Si ce plan général est approuvé, le Comité international, sous l'autorité que lui donne la Conférence générale, aura la responsabilité de décider et de promulguer les valeurs à employer pour les étalons pratiques, et déterminera la date d'une révision nouvelle. A cet effet, et pour les dispositions des déterminations expérimentales et les analyses en résultant, le Comité consultatif pourra continuer à donner son avis au Comité international de par les fonctions que la Conférence générale lui a conférées.

On remarquera que le plan proposé n'envisage pas l'établissement, dans un seul laboratoire, d'étalons qu'on puisse considérer comme représentatifs des unités électriques ou comme ayant une autorité supérieure à celle des étalons d'autres laboratoires. Le point essentiel est que l'on considère les unités électriques comme secondaires, dans ce sens qu'elles dérivent des unités fondamentales de longueur, de masse et de temps. On sait que les étalons électriques changent plus ou moins dans le cours du temps. La déduction des valeurs exactes en partant des unités fondamentales, la conservation des étalons électriques au plus haut degré de précision possible, et le développement de moyens sûrs pour déterminer leur constance, sont des problèmes qui nécessitent les ressources combinées des meilleurs laboratoires du monde. Tandis qu'une partie de ce travail pourrait être entreprise sous les auspices du Comité international dans les laboratoires du Bureau international, le Comité et le Bureau pourront faire une œuvre plus utile en réunissant les résultats des travaux faits dans le monde entier. Par

suite de l'autorisation de coordonner les mesures électriques, le Comité international a pleins pouvoirs pour exécuter ce projet.

Échange des étalons. — Suivant le plan proposé, le transport fréquent des étalons électriques d'un pays à un autre joue un rôle important. Le transport est obligatoire pour la comparaison immédiate des valeurs des anciennes unités internationales aujourd'hui en vigueur. Cette condition existera aussi lorsque les résultats concernant les mesures absolues seront prêts pour leur comparaison; et celle-ci sera un élément permanent dans le maintien des valeurs uniformes. Il faudra transporter ces étalons non seulement au Bureau international et les ramener à leur origine, mais aussi d'un pays à l'autre. Le transport sans accident des étalons est dans tous les cas assez difficile; il a été rendu parfois plus malaisé par l'examen des appareils exigé par le Service des Douanes. Cet obstacle à l'échange des étalons est assez sérieux pour que le Comité consultatif ait eu à prendre la décision suivante dans l'espoir d'améliorer la situation :

« Le Comité consultatif d'Électricité, en raison des détériorations considérables que pourraient faire subir des visites douanières aux étalons de haute précision destinés aux comparaisons internationales, émet le vœu :

» 1° Que les différents États adhérents à la Convention du Mètre veuillent bien accorder des facilités particulières, pour le passage aux frontières, des colis accompagnés ou non, qui contiendraient des étalons;

» 2° Que le Comité international des Poids et Mesures fasse auprès des autorités compétentes les démarches nécessaires pour obtenir ces facilités. »

Conclusion. — Le Comité consultatif soumet à l'examen

du Comité international les trois propositions mentionnées ci-dessus, qui traitent respectivement :

- 1° du système des unités à adopter;
- 2° du rôle dévolu au Bureau international des Poids et Mesures;
- 3° de l'échange des étalons en vue des comparaisons internationales.

En même temps, il envisage avec plaisir le moment où le progrès des travaux proposés pour le Bureau international sera accéléré par l'heureuse combinaison d'un accroissement des fonds disponibles au Bureau, et d'une dotation de \$ 36 000 de l'*International Education Board* consacrée à la construction d'un nouveau bâtiment.

Le Comité consultatif est heureux de reconnaître l'entente cordiale qui s'est établie d'emblée parmi ses membres, ainsi que l'unanimité qui s'est révélée parmi les intérêts électriques du monde entier. Le Comité international est saisi du problème des unités et étalons électriques sous les auspices les plus favorables; le Comité consultatif espère que le plan général décrit ci-dessus, dont le détail est donné dans les annexes, sera approuvé, et il attend les décisions et les instructions du Comité international.

Ces jours derniers, nous avons appris la douloureuse nouvelle de la mort de notre très distingué Collègue, M. D. Konovalov, membre du Comité international. C'est avec le plus grand regret que nous enregistrons, dès le commencement de nos travaux, la perte d'un de nos membres les plus éminents qui a tant fait pour la métrologie et les sciences physiques. Il laisse vide une place difficile à remplir.

GEORGE K. BURGESS,
Rapporteur.

Washington, le 11 février 1929.

PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL,

Mardi 20 novembre 1928.

PRÉSIDENCE DE M. V. VOLTERRA, PUIS DE M. PAUL JANET.

Étaient présents :

MM. BURGESS, DYE, GUILLAUME, JIMBO, JOUAUST, KONOVALOV, LOMBARDI, VON STEINWEHR, membres du Comité consultatif.

Assistaient, en outre, à la séance, en qualité d'experts :
M. MALIKOV, M^{me} FOEHRINGER ;

En qualité d'invités : MM. BLONDIN, PÉRARD, MAUDET,
VOLET.

La séance est ouverte à 15^h 20^m.

M. V. VOLTERRA, Président du Comité international des Poids et Mesures, ouvre la séance en souhaitant la bienvenue aux membres présents et aux invités. Il exprime le désir que le Comité consultatif constitue une Commission permanente auprès du Comité international des Poids et Mesures. Il propose de nommer membres d'honneur deux travailleurs éminents dans le domaine des unités électriques, qui faisaient partie de la célèbre Commission Technique réunie à Washington en 1910 : M. W. Jaeger

et M. F. E. Smith. Il prie ensuite M. Janet de prendre la présidence des séances du Comité.

M. JANET, ayant accepté, rappelle l'origine du présent Comité. L'article 7 du Règlement annexé à la Convention du Mètre, dit : « ... Elle (la Conférence générale) a pour mission de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour la propagation et le perfectionnement du Système métrique, ainsi que de sanctionner les nouvelles déterminations métrologiques fondamentales qui auraient été faites dans l'intervalle de ses réunions. Elle reçoit le Rapport du Comité international sur les travaux accomplis... ». Deux rapports ont été présentés au Comité international : le *Memorandum de la Délégation britannique* et les *Recommandations soumises au nom du Bureau of Standards des États-Unis d'Amérique concernant les unités électriques*. Le Comité international, après une étude préliminaire, a transmis l'examen détaillé de ces documents à une réunion d'experts, qui a élaboré le projet suivant, présenté au Comité le 29 septembre 1927 par M. Janet, et adopté à l'unanimité :

« Le Comité international des Poids et Mesures approuve l'organisation d'un Comité consultatif d'Électricité ayant pour objet de conseiller le Comité international des Poids et Mesures sur les questions relatives aux systèmes de mesure et aux étalons électriques.

« Ce Comité consultatif sera limité à dix membres et composé :

- 1° D'un représentant de chacun des Laboratoires nationaux désignés par le Comité international ;
- 2° Des spécialistes nominativement désignés par le Comité international.

« Le Président du Comité consultatif d'Électricité sera pris parmi les membres du Comité international et désigné par lui.

« Les Mémoires présentés par la Délégation britannique et par la Délégation des États-Unis sont renvoyés à l'examen du Comité consultatif d'Électricité.

« Un rapport sur ce sujet devra être présenté au plus tard le 1^{er} mars 1929. »

Ces propositions ont été adoptées par la Septième Conférence générale dans sa quatrième séance de la session de 1927, tenue le mardi 4 octobre à Sèvres. Huit membres ont été élus : les représentants des Laboratoires nationaux et des Laboratoires électriques des États-Unis, d'Angleterre, d'Allemagne, de France, du Japon, de l'U. R. S. S.; deux à titre nominatif : M. Lombardi, Directeur du Laboratoire Électrotechnique de l'École d'Ingénieurs à Rome, et M. Ch.-Éd. Guillaume, Directeur du Bureau international. Deux places restent libres pour les nominations ultérieures.

M. V. Volterra, faisant partie du Comité *ex officio* comme Président du Comité international des Poids et Mesures, a délégué ses pouvoirs à M. Janet.

M. BURGESS appuie la proposition de M. Volterra, de nommer M. W. Jaeger et M. F. E. Smith Membres d'honneur du Comité actuel.

La proposition est adoptée à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT propose de nommer M^{me} Foehringer Secrétaire des séances du Comité consultatif.

M^{me} FOEHRINGER accepte cette nomination.

M. le PRÉSIDENT, en résumant les communications qui ont été reçues des Laboratoires nationaux, soumet au Comité deux questions à étudier : 1^o les propositions des différents pays à propos des unités; 2^o le rôle du Bureau international dans l'exécution des projets. Il est nécessaire de décider quelles unités seront adoptées, internationales ou absolues, le volt et l'ohm internationaux étant un peu plus grands que les valeurs absolues.

La première question est mise en discussion.

M. BURGESS pense qu'il faudrait poursuivre les recherches et s'entendre pour passer aux unités absolues dès que la question sera suffisamment élucidée.

M. GUILLAUME fait une brève analyse des Rapports présentés au Comité; il constate que tous sont d'accord pour proposer le passage aux unités absolues aussitôt que possible, étant entendu que, par *unités absolues*, on désigne des unités toujours représentées par des étalons, mais qui seront, après une discussion approfondie des résultats, proposées à l'acceptation du Comité international, et qui, à toute époque, ou plus exactement pendant un certain nombre d'années, seront la représentation la plus parfaite que l'on connaisse des unités absolues théoriques.

Un seul Rapport, celui de la Reichsanstalt, émet quelques doutes à ce sujet, en raison de la confusion que le changement des étalons pourra faire naître, et qui pourra régner pendant quelque temps dans la science et la technique électriques.

M. JOUAUST trouve qu'au point de vue des législations une définition nette et invariable des unités est nécessaire, mais qu'au point de vue de la réalisation matérielle de ces unités pour les besoins de la pratique, il suffit d'une entente entre les divers organismes chargés de cette réalisation pour assurer entre ces unités pratiques et les unités théoriques et légales une concordance aussi parfaite que le permettent les progrès successifs de la technique.

M. BURGESS propose de ne pas envisager la question de législation. Le présent Comité doit discuter uniquement le point de vue scientifique.

M. VON STEINWEHR estime que les unités absolues doivent servir de base, mais qu'il serait suffisant de fixer le rapport entre les unités internationales et les unités abso-

lues, car l'adoption de ces dernières produirait un trouble assez considérable pendant les années de transition.

M. BURGESS rappelle que le changement de 1910 n'a produit aucune perturbation.

M. VON STEINWEHR se souvient, au contraire, qu'il a entraîné beaucoup d'inconvénients, même dans les travaux scientifiques.

M. LOMBARDI, tout en reconnaissant le bien-fondé de l'observation de M. Steinwehr, partage l'opinion de M. Burgess.

M. le PRÉSIDENT, résumant la discussion, constate que tous les membres du Comité sont d'accord pour ajourner le changement du système d'unités jusqu'à ce que l'on dispose de déterminations plus précises. Pour les détails techniques, le Comité consultatif aura à les envisager dans sa prochaine session.

La proposition est adoptée à l'unanimité.

M. GUILLAUME, à propos des étalons de résistance, rappelle de vieux souvenirs. En 1890, il a expérimenté sur des bobines en manganine, et, à cette époque, elles présentaient une hystérèse thermique bien observable. Il désire savoir si, aujourd'hui, on peut obtenir de la manganine parfaitement stable.

M. BURGESS répond par l'exemple des bobines du Bureau of Standards, qui existent depuis une vingtaine d'années. Dix bobines sur douze semblent ne pas avoir bougé.

M. le PRÉSIDENT passe à la deuxième question, concernant le rôle du Bureau international.

M. BURGESS, se basant sur les nombreuses comparaisons du Bureau of Standards et sur celles qui ont été faites

récemment avec les unités du Japon, insiste sur la nécessité d'exécuter autant d'opérations semblables que possible. Mais le transport si difficile des piles sera simplifié si les étalons sont apportés à Sèvres.

M. le PRÉSIDENT demande quelle est la meilleure méthode pour le transport des étalons.

M. BURGESS indique qu'il faut absolument les porter à la main, sans jamais abandonner le colis. Le transport provoque quelquefois des changements considérables, tandis que la précision relative de la conservation des résistances, par exemple, peut être, au laboratoire, d'un dix-millionième.

M. DYE demande si les échanges continueront quand il y aura un laboratoire à Sèvres.

M. BURGESS et M. JANET considèrent Sèvres comme un centre, mais les échanges entre les laboratoires pourront cependant continuer.

M. le PRÉSIDENT propose de prendre le rapport du Bureau of Standards comme base de la discussion sur les détails des comparaisons. Il prie M. Dye de présenter les résultats des comparaisons faites au National Physical Laboratory.

M. DYE n'a rien à ajouter; il peut confirmer le rapport du Bureau of Standards sur les valeurs obtenues des comparaisons, mais il estime qu'il est nécessaire d'établir aussi une circulation des étalons d'inductance et de capacité. Il remet à tous les membres de la Commission le texte du rapport du National Physical Laboratory contenant deux appendices sur la construction des piles étalons; le second appendice renferme des détails inédits sur les travaux de M. Smith.

M. LOMBARDI déclare qu'il est extrêmement difficile

d'établir un laboratoire de haute précision. Le Laboratoire de Sèvres ne pourra pas s'organiser très vite, mais il pourra effectuer les comparaisons internationales en se procurant les instruments et les étalons secondaires, et en engageant le personnel nécessaire. Ce dernier est la partie la plus difficile à obtenir, et il faut limiter le programme pour réussir.

M. GUILLAUME expose que les ressources financières du Bureau sont maintenant suffisantes pour permettre un accroissement du personnel; mais les nouveaux collaborateurs doivent être admis un à un pour s'adapter à l'esprit de la maison.

M. BURGESS attire l'attention du Comité sur la photométrie et la radiotélégraphie dont il était question l'année dernière.

M. JANET et M. VOLTERRA sont d'avis que ces deux questions sont en dehors de la compétence du présent Comité, au moins pour le moment.

M. LOMBARDI estime que la bougie internationale est maintenant représentée exclusivement par les unités électriques et qu'il serait très utile de s'en occuper.

M. VOLTERRA répond que cette question est du domaine du Comité international, et c'est à lui de décider si la photométrie doit entrer dans le ressort du nouveau Comité consultatif.

La séance est levée à 18^h 30^m.



PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,

TENUE AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ

Mercredi 21 novembre 1928.

PRÉSIDENTICE DE M. P. JANET.

Étaient présents :

MM. BURGESS, DYE, GUILLAUME, JIMBO, JOUAUST, LOMBARDI, VON STEINWEHR, membres du Comité consultatif.

Assistaient en outre à la séance, en qualité d'experts :
M. MALIKOV, M^{me} FOEHRINGER.

En qualité d'invités : MM. PÉRARD, VOLET.

La séance est ouverte à 9^h 5^m.

Le procès-verbal de la première séance est lu et adopté après quelques remarques.

M. le PRÉSIDENT ouvre la discussion sur le rôle du laboratoire international.

M. BURGESS prend la parole pour communiquer au Comité les propositions du Comité américain, qu'il avait convoqué pour examiner le statut actuel des mesures électriques. La première de ces propositions est la suivante :

« Que, dans l'opinion du Comité (américain), eu égard aux perfectionnements qui ont été obtenus dans les mesures absolues, les étalons électriques devraient, dans l'avenir, être basés sur le système absolu d'unités. »

Ce premier paragraphe des propositions américaines ramène l'assemblée à la discussion sur le système des unités électriques.

M. GUILLAUME se demande si l'on ne revient pas en arrière par rapport aux décisions de la Conférence de Londres.

M. BURGESS dit que la Conférence de Londres ne croyait pas qu'on pût faire les déterminations absolues avec la précision voulue. Depuis 1908, on a été surpris de constater que l'exactitude de ces déterminations est du même ordre que celle du maintien des unités du système international; or, les propositions de passer au système absolu ramènent au principe des décisions de la Conférence de 1908. M. Burgess pense que c'est au Comité consultatif de décider sur les écarts qui existent entre les étalons et les unités absolues.

M. VOLLET rappelle que les déterminations absolues demandent une quantité de mesures auxiliaires; elles seront rarement exécutées, et l'on sera forcé de se référer aux étalons, qui formeront un nouveau système.

M. BURGESS estime que les mesures absolues ont fait beaucoup de progrès, de sorte que, d'ici deux ou trois ans, on passera avec facilité à l'ohm et au volt absolus. Il n'y a pas à redouter la formation d'un nouveau système.

Les représentants du Japon et de l'U. R. S. S. demandent d'inclure leurs laboratoires nationaux dans la liste des laboratoires travaillant sur les unités absolues, la Chambre centrale ayant déjà commencé ses recherches, et le Japon ayant inscrit ces travaux à son programme.

M. JIMBO présente la proposition suivante :

« Pour obtenir l'uniformité des unités et l'acceptation des

unités absolues dans l'avenir, le Comité international des Poids et Mesures pourrait adopter ce qui suit :

» 1° Il est décidé d'organiser, dans les Laboratoires nationaux, des déterminations en valeur absolue des unités électriques et aussi la comparaison des étalons (bobines de résistance et pile au cadmium) représentant pour ces laboratoires les unités internationales.

» 2° A la suite de ces comparaisons, de prendre comme valeur légale celle des unités absolues au lieu de celle des unités internationales.

» 3° Le Bureau international des Poids et Mesures devra fonctionner comme un bureau central chargé de maintenir l'uniformité des unités entre les diverses nations par l'intercomparaison des étalons, d'établir des spécifications pour la reproduction des bobines de résistance et des éléments Weston au point de vue du matériel, de la forme, de la construction, de l'entretien et des conditions des mesures. »

M. LOMBARDI propose le texte d'une résolution, acceptant le système absolu.

M. le PRÉSIDENT fait remarquer qu'en se ralliant au texte de M. Lombardi, le Comité supprime les étalons matériels.

M. BURGESS répond que cette décision n'empêche pas d'utiliser les ohms à mercure comme étalons de travail, si on les préfère aux résistances métalliques.

M. le PRÉSIDENT est d'accord avec M. Burgess. Évidemment la question du passage aux unités absolues ne se poserait pas si l'ohm mercuriel était parfait.

M. GUILLAUME remarque que, cependant, le mercure a des isotopes et que, d'autre part, une couche d'humidité ou d'un gaz occlus d'un millième de micron, agirait sur la résistance d'une façon appréciable. Il faudrait nécessairement chauffer légèrement les tubes, qui seraient maintenus dans le vide ou dans l'air sec, et qui seraient remplis dans les mêmes conditions.

M. LOMBARDI propose le texte du second paragraphe de la résolution, concernant les rapports entre les unités absolues et les unités internationales.

MM. JOUAUST, BURGESS, GUILLAUME et PÉRARD discutent le texte du deuxième alinéa.

Le texte suivant des deux paragraphes est adopté à l'unanimité :

« 1^o Le Comité consultatif d'Électricité, institué auprès du Comité International des Poids et Mesures, considérant la grande importance qu'il y a à unifier les systèmes de mesures électriques sur une base dépourvue de tout caractère arbitraire, reconnaît dès sa première réunion que le système absolu, dérivé du système C. G. S., pourra être avec avantage substitué au système des unités internationales pour toutes les déterminations scientifiques et industrielles, et décide d'en proposer l'adoption au Comité international des Poids et Mesures.

» 2^o Le Comité consultatif d'Électricité, tout en reconnaissant les grands progrès déjà accomplis dans le domaine des mesures électriques de haute précision, ne croit cependant pas qu'il soit possible dès maintenant de fixer avec toute l'exactitude nécessaire, et dont ils sont susceptibles, les rapports qui existent entre les unités absolues dérivées du système C. G. S. et les unités internationales de courant, de force électromotrice et de résistance, telles qu'elles ont été définies par le Congrès international de Chicago en 1893 et la Conférence de Londres en 1908, et émet le vœu que des recherches soient poursuivies dans ce but dans les laboratoires convenablement outillés, suivant un programme préalablement étudié en accord avec le Comité consultatif d'Électricité.

M. DYE ajoute qu'il sera possible d'établir les relations en question dans un délai d'environ deux ans.

M. le PRÉSIDENT passe à la question concernant le rôle du laboratoire international.

M. BURGESS lit d'abord un extrait d'une lettre de M. Stratton, donnant son opinion :

« Je suis très satisfait de la résolution du Comité (américain)

relative aux unités absolues. C'est un point capital, et je crois qu'il obtiendra l'assentiment général.

» Dans la seconde résolution, le premier paragraphe comporte une clause très importante : le Bureau international doit servir de « station d'échange ». La clause du deuxième paragraphe concernant le laboratoire et son équipement comprend tout ce qui a été envisagé dans les règlements.

» Le troisième paragraphe concernant un dépôt est aussi une clause à mettre en conformité avec le paragraphe correspondant du Règlement.

» Il me semble que ces trois paragraphes répondent exactement aux desiderata. Nous avons toujours pensé que la plus grande partie des recherches fondamentales concernant les unités électriques sera faite dans les Laboratoires nationaux. »

Quant aux propositions du Comité américain concernant le rôle du Bureau international, elles sont énumérées ci-après :

« Dans l'opinion du Comité (américain) les fonctions qu'il est désirable de confier au Bureau international des Poids et Mesures en connexion avec les unités électriques, sont les suivantes :

» 1° Un secrétariat central pour organiser un échange systématique d'étalons et assurer la synthèse des résultats des comparaisons faites par les laboratoires nationaux ;

» 2° Un laboratoire, auquel les étalons matériels représentant les résultats obtenus dans divers pays, pourront être apportés pour les comparaisons. »

M. GUILLAUME, à propos de la première proposition d'organiser la circulation des étalons, rappelle qu'en mars 1927, on avait essayé d'établir un roulement.

M. BURGESS confirme que la circulation doit être dans les mains du Bureau international, et que la plupart des comparaisons doivent être faites à Sèvres.

M. DYE répond qu'il est cependant nécessaire de continuer aussi l'échange entre les laboratoires ; les échanges peuvent se faire par Sèvres, et les étalons doivent retourner par le même chemin. Telle était aussi l'opinion du Comité

anglais, dont le texte a été distribué aux membres. Voici l'extrait concernant la présente question :

« Les valeurs des unités électriques internationales ou absolues dérivent d'une définition et ne peuvent être réalisées et déterminées avec précision que par un laboratoire outillé spécialement dans ce but. Les valeurs ainsi obtenues par les différents laboratoires nationaux doivent cependant être comparées pour s'assurer de leur bonne concordance, et pour permettre de choisir une unité commune représentant la meilleure valeur moyenne résultant des différentes déterminations. Cette fonction de coordination et de comparaison a été dévolue, par la Septième Conférence, au Comité international et au Bureau international, appelés à agir suivant les suggestions du Comité consultatif. »

M. BURGESS précise que, s'il y a des recommandations à faire, on les transmettra au Comité consultatif. Les décisions importantes seront prises par le Comité international.

M. MALIKOV lit une proposition analogue de la Chambre centrale des Poids et Mesures :

« La conservation des étalons électriques internationaux, servant de base pour la comparaison des étalons nationaux, doit être confiée au Bureau international des Poids et Mesures.

» L'établissement de ces étalons internationaux doit être effectué par un travail de coopération du Bureau international des Poids et Mesures avec les Laboratoires métrologiques nationaux, où les recherches sur les unités et étalons électriques ont été faites. Les valeurs des unités électriques obtenues par ce travail seront attribuées aux étalons, qui doivent être déposés au Bureau international des Poids et Mesures comme étalons internationaux. Ceux-là garderont incontestablement leurs valeurs jusqu'au moment où le progrès de l'électrométrie exigera une révision de ces valeurs par une nouvelle coopération. »

M. LOMBARDI et M. BURGESS rappellent qu'il faut seulement maintenir la concordance entre les divers étalons, et qu'il ne faut pas qu'un nouvel étalon dérive des comparaisons.

M. MALIKOV demande quelles valeurs on donnera aux étalons des pays qui n'ont pas de laboratoire.

M. BURGESS estime qu'il faut donner une valeur moyenne entre celles des divers pays. Le Comité consultatif discutera de temps en temps les écarts des valeurs absolues.

M. VON STEINWEHR dit que, en ce qui concerne les valeurs pour les étalons des pays qui n'ont pas des unités de leurs propres laboratoires, il croit avoir compris que ces pays sont censés envoyer leurs étalons au Bureau international pour la détermination de leurs valeurs. Il considère qu'il serait préférable de donner au Bureau la possibilité de distribuer des étalons, parce qu'il s'agit non seulement des valeurs actuelles, mais d'une bonne constance, qui ne peut être garantie qu'après des observations prolongées.

M. GUILLAUME expose que, jusqu'ici, le Bureau international n'a pas distribué aux États d'étalons matériels, si l'on excepte la grande série des étalons de longueur et de masse qui leur ont été remis en 1889 et 1892. Mais ces étalons appartenaient jusqu'alors au Conservatoire national des Arts et Métiers, c'est-à-dire, en fait, au Gouvernement français. Assurément, depuis lors, le Bureau a fait une série de soixante-dix décimètres, qu'il a tenus à la disposition des Gouvernements qui voudraient en acquérir. Mais, pour les étalons électriques, il se demande si le Bureau peut être outillé pour les fournir, ou s'il ne ferait pas mieux de s'adresser à un constructeur.

M. JOUAST dit que, si l'on désire obtenir des étalons de force électromotrice invariables et bien concordants, il faut absolument les réaliser soi-même.

La séance est levée à 12^h.

PROCÈS-VERBAL

DE LA TROISIÈME SÉANCE,

TENUE AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ

Jeu'di 22 novembre 1928.

PRÉSIDENCE DE M. P. JANET.

Étaient présents :

MM. VOLTERRA, BURGESS, DYE, GUILLAUME, JIMBO, JOUAUST, KONVALOV, LOMBARDI, VON STEINWEHR, membres du Comité consultatif.

Assistaient, en outre, à la séance, en qualité d'experts :
M. MALIKOV, M^{me} FOEHRINGER.

En qualité d'invités : MM. BLONDIN, PÉRARD, MAUDET, VOLET.

La séance est ouverte à 9^h 10^m.

Le procès-verbal de la séance du 21 novembre et le résumé de la discussion sur les questions techniques concernant les étalons électriques (p. 105), sont lus et adoptés après quelques modifications de forme.

M. le PRÉSIDENT ouvre la discussion sur les propositions du Comité américain, consignées dans une lettre adressée par M. Burgess à M. Guillaume le 12 juillet 1928 et concernant les fonctions à confier au Bureau international.

« Que, dans l'opinion du Comité, les fonctions qu'il est dési-

nable de confier au Bureau international des Poids et Mesures en connexion avec les unités électriques, sont les suivantes :

» 1^o Un secrétariat central pour organiser un échange systématique d'étalons et assurer la synthèse des résultats des comparaisons faites par les laboratoires nationaux ;

» 2^o Un laboratoire auquel les étalons matériels représentant les résultats obtenus en divers pays pourront être apportés pour des comparaisons précises,

» 3^o Un dépôt pour les étalons de référence et des étalons de travail avec les installations nécessaires, de telle sorte que d'autres étalons puissent être comparés sur demande à ceux du Bureau. »

M. le PRÉSIDENT lit ensuite le paragraphe 6 de la lettre mentionnée ci-dessus, se référant à l'application possible aux unités électriques des articles 7 et 8 de la Convention du Mètre.

Il est évident que de semblables étalons et appareils, comme ils sont employés pour établir et conserver les valeurs des unités électriques, ont le caractère d'instruments de travail plutôt que de prototypes. Il serait tout à fait inutile de choisir certains d'entre eux et de les conserver dans un bureau central comme représentant en permanence les valeurs correctes. Même si les étalons actuels devaient être tellement perfectionnés que leurs valeurs soient constantes pendant une très longue durée, il serait mauvais en principe de les proposer comme prototypes indépendants des étalons fondamentaux. De plus, la confiance que l'on peut avoir dans les valeurs qui seront établies sur le statut international dépend forcément, dans une large mesure, des valeurs moyennes déduites de déterminations indépendantes faites dans divers Instituts plutôt que dans un seul. Tandis que ces conditions rendent impraticable l'exécution des termes littéraux de la Convention, le Comité international possède une autorité suffisante, donnée par l'article 7, pour répondre à tous les besoins dans un proche avenir.

Le travail de coordination par le Comité peut s'étendre sur une longue durée et obtenir pratiquement tous les résultats qui ont été prévus dans la révision de la Convention.

Dans cette œuvre, le Bureau international aura la possibilité de rendre des services d'une haute valeur.

M. le PRÉSIDENT ouvre la discussion.

Au cours de cette discussion, la question a été posée de savoir comment il serait tenu compte des résultats, forcément différents, obtenus par divers laboratoires. M. BURGESS fait remarquer qu'un des rôles du Comité consultatif serait de discuter la précision des méthodes de mesure employées, et d'apprécier la valeur à attribuer à chaque résultat individuel.

M. LOMBARDI rédige un texte de propositions sur le rôle du Bureau international des Poids et Mesures, qu'il soumet à l'approbation du Comité.

M. DYE demande que les étalons d'inductance et de capacité soient visés dans cette proposition.

Finalement, le Comité adopte à l'unanimité les résolutions suivantes :

« Le Comité consultatif est d'avis que les fonctions qu'il est désirable de confier au Bureau international des Poids et Mesures en connexion avec les unités électriques, soient d'établir :

» 1° Un secrétariat central pour organiser un échange systématique d'étalons et assurer la synthèse des résultats des comparaisons faites par les Laboratoires nationaux;

» 2° Un laboratoire auquel les étalons matériels représentant les résultats obtenus dans divers pays pourront être apportés pour des comparaisons précises;

» 3° Un dépôt d'étalons de référence et d'étalons de travail, y compris les étalons d'inductance et de capacité, avec les installations nécessaires pour la comparaison d'autres étalons avec ceux du Bureau »

Le Comité consultatif d'Électricité adopte à l'unanimité les résolutions ci-dessus.

MM. BURGESS et DYE expriment le désir de fixer un programme de circulation des étalons de différents pays et émettent le vœu que le Bureau international commence les comparaisons dès maintenant.

M. GUILLAUME expose qu'un agrandissement considérable des laboratoires est prévu pour les travaux électriques. L'aide de l'*International Education Board* a été sollicitée pour cela; mais le Représentant du *Board* pour l'Europe, le D^r Augustus Trowbridge, a estimé qu'une subvention serait inutile tant que la dotation ne permettrait pas au Bureau de subsister et d'étendre son activité. Il a donc fallu attendre les décisions de la Conférence de 1927, qui ont relevé sensiblement la dotation du Bureau, et l'ont mis à même d'accroître le personnel et d'envisager de nouvelles dépenses.

Aussitôt que le Bureau a été mis en possession des ressources assurées par la nouvelle dotation, les plans d'un agrandissement ont été faits et un devis a été établi. Muni de ces documents, on a pu donner à l'*International Education Board* des indications précises sur la subvention qu'il conviendrait de prévoir. Mais le Conseil du *Board* ne se réunit qu'à la fin de novembre et la réponse ne parviendra au Bureau que dans quelques jours. Si elle est favorable, la nouvelle construction commencera immédiatement. En attendant, on ne pourrait faire que des installations de fortune dans les laboratoires existants, où la place est presque entièrement occupée par les appareils en service. De plus, le personnel du Bureau, qui compte en tout cinq techniciens, y compris le Directeur, est toujours très chargé par les demandes d'études d'instruments qui ne cessent d'affluer. Pour de nouveaux travaux, il

faudra nécessairement engager un personnel supplémentaire, dont on n'a pas cru devoir s'assurer, aussi longtemps que le Comité consultatif ne s'était pas réuni, et que la subvention de l'*International Education Board* n'était pas accordée.

On ne pensait entreprendre les déterminations électriques que lorsque le nouveau bâtiment serait construit, ce qui exigera probablement environ quinze mois. Mais, si l'on estime qu'il est urgent d'être à même de déterminer, soit des étalons de résistance électrique, soit la force électromotrice d'éléments, on pourrait probablement faire des installations provisoires et engager du personnel de façon à commencer ce travail dès le printemps.

M. le PRÉSIDENT pense qu'en tout cas le Bureau peut assumer l'œuvre de secrétariat qui lui a été confiée par la première des propositions votées. On évoque à ce sujet le résultat des comparaisons internationales faites par le Bureau of Standards, la Chambre Centrale des Poids et Mesures et le Laboratoire Électrotechnique de Tokyo.

Finalement, sur la proposition de M. BURGESS, on décide que, sans établir de programme régulier de comparaisons internationales, on devra profiter de tout voyage à l'étranger d'une personne attachée à un laboratoire, pour lui confier des étalons à comparer avec ceux du pays dans lequel elle se rend.

MM. DYE et JOUAUST expriment le désir que les résultats des comparaisons soient communiqués à tous les laboratoires intéressés.

M. le PRÉSIDENT fait remarquer que le procédé le plus simple consisterait à envoyer tous les résultats au Bureau international qui les répandrait et les publierait au besoin.

M. BURGESS demande que les divers laboratoires expriment leurs désirs et disent leurs possibilités; ainsi, on pourra organiser les échanges.

M. JOUAUST fait observer que le passage par les douanes crée des difficultés particulières, surtout si les étalons sont envoyés sans être accompagnés. Il demande si, étant donné son rôle officiel, le Comité international des Poids et Mesures ne pourrait obtenir que les colis contenant ces appareils ne soient pas visités aux frontières, comme cela se passe pour les valises diplomatiques.

M. GUILLAUME indique que, à la condition de solliciter des Gouvernements intéressés des décisions facilitant le passage aux douanes, on obtiendra probablement en tous pays un régime avantageux. Ainsi, pour les instruments de tous genres envoyés au Bureau international, il suffit, *dans chaque cas*, de faire une demande à la Direction générale des Douanes françaises pour que les colis soient exemptés de tout examen. Il désire savoir dans quels pays il y aurait lieu de faire des démarches.

M. BURGESS répond qu'il faudrait faire des démarches dans les pays ayant des laboratoires électriques et les pays que les étalons doivent nécessairement traverser.

M. le PRÉSIDENT propose que l'on recherche un signe distinctif par lequel les agents des douanes puissent immédiatement distinguer les étalons électriques.

Après un échange d'opinions, le texte suivant est adopté pour la résolution concernant la question de passage aux douanes :

« Le Comité consultatif d'Électricité, en raison des détériorations considérables que pourraient faire subir des visites douanières aux étalons de haute précision destinés aux comparaisons internationales, émet le vœu :

» 1^o Que les différents États adhérents à la Convention du Mètre

veuillent bien accorder des facilités particulières, pour le passage aux frontières, des colis, accompagnés ou non, qui contiendraient des étalons;

« 2^o Que le Comité international des Poids et Mesures fasse auprès des autorités compétentes les démarches nécessaires pour obtenir ces facilités; »

M. VON STEINWEHR revenant sur un point déjà effleuré, demande qu'il soit bien précisé qu'on ne considérera pas comme valeur la plus probable la moyenne entre les déterminations effectuées par les divers laboratoires. Ce sera l'un des rôles du Comité consultatif de fixer cette valeur par un examen approfondi des travaux effectués.

La discussion étant close, M. le PRÉSIDENT propose de nommer un rapporteur du Comité consultatif auprès du Comité international des Poids et Mesures.

M. BURGESS est prié par l'unanimité des membres de la Commission d'assumer cette charge.

M. Burgess accepte les fonctions de Rapporteur.

M. le PRÉSIDENT rappelle que le rapport doit être présenté au plus tard le 1^{er} mars 1929. Les résolutions du Comité consultatif n'entreront en vigueur qu'après approbation du Comité international. Celui-ci fixera aussi la date à laquelle se réunira de nouveau le Comité consultatif.

A la demande de M. BURGESS, il est décidé que, pour les sessions suivantes, les membres du Comité pourront s'adjoindre des experts, et, sur la proposition de M. LOMBARDI, la langue française est choisie comme langue officielle du Comité. M. LOMBARDI fait remarquer que, cette décision serait conforme aux usages adoptés par le Comité international des Poids et Mesures.

M. BURGESS prie M. Janet d'accepter les remerciements des membres du Comité pour l'hospitalité qu'il a bien

oulu donner dans les locaux du Laboratoire central d'Électricité au Comité consultatif.

M. le PRÉSIDENT remercie à son tour les membres du Comité, dont plusieurs ont entrepris de grands voyages pour assister à ses réunions; il remercie particulièrement M. Volterra, Président du Comité international, pour l'appui que sa présence a donné aux décisions qui viennent d'être prises. Il déclare close la première session du Comité consultatif d'Électricité.

La séance est levée à 12^h 15^m.



PROCÈS-VERBAL

DE LA SÉANCE TECHNIQUE,

TENUE AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ,

Mercredi 21 novembre 1928.

PRÉSIDENCE DE M. George K. BURGESS.

Étaient présents :

MM. DYE, GUILLAUME, JIMBO, JOUAUST, LOMBARDI, VON STEINWEHR, membres du Comité consultatif.

Assistaient, en outre, à la séance en qualité d'experts :
M. MALIKOV, M^{me} FOEHRINGER.

En qualité d'invité : M. VOLET.

La séance est ouverte à 14^h 15^m.

M. BURGESS prie les membres du Comité de donner leurs opinions sur la température qu'il est nécessaire de maintenir dans les bains d'huile contenant les éléments étalons. Au Bureau of Standards, cette température est maintenue à 25°; ne serait-il pas indiqué de la maintenir égale dans tous les laboratoires, surtout au point de vue des comparaisons?

M. VON STEINWEHR pense que les différences de température entre les limites de 15° à 30° ne jouent pas de rôle considérable. A la Reichsanstalt, les piles sont conservées dans une chambre ayant des murs assez épais, de sorte

que la température varie très lentement avec la saison; cependant, elle atteint 18° et 25°. Le plus important est qu'il n'y ait pas de changement brusque.

M. DYE dit qu'au National Physical Laboratory, les éléments sont dans des bains à 20° environ et descendent parfois à 18°. Ils ne sont jamais exposés à des changements de température considérables, mais on ne prend pas de précautions spéciales pour maintenir constante la température.

M. JOGAUST estime qu'il n'y a pas de raison pour fixer une température obligatoire pour les piles étalons de tous les laboratoires.

M. BURGESS propose alors de répéter encore les déterminations du coefficient de température des éléments.

Tous les membres sont d'accord avec cette proposition.

M. BURGESS passe à la question des bobines de résistance. Il demande si l'on peut se fier aux constructeurs de bobines, ou s'il faut leur donner des indications. Dans certains cas, le transport avait provoqué une diminution considérable de résistance. Chaque laboratoire devrait indiquer les dimensions géométriques désirables.

M. VON STEINWEHR a constaté que les bobines d'un dixième d'ohm sont plus stables, dans le transport, que les bobines d'un ohm, probablement en raison du fait que le fil est plus gros; de plus, les bobines d'un dixième d'ohm sont moins sensibles à l'humidité que les bobines d'un ohm.

M. DYE répond qu'on n'a pas encore assez d'expérience avec les bobines d'un dixième d'ohm; en général, la résistance varie au début de leur formation.

M. JOUAUST déclare que, certainement, les voyages font varier la résistance.

M. VON STEINWEHR dit que les soudures des connexions doivent être très bonnes; il faut souder avec ce qu'on appelle de la soudure dure : bronze ou argent.

M. GUILLAUME attire l'attention sur le traitement de la manganine; il est indispensable de l'étuver et de la laisser refroidir lentement.

M. BURGESS propose de faire échange de suggestions sur les conditions les plus favorables au point de vue de la circulation des bobines de divers laboratoires. Dans l'avenir, il serait commode que les dimensions fussent les mêmes pour tous les pays.

M. VON STEINWEHR fait part des travaux exécutés à la Reichsanstalt sur un nouveau modèle de bobines, à parois de cuivre, fermées à l'air. Ces parois sont de très bons conducteurs de la chaleur, de sorte qu'on est certain d'avoir, à l'intérieur, la même température qu'à l'extérieur.

M. BURGESS passe à la question du voltamètre à argent. C'est un étalon secondaire, et il est nécessaire de préciser si des spécifications doivent être données, ou s'il faut le considérer comme fournissant seulement une méthode de second ordre pour les comparaisons des piles étalons. Faut-il en préciser la forme?

M. DYE croit qu'il n'est pas possible, pour le moment, de choisir entre les formes.

M. BURGESS dit qu'au Bureau of Standards les travaux récents, avec la forme de M. Smith, ont donné exactement le même chiffre qu'en 1910, ce qui veut dire que les résistances sont invariables et que le voltamètre est constant. Mais il y a une différence entre les diverses

formes du voltamètre, et il est avantageux de préciser la façon de conduire l'expérience.

M. VON STEINWEHR pense que la forme est moins importante que les matériaux ; il est absolument nécessaire que le nitrate d'argent ne contienne pas de substances organiques ; c'est pourquoi il doit être fondu, et il est préférable de n'employer ni papier, ni soie.

M. BURGESS demande ensuite à M. Guillaume de donner quelques détails sur le programme des nouveaux laboratoires projetés à Sèvres.

M. GUILLAUME donne des explications sur ce programme. Il s'agira essentiellement de prolonger au Nord l'observatoire actuel, en empruntant au Parc une bande de terrain d'environ 5 mètres, qui, avec la surface déjà disponible, semble devoir permettre d'édifier un bâtiment suffisant pour loger les nouveaux services, en y comprenant un espace dont la destination sera analogue à celle des salles déjà occupées. En effet, certaines expériences, qui font partie du programme actuel du Bureau, deviennent difficiles faute de place.

Les salles seront à peu près du modèle déjà adopté pour les autres, qui ont fait leurs preuves par cinquante années d'existence ; mais elles ne seront pas éclairées toutes par des lanternes, qui occupent beaucoup d'espace et ne permettraient pas d'utiliser le second étage qu'on se propose de construire et qui doit comprendre des salles de travail, en même temps qu'un logement pour le garçon de laboratoire, qui assurera aussi l'office de gardien.

Les salles d'expériences elles-mêmes seront pourvues d'un système de captation ou de condensation de l'humidité.

La fouille sera assez importante, car le bâtiment empiètera sur la colline, qu'il faudra entamer largement. Il y

aura environ huit mètres de terre à enlever sur une largeur de quatre mètres et sur toute l'étendue du bâtiment. Le sous-sol est en partie rocheux et en partie sablonneux; il est probable qu'on y trouvera aussi quelques bancs de glaise.

Pour édifier le bâtiment, il faudra creuser environ trois mètres; on installera des caves qui pourront servir à certaines expériences.

Jusqu'ici, le Bureau s'est contenté d'un système de chauffage assez médiocre, qui utilise de petits poêles à gaz. Nous avons le projet d'installer un chauffage central, qui englobera les anciennes et des nouvelles constructions. L'emplacement de la chaudière est encore à déterminer.

Le nouveau bâtiment sera relié à l'ancien par le couloir antérieur, qui régnera tout du long. Les greniers actuels pourront aussi être atteints par un couloir qui y pénétrera en partant du nouveau bâtiment.

M. JOUAUST signale les inconvénients qui peuvent résulter du dépôt d'humidité sur les appareils de mesure et sur les étalons. Il faut se garder d'aérer les pièces en ouvrant des fenêtres et se contenter d'aérer par les portes.

M. BURGESS pense que, pour le contrôle des bains, la température extérieure n'a pas d'importance, mais que l'état d'humidité doit être surveillé.

M. DYE demande quelle est l'épaisseur des murs, et s'il y aura des piliers pour les galvanomètres.

M. GUILLAUME répond que les murs doubles ont 50 cm d'épaisseur. Il y aura encore un couloir autour des salles. Quant aux instruments, ils reposent tous, au Bureau, sur des piliers; les galvanomètres peuvent être, en outre, suspendus.

M. DYE exprime le désir que M. Guillaume fasse circu-

ler les détails sur les bâtiments pour que les membres du Comité puissent communiquer leurs suggestions.

M. GUILLAUME pense qu'il a le temps de le faire, car lorsque la somme nécessaire sera accordée, le terrassement occupera près de trois mois.

M. JOUAUST propose de commencer la préparation des étalons au Bureau international aussitôt que possible.

M. BURGESS rappelle qu'on ne peut rien faire sans la sanction du Comité international, qui se réunira probablement au printemps.

La séance est levée à 17^h 30^m.

ANNEXES.

1. *Allemagne.*

Physikalisch-Technische Reichsanstalt : Considérations touchant le remplacement des unités électriques internationales par les unités électriques absolues, Rapport de M. von Steinwehr, Membre de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

2. *États-Unis d'Amérique.*

Extrait d'une lettre de M. George K. Burgess, du 12 juillet 1928.

Id. du 23 juillet 1928.

Établissement et conservation des valeurs adoptées pour les unités électriques fondamentales, Memorandum du Bureau of Standards.

Résolutions de l'American Institute of Electrical Engineers concernant la révision des Unités électriques, par M. H. E. Farrer.

3. *France.*

Commission de la Société française des Électriciens : Note sur les unités et les étalons électriques.

4. *Grande-Bretagne.*

Memorandum du Comité des unités et étalons électriques du National Physical Laboratory, par Sir R. T. Glazebrook.

La situation des unités et étalons électriques au National Physical Laboratory, et leur relation avec ceux d'autres laboratoires, par M. D. W. Dye.

5. *Italie.*

Rapport présenté au Comité consultatif d'Électricité au nom du Comité italien, par M. L. Lombardi.

6. *Japon.*

Notes sur la révision des Unités Électriques, communiquées au nom du Laboratoire électrotechnique du Japon, par M. K. Takatsu.

7. *Union des Républiques soviétiques socialistes.*

Propositions de la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'U. R. S. S. concernant les unités et les étalons électriques et photométriques, approuvées par une Conférence convoquée à la Chambre centrale des Poids et Mesures, et composée de représentants de plusieurs organisations scientifiques et techniques, ainsi que des membres du personnel dirigeant de la Chambre centrale des Poids et Mesures, réunie sous la présidence de M. D. Konovalov.

Un nouveau modèle d'éléments normaux Weston, par M. F. Malikov.

8. *Bureau international des Poids et Mesures.*

Questions à examiner, par M. Ch.-Éd. Guillaume.

ALLEMAGNE.

CONSIDÉRATIONS TOUCHANT LE REMPLACEMENT DES UNITÉS ÉLECTRIQUES INTERNATIONALES PAR DES UNITÉS ÉLECTRIQUES ABSOLUES.

Par M. von STEINWEHR, Membre de la Reichsanstalt.

Les unités actuellement en usage sont pratiquement suffisantes, eu égard à leur définition et à leur reproductibilité, pour les exigences les plus élevées qui puissent leur être imposées. Sur un point cependant, qui est important, aussi bien en raison de son intérêt théorique et scientifique qu'en ce qui concerne la pratique, elles doivent être considérées comme insuffisantes : leurs valeurs ne coïncident pas exactement avec celles des unités électriques, qui se déduisent du Système absolu de mesures. Les unités internationales, il est vrai, ont été ainsi fixées afin que leurs valeurs fussent les mêmes que celles des unités absolues. Cependant, ce but n'a été atteint qu'imparfaitement parce que, à cette époque, les valeurs absolues n'étaient pas connues avec une précision assez grande. Depuis lors, la situation a changé, en ce sens que les valeurs absolues sont aujourd'hui connues avec une précision à peu près identiques à celle des unités internationales arbitrairement fixées, et l'on pourrait envisager la substitution des unités absolues aux unités internationales, chose en elle-même très désirable.

Il se présente cependant ici quelques hésitations sur lesquelles, en raison de leur importance, il est nécessaire d'attirer l'attention.

1° L'abandon d'une unité consacrée et bien définie en faveur d'une autre qui ne s'impose que par des considérations purement théoriques, ne peut se justifier que si la nouvelle unité permet d'atteindre une plus grande précision que l'ancienne dans son exécution et sa reproduction.

Quelle est, à ce point de vue, la situation actuelle? En faisant abstraction des mesures absolues, déjà anciennes, de l'ohm et de l'ampère, qui n'entrent pas en considération, parce que leurs

valeurs, desquelles sont déduites les unités internationales, ne concordent pas suffisamment entre elles et avec celles qui sont admises aujourd'hui, il reste comparativement peu de recherches qui puissent servir de point d'appui, d'autant plus que ces mesures n'ont pas été répétées, et que, par conséquent, on manque d'une documentation suffisante sur l'invariabilité des appareils et sur la facilité de reproduction des valeurs théoriques.

Ici il ne s'agit que de deux déterminations de l'ohm et de l'ampère indépendantes l'une de l'autre. Il y aurait donc, avant que l'on puisse songer à un changement des unités, des recherches à entreprendre dans de nouveaux laboratoires et des répétitions d'expériences déjà effectuées, ainsi qu'une coordination de ces différentes recherches. Mais, si même ces travaux conduisaient à des conclusions satisfaisantes, il resterait encore le doute exposé ci-après dont on ne saurait méconnaître l'importance.

2° Un changement des unités entraînerait naturellement une modification dans la valeur d'étalonnage de tous les appareils fondés sur ces unités. Tandis qu'un changement dans la valeur de l'ampère interviendrait à peine dans la pratique, puisque selon toutes les prévisions elle n'atteint pas $0,1 \cdot 10^{-3}$, la situation est essentiellement différente en ce qui concerne les valeurs de l'ohm et du volt. Dans ce cas le changement atteindrait environ $0,7 \cdot 10^{-3}$, valeur importante, même pour la pratique.

Qui n'a pas vécu ce trouble, provoqué autrefois par le passage des unités légales aux unités internationales, alors même qu'à cette époque la pratique des unités électriques était seulement à son début et n'avait pas encore atteint, à beaucoup près, l'importance et l'extension qu'elle a aujourd'hui, celui-là ne peut accepter d'un cœur léger une nouvelle modification dans la valeur des unités.

En considération des doutes mentionnés ci-dessus, la question peut être résumée comme suit : il est assurément désirable que les unités absolues, mieux fondées, remplacent les unités internationales; mais le passage des unes aux autres ne devrait avoir lieu que lorsque l'exactitude et la facilité de reproduction des unités absolues seront au moins aussi grandes que celles des unités internationales, et devrait s'exécuter de manière qu'il n'y ait aucun changement concomitant des valeurs pratiques. En d'autres termes, à une époque convenablement choisie, les unités internationales devraient être remplacées par les unités absolues,

mais seulement dans leur essence comme base légale. Pour la pratique on devrait cependant conserver les unités employées jusqu'ici. Dans ce but il serait nécessaire de fixer, par une entente internationale, les facteurs de réduction des unités internationales aux unités absolues. Dans la répétition des mesures absolues faites de temps à autre pour le contrôle des unités pratiques, il suffira de multiplier les résultats de ces mesures par les facteurs trouvés, afin qu'on puisse contrôler les valeurs des anciennes unités pratiques, qui seraient désormais conservées.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

EXTRAIT D'UNE LETTRE DE M. GEORGE K. BURGESS

DU 12 JUILLET 1928.

J'ai accepté d'être membre du Comité consultatif d'Electricité comme représentant du Bureau of Standards. Afin d'aider à formuler des propositions traduisant les opinions courantes aux États-Unis, j'ai jugé désirable de former un Comité consultatif américain représentant les organisations scientifiques, industrielles et commerciales les plus directement intéressées aux mesures électriques. Les organisations indiquées et leurs représentants, nommés membres de ce Comité, sont les suivants :

National Academy of Sciences : Professeur A. E. Kennelly.

American Institute of Electrical Engineers : Professeur A. E. Kennelly.

American Physical Society : Professeur Henry Crew.

National Electric Light Association : D^r Clayton H. Sharp.

Association of Edison Illuminating Companies : D^r Clayton H. Sharp.

National Electrical Manufacturers Association : M. W. J. Canada.

American Telephone and Telegraph Company : M. A. B. Clark.

4. Ce Comité américain s'est réuni au Bureau of Standards le 16 juin 1928 en même temps que quelques membres du personnel supérieur de ce Bureau. Après avoir examiné les informations accessibles concernant le statut actuel des mesures électriques, et étudié divers documents, comprenant ceux qui ont été mentionnés dans les décisions du Comité international, le Comité a adopté à l'unanimité les résolutions suivantes :

I. Que, dans l'opinion du Comité, eu égard aux perfectionnements qui ont été obtenus dans les mesures absolues, les étalons électriques devraient, dans l'avenir, être basés sur le système absolu d'unités.

II. Que, dans l'opinion du Comité, les fonctions qu'il est dési-

rable de confier au Bureau international des Poids et Mesures en connexion avec les unités électriques, sont les suivantes :

1° Un secrétariat central pour organiser un échange systématique d'étalons, et assurer la synthèse des résultats des comparaisons faites par les Laboratoires nationaux;

2° Un laboratoire auquel les étalons matériels représentant les résultats obtenus en divers pays pourront être apportés en vue de comparaisons précises;

3° Un dépôt pour des étalons de référence et des étalons de travail avec les installations nécessaires, de telle sorte que d'autres étalons puissent être comparés sur demande à ceux du Bureau.

5. Si la modification de la Convention internationale relative aux unités électriques a été adoptée, le texte même en était évidemment fondé sur l'hypothèse que les unités électriques seraient établies et maintenues au moyen d'un procédé étroitement lié à celui par lequel le mètre et le kilogramme ont été définis. Le texte adopté a la teneur suivante :

« Art. 7. — Après que le Comité aura procédé au travail de coordination des mesures relatives aux unités électriques, et lorsque la Conférence générale en aura décidé par un vote unanime, le Bureau sera chargé de l'établissement et de la conservation des étalons des unités électriques et de leurs témoins, ainsi que de la comparaison, avec ces étalons, des étalons nationaux ou d'autres étalons de précision.

» Art. 8. — Les prototypes et étalons internationaux, ainsi que leurs témoins, demeureront déposés dans le Bureau; l'accès du dépôt sera uniquement réservé au Comité international. »

6. Il est évident que de semblables étalons et appareils, comme ils sont employés pour établir et maintenir les valeurs des unités électriques, ont le caractère d'instruments de travail plutôt que de prototypes. Il serait tout à fait inutile de choisir certains d'entre eux et de les conserver dans un bureau central comme représentant en permanence les valeurs correctes. Même si les étalons actuels devaient être tellement perfectionnés que leurs valeurs soient constantes pendant une très longue durée, il serait mauvais en principe de les proposer comme prototypes indépendants des étalons fondamentaux. De plus, la confiance que l'on

peut avoir dans les valeurs qui seront établies sur le statut international dépend forcément, dans une large mesure, des valeurs moyennes déduites de déterminations indépendantes faites dans divers Instituts plutôt que dans un seul. Tandis que ces conditions rendent impraticable l'exécution des termes littéraux de la Convention, le Comité international possède une compétence suffisante, donnée par l'article 7, pour répondre à tous les besoins dans un proche avenir. Le travail de coordination par le Comité peut s'étendre sur une longue durée, et obtenir pratiquement tous les résultats qui ont été prévus dans la révision de la Convention. Dans cette œuvre, le Bureau international aura la possibilité de rendre des services d'une haute valeur.

7. Le Comité américain est fortement convaincu que le système dualistique des unités, actuellement en vigueur, doit être abandonné, et que les unités électriques doivent être rendues concordantes avec les unités mécaniques. Nous comprenons, par exemple, que, après la première correction apportée à leurs valeurs afin de supprimer les discordances connues, la continuité de ces valeurs serait maintenue autant qu'il est praticable, et cela serait possible avec un haut degré de précision, à cause de la forme excellente donnée aux étalons pratiques d'électricité. Probablement, tout ajustement futur des valeurs qui leur sont assignées serait fait seulement si l'on démontrait à l'évidence, par des déterminations répétées, et en employant toutes les méthodes possibles, qu'il existe une discordance certaine, ou que les valeurs assignées aux étalons d'usage ne sont pas exactement ce qu'elles doivent être. Incidemment, on peut remarquer que, en adoptant ce système, la détermination des valeurs absolues ne serait pas limitée à deux unités seulement, telles que l'ohm et l'ampère, mais que des déterminations directes des autres unités, telles que le volt et le henry, auraient même poids pour les décisions qui seront prises dans un réajustement nécessaire de tout le système.

8. Eu égard au besoin de valeurs aussi exactes que possible des unités électriques dans le système absolu, le Bureau of Standards a inauguré, il y a quelques années, un programme de recherches dans ce domaine, et nous le faisons progresser aussi rapidement que possible. J'espère que des résultats définitifs pourront être annoncés avant la date fixée à notre Comité pour déposer son Rapport.

EXTRAITS D'UNE LETTRE DE M. GEORGE K. BURGESS

DU 23 JUILLET 1928.

.....
Ma lettre du 12 juillet donne, dans une forme définie, les opinions de toutes nos organisations électriques en Amérique. En fait, j'ai été surpris de trouver combien nous étions près de l'unanimité pour les questions en cause.
.....

Depuis que ma lettre du 12 juillet a été envoyée aux membres du Comité consultatif, j'ai reçu, des représentants de l'American Telephone and Telegraph Company, une confirmation contenant le paragraphe suivant :

« Nous prenons note des conclusions du Comité consultatif, savoir : que tous les étalons électriques devraient, à l'avenir, être basés seulement sur le système absolu d'unités électriques. Maintenant toutes nos mesures électriques sont faites en fonction des étalons internationaux. Comme il existe une différence entre les unités absolues et les unités internationales, différence qui possède déjà une signification à l'époque actuelle et prendra rapidement plus d'importance pour nous, le changement proposé exigera un certain degré de réajustement. Nous convenons que ce progrès devrait être accompli, et nous voudrions insister sur l'opportunité d'une prompte action, afin que ce réajustement apporte le minimum de perturbation. »
.....

La promulgation des résultats auxquels parviendra le Comité consultatif serait faite, bien entendu, par le Comité international des Poids et Mesures.

Je suis incliné à penser que l'organisation actuelle pourrait être permanente; toutes les décisions auraient alors un caractère strictement international, étant approuvées et disséminées par le Comité et non par un seul laboratoire. Dans un pareil projet, il serait désirable de conserver aussi le Comité consultatif international d'Électricité comme un adjoint permanent du Comité inter-

national; il ferait œuvre utile, non seulement en fixant, au début, les principes qui doivent être suivis, mais aussi en discutant l'interprétation des résultats, et en posant aux divers laboratoires des problèmes particuliers pour la solution desquels des expériences peuvent être désirées.

Le Bureau international pourra rendre des services très importants, et établir sa réputation dans ce genre de travaux, en constituant un centre pour la comparaison et la coordination des résultats obtenus dans divers laboratoires. Les travaux du Comité technique international, qui s'est réuni au Bureau of Standards en 1910, montrent bien l'importance d'un pareil esprit; ce Comité a établi, en effet, la concordance, qui est restée depuis lors à la base des mesures électriques dans le monde entier.

Comme des installations existent déjà à Sèvres, le Bureau international prendra naturellement une large part dans l'œuvre expérimentale; mais il serait bon d'insister, au début, sur les services que ce Bureau peut rendre, d'abord comme un poste où les étalons des divers laboratoires peuvent être envoyés pour les comparaisons, et, en second lieu, comme une source de laquelle les différents pays peuvent obtenir des étalons certifiés d'accord avec ceux qui résultent de ces comparaisons, faites dans les Laboratoires nationaux.

ÉTABLISSEMENT ET CONSERVATION DES VALEURS ADOPTÉES POUR LES UNITÉS ÉLECTRIQUES FONDAMENTALES.

Memorandum du Bureau of Standards.

Importance des comparaisons internationales entre les étalons de référence.

La base nominale pour nos unités électriques actuelles est donnée par les décisions de la Conférence internationale des unités électriques, tenue à Londres en 1908; mais l'établissement présent des unités a été accompli par le Comité technique international, qui s'est réuni à Washington en 1910. Autant que des informations précises puissent être obtenues, il apparaît que tous les pays ont, depuis cette époque, basé leurs mesures sur des valeurs alors acceptées pour les bobines de résistance et pour les éléments normaux Weston. Les quelques déterminations de l'ohm faites par des colonnes mercurielles, ainsi que le prescrit la Conférence de Londres, semblent avoir été considérées simplement comme confirmant la constance des bobines de résistance étalons. Dans les quelques années qui ont suivi immédiatement la Conférence, plusieurs déterminations de la force électromotrice d'étalons normaux, ont été faites en différents pays, au moyen du voltamètre à argent; mais ces mesures ont été considérées seulement comme confirmant les valeurs admises. Pratiquement, dans les récentes années, il n'a pas été fait de contrôle des éléments au moyen du voltamètre à argent.

Les conditions existant depuis 1910 ont été exceptionnelles, mais cela ne suffit pas pour motiver l'abandon, dans la pratique actuelle, des décisions prises à Londres. Une explication plus complète doit être cherchée dans le fait que le degré le plus élevé de continuité et d'uniformité dans les valeurs données pour les unités électriques peut être obtenu au moyen d'étalons de contrôle (éléments Weston et bobines de résistance), plutôt que par des retouches fréquentes basées sur des déterminations avec les étalons primaires prescrits (tube d'ohm à mercure et voltamètre à argent).

Quel que soit le système d'étalons de référence ou de définitions fondamentales qui puisse être adopté, il devrait être explicitement reconnu que la valeur exacte à employer sur le terrain international, soit celle résultant de comparaisons faites entre des étalons matériels (bobines et éléments) des divers pays. C'est en fonction de ces étalons que les résultats des déterminations fondamentales doivent être nécessairement exprimés et conservés. A moins que l'ensemble des pays ne possède une base commune pour ces étalons, les résultats publiés de pareilles déterminations ne peuvent pas avoir un sens précis, en dehors du pays où elles ont été faites; on ne peut pas davantage espérer que les mesures pratiques exécutées en divers pays concorderont entre elles.

Il est, par conséquent, doublement important de faire des comparaisons complètes, telles qu'elles ont été esquissées l'an dernier dans la correspondance entre le Comité international et les divers Laboratoires nationaux.

Un changement dans les méthodes employées paraît cependant avantageux; l'expédition des bobines de résistance, et spécialement des éléments, rencontre de sérieuses difficultés; des résultats plus concordants seraient probablement obtenus si, au lieu d'expédier les étalons à certaines dates prescrites, chaque laboratoire les envoyait aux autres quand il pourrait les faire transporter par des membres de son personnel ou d'autres fonctionnaires intéressés dans ces comparaisons, lesquels donneraient un soin particulier à ces étalons.

ÉTAT PRÉSENT DES COMPARAISONS INTERNATIONALES.

Éléments étalons. — Le rapport présenté par le Bureau international à la Septième Conférence générale (*Comptes rendus*, 1927, p. 59-61) a montré que les comparaisons de 1927 étaient à ce moment loin d'être complètes. Des résultats obtenus pour les éléments étalons, par les soins de la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'U.R.S.S., concluent au besoin de comparaisons ultérieures et à de faibles retouches pour que l'on obtienne une meilleure concordance.

Le Bureau of Standards a eu des interchanges relativement fréquents des éléments étalons avec le National Physical Laboratory, ainsi que quelques comparaisons avec d'autres laboratoires. Sur la base de ces comparaisons directes et du rapport susmen-

tionné, on estime que la valeur du volt, conservée dans six pays différents, se répartit sur 1 dix-millième, ainsi que le montre la figure ci-jointe. Dans cette figure, les valeurs relatives des unités

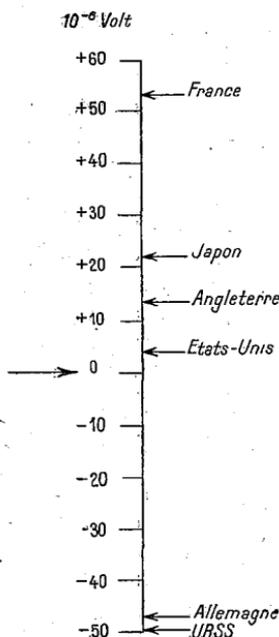


Fig. 2. — Représentation des écarts entre les valeurs du volt, trouvées en divers pays.

conservées en France, en Allemagne, dans l'U.R.S.S. et aux États-Unis, ont été obtenues par des mesures rapportées aux éléments russes, tandis que les valeurs des éléments du Japon et de l'Angleterre, rapportées à celles des États-Unis, sont déduites de comparaisons directes. On a admis que les éléments étalons du Laboratoire central d'Électricité ont une valeur plus élevée, parce que le sulfate mercurique employé est préparé par électrolyse au moyen du courant alternatif; ce laboratoire ferait, en conséquence, une réduction de 5 cent-millièmes de la valeur qu'il a admise, l'amenant ainsi en bonne concordance avec les données des autres établissements.

Au Bureau of Standards, on admet qu'un groupe choisi

d'éléments a conservé une valeur constante. D'autres éléments sont remplacés dans le groupe, si certains d'entre eux montrent à l'évidence des changements relativement au groupe, mais de telles substitutions sont très rarement nécessaires. Par exemple, il n'en a été fait aucune depuis 1919, et quinze des vingt éléments inclus sont vieux de 22 années. De nouveaux éléments ont été établis occasionnellement; leurs forces électromotrices ont montré une concordance suffisante avec les anciens groupes de référence, mais la valeur employée est celle qui résulte des anciens éléments.

Au National Physical Laboratory, il est prévu qu'un groupe de nouveaux éléments doit être préparé chaque année, et la base de référence est la moyenne des éléments qui ont été faits pendant les trois années antérieures. En dépit de cette procédure radicalement divergente, les comparaisons faites entre les éléments des deux laboratoires n'ont jamais indiqué un écart supérieur à quelques cent-millièmes. Maintenant la différence semble être inférieure à 1 cent-millième, comme l'indiquent les comparaisons d'éléments faites dans l'année écoulée.

Bobines de résistance. — Pour les bobines de résistance en fil enroulé, du type de précision, d'égale valeur nominale dans le domaine compris entre 0,1 ohm et 100 ohms, les mesures faites dans un seul laboratoire semblent donner des valeurs relatives qui concordent à moins d'un millionième près. Si les étalons comparés ont des valeurs essentiellement différentes, la précision des comparaisons est moins bonne, car elle dépend du rapport des résistances et de leur grandeur absolue; mais si l'un des étalons possède une valeur de 1 ohm et l'autre une résistance de 0,1 ohm ou de 10 ohms, la précision des comparaisons est toujours à peu près de 1 millionième. Certainement les étalons de résistance de 1 ohm, de la qualité de ceux employés pour conserver l'unité de résistance, peuvent être comparés entre eux, avec une erreur qui en aucun cas ne dépasse 1 millionième.

Dans l'échange des étalons de résistance entre les Laboratoires nationaux, des facteurs autres que la précision des mesures ont affecté la sécurité des comparaisons. Des résistances étalons qui ont montré des variations de l'ordre de quelques millionièmes pendant une période de plusieurs années, comparées avec des étalons de référence du Bureau of Standards, lorsqu'ils sont transportés par le procédé usuel, à l'aller et au retour, dans

d'autres pays, modifient fréquemment leur résistance de plus de 1 cent-millième. Il en résulte que les valeurs relatives des unités de résistance en usage dans différents pays, même quand cette opération suit immédiatement une intercomparaison, ne peuvent pas être connues avec une précision de plus de 1 cent-millième.

Durant les 18 années écoulées depuis 1910, l'unité de résistance a été conservée par le Bureau of Standards en supposant que la résistance moyenne d'un groupe de dix étalons de 1 ohm est restée constante. Les étalons particuliers employés pour conserver l'unité ont été sélectionnés de temps en temps dans un groupe beaucoup plus grand et après une investigation de la tenue de chacun d'eux pendant les quelques années antérieures. Il en est résulté quatorze changements dans le groupe de référence, mais en tout seulement dix-sept étalons ont été employés pour conserver l'unité.

Les plus récentes intercomparaisons entre les étalons du National Physical Laboratory et du Bureau of Standards montrent que l'unité conservée par le Bureau of Standards est plus petite d'environ 2 cent-millièmes que celle du National Physical Laboratory.

D'accord avec le programme proposé par le Comité international, quatre étalons de résistance ont été envoyés au Japon en août de l'année dernière; trois d'entre eux ont été mesurés au Japon et viennent d'être retournés au Bureau. Les mesures faites indiquent une concordance de l'ordre de 1 ou 2 cent-millièmes.

Autres étalons. — Un interchange de condensateurs étalons et d'étalons d'inductance a été organisé entre le National Physical Laboratory et le Bureau of Standards; mais l'opération n'est pas encore terminée.

REPRODUCTIBILITÉ DES UNITÉS DANS LE SYSTÈME INTERNATIONAL.

L'ohm mercuriel. — L'œuvre de Jæger et de ses collaborateurs sur l'ohm mercuriel, accomplie à la Reichsanstalt entre les années 1891 et 1897, a été la première réalisation faite avec tous les soins possibles de l'unité de résistance par les procédés modernes. Depuis que ce travail a été achevé, plusieurs rapports ont été publiés par la Reichsanstalt.

Le travail de F. E. Smith et de ses collaborateurs au National

Physical Laboratory a été accompli entre 1903 et 1925, et celui de Wolff, Shemaker et Briggs, au Bureau of Standards, en 1911.

En contraste avec les mesures absolues, la technique de la détermination de l'ohm mercuriel est restée relativement stationnaire depuis les travaux de Jæger, qui datent déjà de 30 ans. Cela tient en partie au fait que l'ohm mercuriel est un étalon définitivement stabilisé par les lois nationales, et aussi parce que les éléments de la technique (calibrage des tubes, mesure de longueur et de masse, comparaison de résistances), avaient été déjà uniformisés pour d'autres mesures physiques, avant que le travail de l'ohm mercuriel fût commencé. La précision avec laquelle l'unité de résistance est reproduite au moyen de l'ohm mercuriel n'est pas meilleure aujourd'hui qu'il y a 30 ans.

Les résultats donnés dans le tableau ci-dessous sont extraits d'une communication de la Reichsanstalt, publiée en 1927, et qui peut être considérée comme représentant un degré avancé de la technique actuelle. Dans cette recherche, cinq tubes, qui avaient servi dans un travail ancien de la Reichsanstalt, ont été employés en connexion avec cinq autres tubes de construction récente. Chaque tube a été rempli de six à dix fois pour déterminer la masse du mercure, et de trois à cinq fois pour les mesures de résistance.

	Écarts en millionièmes.
Écart moyen de la masse du mercure remplissant le tube, par rapport à la moyenne de tous les remplissages du même tube.....	5 à 11
Écart maximum en masse.....	15 à 39
Écart moyen trouvé pour la résistance d'un remplissage d'un tube donné et la moyenne de tous les remplissages de ce tube.....	1 à 20
Écart maximum de résistance.....	4 à 29
Variation moyenne dans la valeur de l'ohm international réalisée par un seul tube rapporté à la moyenne de tous les tubes.....	19
Variation maxima dans la valeur de l'ohm international réalisée par un tube quelconque.....	44

On a trouvé que les cinq tubes anciens avaient changé de lon-

gucur et que la masse du mercure contenu s'était aussi altérée dans une proportion atteignant 40 à 152 millièmes; en conséquence, leur résistance géométrique a été évaluée en partant de nouvelles mesures de longueur et de masse. Cependant, comme il n'était pas possible d'assurer un contrôle du facteur de calibrage, il était nécessaire de supposer que les anciens tubes avaient conservé, à très peu près, leur forme originale, tandis que leurs dimensions s'étaient modifiées; en conséquence, il est à peine possible de donner le même poids aux résultats obtenus avec les anciens tubes qu'à ceux fournis par les nouveaux tubes. Il est donc évident que la conservation de l'unité de résistance au moyen de tubes à mercure exige que de nouveaux tubes soient construits, à des intervalles de 5 ans, par exemple, puisqu'il n'est pas possible de déterminer exactement le facteur de calibrage, excepté au commencement, avant que le tube soit coupé aux dimensions d'un ohm.

Cette estimation de la précision finale dans la réalisation de l'ohm international d'après sa définition et sa spécification est, dans une large mesure, affaire d'opinion personnelle. F. E. Smith, en 1914, estimait qu'elle devait être de 20 ou 30 millièmes; le National Physical Laboratory, dans son rapport de 1925, établit que les discordances entre les mesures des divers Laboratoires nationaux sont ordinairement de l'ordre de 20 ou 30 millièmes et que leurs récentes déterminations indiquent que cette grandeur est toujours de l'ordre d'incertitude auquel on arrive dans la réalisation de l'ohm international.

Détermination par le voltamètre à argent. — Tandis que l'ohm est reproduit directement au moyen de la colonne de mercure et que sa valeur est conservée par des résistances solides, il est, par contre, impossible de représenter l'ampère par aucun étalon physique. Si le voltamètre à argent est employé pour représenter ou contrôler la seconde unité fondamentale, d'accord avec la décision de la Conférence de Londres en 1908, les résultats sont en général exprimés en fonction de la force électromotrice d'un élément normal Weston, en supposant que les valeurs des résistances employées sont exactement connues. Le voltamètre et les étalons de résistance deviennent alors un moyen de déterminer la force électromotrice pour chaque groupe particulier d'éléments plutôt que pour établir directement la valeur de l'ampère.

C'est seulement depuis 1910 qu'a été reconnue l'importance d'employer, dans le voltamètre, un électrolyte pur, non contaminé par le papier à filtrer ou par d'autres substances organiques. Le Comité technique international, réuni à Washington en 1910, connaissait bien les difficultés résultant de l'emploi du papier à filtrer, et les résultats de ses expériences constituent une détermination plus précise de la force électromotrice de l'élément par le moyen du voltamètre que ce n'était le cas auparavant. Le travail de ce Comité a conduit à la valeur 1,01830 volt à 20° pour l'élément Weston normal.

A des dates un peu postérieures, d'autres déterminations ont été faites en différents pays. Un résumé de ces observations est donné dans le Tableau I.

TABLEAU I. — *Valeur de l'élément Weston à 20°, déduite des mesures au voltamètre à argent.*

Pays.	Dates.	Forme du voltamètre.	Valeur par élément.	Ecart en millionièmes.
États-Unis.....	1910-12	Smith	1,018274	— 2
États-Unis.....	1910-12	Richards	1,018167	— 9
Allemagne.....	1913	Kohlrausch	1,018290	+ 14
Hollande.....	1913	Smith	1,018260	— 16
Russie.....	1914	Smith	1,018295	+ 19
Japon.....	1915-16	Smith	1,018269	— 7
			1,018276	± 11

Il résulte des nombres du tableau qu'un haut degré d'uniformité a été obtenu dans ces mesures, l'écart moyen n'étant que de 1 cent-millième, en dépit des formes différentes adoptées pour les voltamètres.

Aucune mesure avec le voltamètre à argent n'a été faite au Bureau of Standards pendant 15 années, jusqu'à ce que le travail ait été repris dans le courant de l'année dernière; mais il n'a été fait, jusqu'à présent, qu'un petit nombre de dépôts. Les résultats donnés dans le Tableau II sont basés sur trois expériences pour lesquelles l'électrolyte a été préparé en partant d'un sel cristallisé et fondu,

TABEAU II. — *Force électromotrice de l'élément Weston normal, déduite de mesures récentes faites au Bureau of Standards.*

Forme Smith (pas d'écran).	Forme Richards (vase poreux).
1,018300	1,018219
1,018339	1,018200
1,018307	1,018207
1,018270	1,018207
1,018321	1,018241
	1,018231
<hr/>	<hr/>
1,018307	1,018218

Dans ces expériences, les dépôts dans la forme dite de Smith ont été un peu plus forts que dans la forme dite de Richards, avec un vase poreux. Une explication satisfaisante de cette différence ne peut pas être trouvée à l'heure actuelle, car toutes impuretés introduites dans le vase poreux accroissent en général la masse du dépôt. Les résultats avec le voltamètre à argent de la forme Smith donnent, pour la base de référence du Bureau of Standards, une valeur presque exactement égale à celle qui lui avait été assignée par le Comité technique international en 1910.

Valeurs obtenues au moyen de nouveaux éléments étalons.
 — Tandis que l'emploi du voltamètre à argent et d'un étalon de résistance fournit la méthode établie pour le contrôle des éléments étalons, on peut déduire des valeurs de la préparation de nouveaux éléments et de la comparaison de leur force électromotrice avec celles du groupe primaire de référence. Dans le Tableau III sont donnés les résultats obtenus sur divers groupes d'éléments préparés en 1925-1927 au Bureau of Standards. La moyenne des trois premiers de ces groupes, qui étaient tous formés d'éléments neutres, montre que la force électromotrice, après qu'ils eurent été abandonnés pendant un temps suffisant pour arriver à un état stable, concorde à 1 cent-millième près avec le groupe de référence représentant l'élément Weston normal. Le quatrième groupe d'éléments auquel on a ajouté de l'acide est, comme on peut s'y attendre, légèrement plus faible

TABLEAU III. — *Données concernant les nouveaux éléments établis au Bureau of Standards.*

Date de fabrication.	Fait par	Date de la mesure.	Élé-ment. n°	Différence (1) (microvolts)
4 nov. 1925....	M. Holler	28 nov. 1925	651	+ 11
			652	+ 14
			653	+ 15
			654	+ 12
			655	+ 17
			656	+ 8
	Moyenne.....			+ 13
9 avril 1927....	M. Schramm	12 mai 1927	657	+ 13
			658	+ 9
			659	+ 10
			660	+ 8
			661	+ 10
			662	+ 9
	Moyenne.....			+ 10
9 avril 1927....	M. Schramm	12 mai 1927	667	+ 4
			668	+ 2
			669	0
	Moyenne.....			+ 2
27 avril 1927....	M. Schramm	12 mai 1927	670	- 4
			671	- 5
			672	- 6
			673	- 6
			674	- 6
	Moyenne.....			- 6
	Correction d'acidité.....			+ 12
	Moyenne corrigée.....			+ 6

(1) Par rapport à la base de référence du Bureau of Standards.

que le groupe de référence, mais ici aussi la différence est moindre que 1 cent-millième. La quantité d'acide ($0^{\text{mol}}, 02$) ajoutée aux éléments de ce dernier groupe exigerait une correction de +12 microvolts, de telle sorte que, par comparaison aux éléments Weston normaux, leur force électromotrice est trop grande, en moyenne de 6 microvolts. Ces groupes montrent à l'évidence que les nouveaux éléments peuvent être préparés avec une force électromotrice très proche de celle assignée par l'élément Weston normal, si l'on suppose que la base de référence du Bureau a été conservée avec un haut degré de précision.

ÉTAT PRÉSENT DES MESURES ABSOLUES.

Résistance. — Vers 1851, Weber proposa un système d'unités électriques fondé sur les unités de longueur, de masse et de temps, dans l'hypothèse que toutes les expériences étaient faites dans un milieu possédant la perméabilité 1. Il esquaissa aussi certaines méthodes par lesquelles les mesures nécessaires pouvaient être exécutées. Le système de Weber a été adopté en 1860 par le Comité de la British Association, et, depuis lors, il a fourni les bases de la mesure des unités électriques. La British Association nomma un Comité, présidé par Maxwell, pour déterminer la valeur de l'ohm. Depuis ce temps, un certain nombre de mesures ont été faites; les plus importantes sont indiquées dans le graphique ci-joint.

Presque tous les expérimentateurs ont exprimé leurs valeurs en fonction de la résistance d'une colonne de mercure. Cependant, les incertitudes subsistant dans les ohms mercuriels ont parfois atteint la grandeur des mesures absolues; il est donc difficile de faire une comparaison précise des valeurs absolues des résultats. Il existe seulement trois valeurs pouvant être comparées avec précision, puisque les fils étalons ont été échangés seulement entre les laboratoires qui ont fait ces déterminations. Ces mesures sont les valeurs obtenues en 1914 par Smith au National Physical Laboratory, en 1921 par Grüneisen et Giebe à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, et en 1927-1928 par Curtis et Moon au Bureau of Standards.

F. E. Smith a employé un appareil de Lorenz. Son travail tout entier a été exécuté avec le plus grand soin. Assurément, il présente un léger défaut par le fait que Smith a employé un seul appareil

telles sorte qu'il n'avait pas la possibilité de découvrir les erreurs

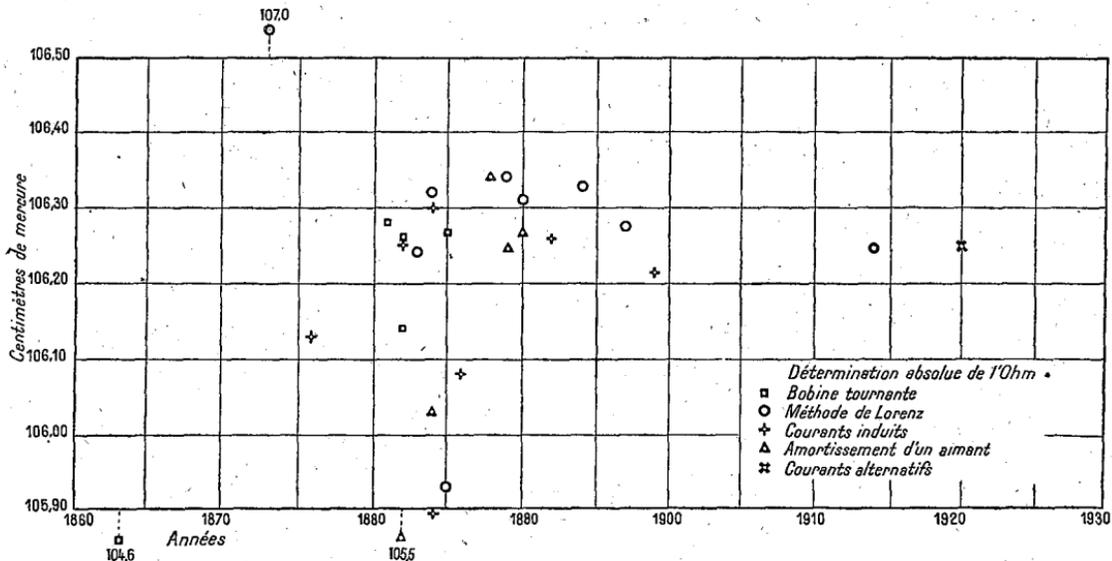


Fig. 3. — Valeurs, exprimées en fonction de la longueur de la colonne de mercure, obtenues pour l'ohm, entre 1863 et l'époque actuelle.

ne permettant pas de varier les conditions de l'expérience, de

systematiques. Sa valeur publiée est :

$$1 \text{ ohm international} = 1,00052 \pm 0,00002 \text{ ohm absolu.}$$

Grüneisen et Giebe ont construit deux bobines d'induction, dont les inductances, calculées d'après leurs dimensions, ont été comparées aux valeurs trouvées par les mesures faites en fonction de l'ohm international et de la seconde. Les résultats fournis par les deux bobines différaient seulement de 2 millièmes, mais il est possible que certains erreurs systématiques n'aient pas été éliminées. Le résultat que donnent ces auteurs est :

$$1 \text{ ohm international} = 1,00051 \pm 0,00003 \text{ ohm absolu.}$$

Il y a quelque différence entre les valeurs de l'ohm international employé dans les deux laboratoires susnommés. Heureusement, cependant, une intercomparaison des résistances a été faite en 1914 entre ces laboratoires, alors que l'un des travaux venait d'être achevé, et que l'autre était en cours. Ces comparaisons montrèrent que l'ohm international conservé au National Physical Laboratory était plus petit de 32 millièmes que celui de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt. En appliquant cette correction, la différence entre les valeurs absolues, obtenues par des méthodes entièrement différentes dans les deux laboratoires, est 4 cent-millièmes.

La méthode employée par Curtis et Moon, au Bureau of Standards, est essentiellement la même que celle de Grüneisen et Giebe. Ils ont expérimenté avec un seul étalon d'inductance, et toutes les valeurs obtenues jusqu'à présent sont considérées comme simplement préliminaires. Trois différents groupes de mesures ont été terminés, et le quatrième est en voie d'achèvement. Dans chacun des cas, le dernier excepté, certaines imperfections des appareils ont été découvertes, mais aucune différence systématique dans les résultats n'a été observée. La meilleure valeur admise aujourd'hui est :

$$1 \text{ ohm international} = 1,00050 \pm 0,00002 \text{ ohm absolu.}$$

Cette valeur est basée sur l'unité de résistance acceptée à Washington en 1910, et maintenue depuis lors, au moyen d'étalons en manganine, au Bureau of Standards.

Les comparaisons de résistances entre le Bureau of Standards

et les laboratoires étrangers ont été si peu nombreuses depuis 1914 qu'il est impossible de connaître avec précision la valeur de l'ohm absolu obtenue au Bureau of Standards et celle qui a été trouvée dans les autres instituts. Les différences apparentes entre les valeurs du Bureau of Standards et des autres laboratoires sont du même ordre de grandeur que la différence probable des unités internationales conservées dans les divers laboratoires.

Courant. — Il n'a pas été fait de mesures absolues de l'ampère jusqu'en 1870. Tous les résultats importants mis au jour depuis lors sont représentés dans le diagramme ci-joint. Les principaux sont ceux de Ayrton, Mather et Smith, au National Physical Laboratory, et ceux de Rosa, Dorsey et Miller, au Bureau of Standards, obtenus tous deux avec des balances de courant.

Dans ces deux groupes de déterminations, le courant passant à travers les bobines de la balance était mesuré en même temps au moyen de la chute de potentiel dans une résistance étalon. On rapportait donc la valeur du courant à une résistance étalon et à un élément étalon. Dans les deux laboratoires, le même étalon de résistance et le même élément étalon ont été employés dans les expériences ultérieures pour déterminer le courant précipitant de l'argent dans un voltamètre à argent. Donc, dans chaque cas, la valeur absolue du courant était aussi exprimée par la quantité d'argent déposée par seconde dans un voltamètre à argent. Malheureusement, le National Physical Laboratory employait alors du papier à filtrer dans les voltamètres dans lesquels l'argent était déposé, et il a été démontré depuis lors que ce mode d'opérer affecte d'une façon certaine la quantité d'argent, de telle sorte qu'il n'est pas possible de faire une comparaison précise sur cette base. Les comparaisons doivent, par conséquent, être faites en fonction de l'étalon de résistance et de l'élément étalon, en partant des résultats que nous considérons maintenant comme ayant les valeurs relatives assignées, dans les deux laboratoires, pour l'ohm et le volt.

Ayrton, Mather et Smith ont publié les résultats de leurs mesures en 1908, Rosa, Dorsey et Miller, quatre années plus tard. En 1910, moyenne des époques de ces deux déterminations, la réunion du Comité Technique à Washington donna l'occasion d'une intercomparaison de résistances étalons et d'éléments étalons. Ces intercomparaisons ont montré que l'unité de résistance des deux laboratoires ne différait pas de plus de 5 millièmes;

mais les résultats publiés ne sont pas exprimés sous une forme

telle que l'on puisse déterminer la différence entre les unités de

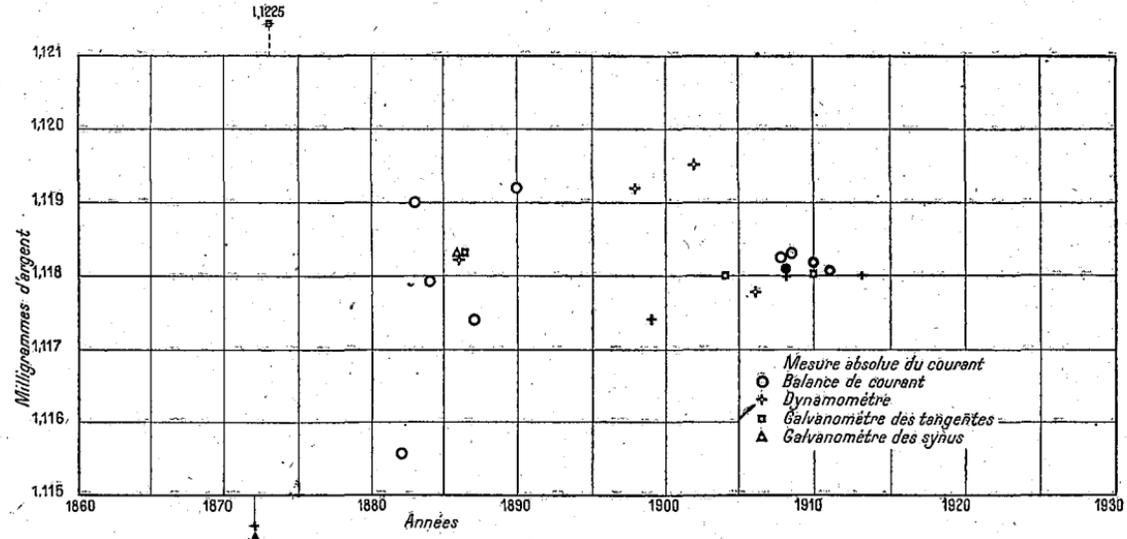


Fig. 4. — Valeurs de l'ampère, représentées par le nombre de milligrammes d'argent déposés par seconde, entre 1872 et l'époque actuelle.

force électromotrice dans les deux laboratoires. Il paraît probable qu'il y ait eu une différence d'à peu près 2 ou 3 cent-millièmes.

Ayrton, Mather et Smith obtinrent, pour l'élément normal Weston, la valeur de $1,01819 \pm 0,00002$ volt, en employant leur balance de courant et leur unité de résistance. Rosa, Dorsey et Miller obtinrent la valeur : $1,01822 \pm 0,00002$ volt. La différence entre ces deux déterminations est de 3 cent-millièmes. Comme dans le cas des déterminations absolues de Pöhm, mentionnées ci-dessus, cette différence est du même ordre de grandeur que l'incertitude sur les valeurs relatives des unités dans lesquelles sont exprimés les résultats des deux laboratoires.

En 1927, d'autres mesures ont été faites au National Physical Laboratory avec la balance d'Ayrton, Mather et Smith, les résultats étant exprimés sous la forme d'une redétermination de la force électromotrice de l'élément normal Weston en fonction de l'ohm international et de l'ampère absolu. Les constantes de la balance n'ont pas été mesurées à nouveau, et aucun détail de cette détermination n'a été publié; mais une comparaison provisoire peut être faite avec les résultats préliminaires obtenus la même année au Bureau of Standards, où une détermination a été faite avec un lot de bobines employées en connexion avec la balance de Rosa, Dorsey et Miller. Un échange d'éléments étalons et de résistances étalons a été fait entre ces deux laboratoires, non loin de l'époque des mesures, avec la balance de courant, donnant, pour comparer les valeurs, une meilleure base qu'à l'ordinaire.

La valeur trouvée pour l'élément normal Weston du National Physical Laboratory, en employant l'ohm international de ce laboratoire et l'ampère absolu, ainsi qu'il a été établi par la balance de courant, est $1,01830$ volt. Des résultats de l'intercomparaison des éléments ou des résistances des deux laboratoires, on peut passer aux unités conservées au Bureau of Standards; il apparaît alors que la valeur obtenue par le National Physical Laboratory, savoir $1,01830$, est équivalente à $1,01831$ volt pour les éléments étalons du Bureau of Standards, lorsqu'ils sont employés en connexion avec l'ohm international du Bureau. La valeur obtenue par la balance de courant au Bureau of Standards était $1,01827$ volt, fondée sur le même point de départ.

Les résultats comparés alors montrent une différence de 4 cent-millièmes, mais l'une au moins des déterminations était de nature purement préliminaire, et faite seulement pour essayer les appareils rassemblés à nouveau et pour entraîner le personnel

encore novice. Beaucoup d'autres observations doivent être faites avant que l'on puisse donner des résultats définitifs, mais certainement, les résultats préliminaires indiquent que des balances de courant, mesurant les valeurs absolues avec une erreur n'excédant pas 3 ou 4 cent-millièmes, ont été réalisées. L'opinion de ceux qui ont reconstruit ces balances est que l'erreur peut être réduite à 1 ou 2 cent-millièmes.

SPÉCIFICATIONS POUR LES ÉTALONS INTERNATIONAUX DE RÉSISTANCE.

Il est peut-être indiqué de rappeler que le seul étalon de référence pour lequel la Conférence de Londres a adopté des spécifications définitives était l'ohm mercuriel, avec lequel il semble le plus difficile d'obtenir des résultats susceptibles d'être reproduits avec précision. Le Comité international en question n'a jamais réussi à atteindre la concordance sur des spécifications finales pour le voltamètre et l'élément étalon. On est arrivé, en 1910, à des conclusions, en prenant la moyenne des résultats des quatre laboratoires représentés. En réalité, entre ces laboratoires, il y a des différences très marquées dans la manière d'opérer et dans les résultats.

En considération de l'importance de l'élément étalon, à la fois comme conservateur des unités et comme instrument pratique, il est très désirable que l'on complète les spécifications acceptées pour sa construction. Le voltamètre aussi peut fournir une méthode convenable pour contrôler la conservation des unités, même s'il ne demeure pas comme base de la définition de l'ampère. Il semble improbable qu'une révision de l'ancien travail, complétée par quelques expériences, puisse maintenant conduire, pour cet instrument, à des spécifications pouvant être généralement acceptées.

En ce qui concerne les bobines de fil, il est peut-être prématuré de proposer des spécifications, mais l'incertitude apportée dans les comparaisons internationales par le changement de la valeur des bobines, lorsqu'elles sont envoyées d'un pays dans un autre, montre combien il est désirable que de nouveaux perfectionnements soient introduits dans la construction de ces étalons. De tels perfectionnements peuvent être cherchés au moins dans trois directions différentes : 1° la production d'un alliage meilleur que la manganine ; 2° des modifications dans l'organisa-

tion, permettant d'éteuver le fil après l'enroulage; 3° des modifications pour réduire la facilité de corrosion du fil.

On suppose que des précautions convenables doivent être prises dans la construction des bobines, afin d'empêcher des variations provenant des changements dans le degré d'humidité auquel elles sont sujettes quand elles sont transportées d'un climat dans un autre. Il est possible qu'une, plus grande attention pour stabiliser les températures, aussi bien pour les bobines que pour les éléments étalons normaux, aide à éliminer certaines discordances.

En général, on admet que, pour les comparaisons, les valeurs des étalons sont ramenées à 20°, mais il semble que la pratique diffère considérablement suivant les pays et les conditions de la mesure. Au Bureau of Standards, des mesures de bobines et d'éléments saturés (normaux) sont faites régulièrement dans des bains d'huile chauffée électriquement, et dont la température est réglée, par un thermorégulateur. La température est alors de 25° au lieu de 20°, afin d'éviter la condensation de l'humidité de l'air par temps chaud. Si des mesures faites à 20° étaient en meilleure concordance avec celles d'autres laboratoires, le Bureau adopterait volontiers un matériel qui puisse y conduire.

Pour les appareils qui servent à déterminer les valeurs absolues des unités, il n'est pas question d'établir de spécifications. Au contraire, il est désirable que de telles déterminations soient faites en employant autant de méthodes indépendantes qu'il est possible.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.

Eu égard à la présente situation, ainsi qu'elle est décrite dans ce qui précède, le Bureau of Standards recommande au Comité international des Poids et Mesures l'organisation suivante, qui est d'abord soumise au Comité consultatif international :

1° Organiser des intercomparaisons plus complètes et précises que celles faites jusqu'à ce jour entre les divers Laboratoires nationaux, afin d'établir avec certitude les valeurs relatives des unités conservées aujourd'hui;

2° Organiser des recherches systématiques, faites en collaboration, afin de perfectionner les étalons employés pour conserver les unités, et pour faire des comparaisons comme celles qui sont mentionnées ci-dessus. Ces recherches devraient comprendre des

études du matériel, de la forme et de la construction d'étalons de résistance et d'éléments étalons, et spécifier les conditions dans lesquelles elles doivent être appliquées;

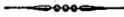
3° Reconnaître le principe d'après lequel l'uniformité et la continuité des valeurs des unités devraient être conservées, avec des modifications faites seulement par une entente internationale;

4° Reconnaître en principe que des mesures absolues plutôt que des étalons arbitrairement définis doivent constituer la base de référence, de telle sorte que la relation des unités électriques au système général (mécanique) soit connue;

5° S'organiser pour qu'il soit fait plus de déterminations des valeurs absolues des unités;

6° Convenir que, jusqu'à ce que des déterminations absolues satisfaisantes aient pu être réalisées, les valeurs des unités acceptées aujourd'hui seront conservées. Chaque pays peut maintenir ses propres valeurs exactement quant à présent, ou de légères modifications peuvent être faites dans les valeurs admises, afin d'assurer une concordance plus exacte entre les pays, ainsi qu'il peut être décidé par les Laboratoires nationaux que cela concerne; la décision sur ce point dépendra, pour une part importante, des résultats des comparaisons proposées sous 1°;

7° Préparer les voies pour l'adoption générale des valeurs absolues des unités, aussitôt qu'un nombre suffisant de déterminations satisfaisantes auront été faites.



RÉSOLUTIONS DE L'INSTITUT AMÉRICAIN DES INGÉNIEURS ÉLECTRICIENS CONCERNANT LA RÉVISION DES UNITÉS ÉLECTRIQUES,

TRANSMISES

Par M. H. E. FARRER,
Secrétaire du Standards Committee.

Considérant qu'on a mis en évidence d'une façon certaine une différence entre les unités électriques internationales actuellement légales (ohm, ampère et volt) et les unités fondamentales que ces unités internationales devraient représenter, cette différence atteignant, dans le cas de l'ohm et du volt, environ $0,5 \cdot 10^{-3}$;

Considérant que ces écarts sont beaucoup trop grands comparativement à la précision requise et maintenant atteinte dans la construction et l'usage des étalons fondamentaux pour les mesures électriques ;

Il est, en conséquence, *décidé* que l'Institut Américain des Ingénieurs électriciens insiste auprès du Bureau of Standards et des Laboratoires étrangers nationaux de mesure pour qu'ils entreprennent, aussitôt que possible, les recherches encore nécessaires afin que la législation puisse réduire ces différences dans des limites acceptables, et cela dans un avenir rapproché.

Considérant que les unités électriques actuelles sont définies en fonction d'étalons concrets, c'est-à-dire l'ohm à mercure et le voltamètre à argent, qui, comme on le sait maintenant, ne représentent qu'approximativement l'ohm et l'ampère absolus, et que l'expérience a montré que l'on devrait apporter de sérieuses restrictions dans leur emploi ;

Considérant qu'il a été fait de tels progrès au cours des dernières années dans la possibilité d'effectuer des déterminations de mesures électriques absolues en fonction des unités fondamentales de longueur, de masse, de temps et de perméabilité, que l'exactitude et la facilité de reproduction d'un système d'unités élec-

triques réalisé par ces mesures absolues sembleraient être appropriées aux besoins commerciaux, industriels et scientifiques;

Considérant que la légalisation de l'ohm et de l'ampère absolus et des unités qui en dérivent (ces unités étant réalisées par les Laboratoires nationaux) écartera les projets de révision des valeurs des unités légalisées, et établira les unités électriques sur une base légale permanente;

Il est décidé que l'Institut Américain des Ingénieurs électriciens insiste auprès du Bureau of Standards et des Laboratoires nationaux étrangers de mesure, pour qu'ils entreprennent, dès que possible, les recherches encore nécessaires afin que l'ohm absolu et l'ampère absolu basés sur le système électromagnétique C. G. S., ainsi que le volt et le watt absolus et les autres unités qui en dérivent, puissent être légalisés en remplacement de l'ohm et de l'ampère internationaux et de leurs unités dérivées;

Il est décidé, en plus, que, dans le but d'éviter la confusion qui résultera de l'usage intérimaire des nouvelles unités empiriques basées sur les unités internationales corrigées, les unités électriques internationales continueront à être en usage sans modification de leurs valeurs jusqu'à ce que les unités absolues ci-dessus mentionnées aient pu être déterminées;

Il est décidé, enfin, que des expéditions des présentes résolutions seront communiquées aux divers Laboratoires nationaux de mesure et aux autres organisations intéressées.

Le 27 juin 1938.



FRANCE.

NOTES SUR LES UNITÉS ET LES ÉTALONS ÉLECTRIQUES.

Présentée par la Commission de la Société française
des Électriciens (1).

Une Commission a été instituée par la Société française des Électriciens pour étudier la question de l'état actuel des unités électriques et de leur représentation.

Après avoir pris connaissance des recherches effectuées dans les divers Laboratoires nationaux sur la conservation des unités électriques au moyen d'étalons concrets, telle qu'elle avait été prévue en 1908 par la Conférence de Londres, ainsi que des travaux effectués depuis 1910 pour la détermination de ces unités en valeur absolue, elle a émis les avis suivants :

- 1° Qu'il y a lieu d'abandonner le système d'unités électriques dit international pour adopter le système absolu;
- 2° Qu'il convient toutefois de maintenir le système actuel en

(1) Cette Commission comprend :

M. P. JANET, Membre de l'Institut, Directeur du Laboratoire central d'Électricité, Président;

M. H. ABRAHAM, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris;

M. É. BRYLINSKI, Président du Comité électrotechnique français;

M. A. COTTON, Membre de l'Institut;

M. L. DROUËT, Directeur de l'École professionnelle supérieure des Télégraphes;

M. CH. FABRY, Membre de l'Institut;

M. G. FERRIÉ (Général), Membre de l'Institut;

M. A. GUILLET, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris;

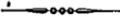
M. R. JOUAUST, Sous-Directeur du Laboratoire central d'Électricité, Rapporteur.

vigueur, jusqu'à ce que de nouvelles expériences aient permis de déterminer avec plus de précision qu'à l'heure actuelle les valeurs des unités absolues;

3° Qu'il serait désirable que les divers laboratoires entreprennent, dans le plus bref délai, les déterminations dont il vient d'être question;

4° Qu'il est nécessaire, pour la bonne exécution du programme qui vient d'être indiqué, que le Bureau international des Poids et Mesures assure la coordination des recherches en organisant les relations entre les divers instituts, et en établissant, dans ses locaux, des laboratoires convenablement outillés pour permettre des comparaisons internationales.

La Commission ne verrait aucun inconvénient à ce que des recherches sur la détermination des valeurs absolues des unités électriques fussent entreprises par le Bureau international des Poids et Mesures, s'il en trouve la possibilité matérielle et financière. Mais ces déterminations devraient être considérées comme prenant place parmi celles qui seraient effectuées dans les Laboratoires nationaux, et interviendraient au même titre qu'elles dans la discussion des résultats.



GRANDE-BRETAGNE.

**MEMORANDUM DU COMITÉ DES UNITÉS ET DES
ÉTALONS ÉLECTRIQUES DU NATIONAL PHYSICAL
LABORATORY (1).**

Le Comité des unités et des étalons électriques du National Physical Laboratory a pris connaissance de la lettre adressée par M. Vito Volterra, Président du Comité international des Poids et Mesures, au D^r D. W. Dye, représentant du National Physical Laboratory au Comité consultatif d'Électricité institué par la Septième Conférence générale des Poids et Mesures. Cette lettre sollicite les suggestions des représentants des Laboratoires nationaux et des membres du Comité consultatif. Notre Comité, sur la suggestion du National Physical Laboratory, désire présenter ses vues particulières sur quelques questions qu'elle soulève.

COORDINATION ET COMPARAISON DES UNITÉS. — La Conférence générale de 1921 a chargé le Bureau international de la coordination des mesures relatives aux unités électriques effectuées par les Laboratoires nationaux. Un premier pas vers la coordination des résultats relatifs aux mesures d'étalons de résistance et de force électromotrice a été fait l'année dernière; nous recomman-

(1) Les membres de ce Comité sont :

Sir RICHARD GLAZEBROOK, K. C. B., F. R. S., Président;
Sir WILLIAM BRAGG, K. B. E., F. R. S.;
D^r D. W. DYE, F. R. S.;
D^r ALEXANDER RUSSELL, F. R. S.;
Sir ARTHUR SCHUSTER, F. R. S. †
D^r F. E. SMITH, C. B., C. B. E., F. R. S.;
Sir JOSEPH PETAVAL, K. B. E., F. R. S., Directeur du National Physical Laboratory.

donc que le Bureau fasse son possible pour présenter au Comité consultatif une analyse des informations qu'il a déjà obtenues sur ce sujet.

Des mémoires ont été soumis à la Conférence générale de 1927, par la Délégation britannique et par le Bureau of Standards des États-Unis, dans lesquels étaient exprimées leurs vues concernant la marche à suivre pour la mise en vigueur de l'article 7 de la Convention de 1921. Le premier acte proposé dans ce but était la création d'un Comité consultatif, qui est maintenant constitué. La Conférence générale de 1927 charge le Comité consultatif d'examiner ces mémoires; nous désirons attirer l'attention de ce Comité sur une ou deux questions qui s'y rapportent. Les deux mémoires signaient qu'il ne peut y avoir de prototype unique pour les unités électriques comme il y en a pour le Mètre et le Kilogramme conservés au Bureau international. Les valeurs des unités électriques internationales ou absolues dérivent d'une définition, et ne peuvent être réalisées et déterminées avec précision que par un laboratoire outillé spécialement dans ce but. Les valeurs ainsi obtenues par les différents Laboratoires nationaux doivent cependant être comparées pour s'assurer de leur bonne concordance, et pour permettre de choisir une unité commune représentant la meilleure valeur moyenne résultant des différentes déterminations. Cette fonction de coordination et de comparaison a été dévolue, par la Septième Conférence, au Comité international et au Bureau international, appelés à agir suivant les suggestions du Comité consultatif.

Les comparaisons seront effectuées au moyen d'étalons de référence ou d'étalons secondaires (témoins) qui seront échangés entre les différents Laboratoires nationaux, et les résultats de ces mesures seront communiqués au Bureau international. Le Bureau international sera aussi chargé d'entretenir des étalons de référence, dont les valeurs seront modifiées de temps à autre, de façon à conserver leur concordance avec les résultats des déterminations absolues effectuées par les Laboratoires nationaux, en tenant compte des intercomparaisons de ces résultats. Les étalons de référence des différents Laboratoires nationaux auront leurs valeurs déterminées de la même manière.

Le Comité que je préside estime que les unités électriques doivent être déterminées par la coopération des Laboratoires nationaux, et doivent représenter les résultats de leurs recherches communes. Dans ces conditions, il ne sera pas nécessaire, ni

même désirable, de créer un laboratoire international pour la détermination des unités électriques d'après leur définition. D'ailleurs, comme il a été indiqué en 1927 par la délégation britannique dans son memorandum, cette suggestion serait écartée en raison de considérations purement financières.

Un laboratoire sera cependant nécessaire à Sèvres pour la conservation des étalons de référence et pour les comparaisons; le Comité du National Physical Laboratory est heureux d'apprendre par la lettre de M. Volterra que des ressources ont déjà été trouvées pour l'équipement des laboratoires électrique et chimique, qui leur permettront de s'adapter à ces fonctions. Il est souhaitable que ceux-ci puissent être construits dans un prochain avenir.

ÉTALONS DE COMPARAISON. — Les étalons communément employés pour les comparaisons internationales sont des bobines de fil de résistance et des éléments Weston. Leur comparaison peut se faire aisément avec une précision de 1 ou 2 cent-millièmes au moyen d'un matériel simple. Il serait nécessaire de fixer une température de référence à laquelle les comparaisons devraient être faites.

Nous croyons devoir mentionner, également, le fait qu'il serait utile pour les Laboratoires nationaux d'échanger entre eux des étalons de capacité et d'inductance; cela donnerait des renseignements précieux, en plus de ceux fournis par les comparaisons des bobines et des éléments.

RECOMMANDATION POUR L'ADOPTION DES UNITÉS ABSOLUES. — M. Volterra fait aussi allusion à la question du remplacement des unités internationales, de l'ohm, du volt et de l'ampère, par les unités absolues définies en fonction du centimètre, du gramme et de la seconde. Le Comité du National Physical Laboratory désire insister fortement pour que le Comité consultatif envisage, sans retard, cette question. Il estime qu'il est de la plus haute importance que l'usage des unités absolues soit introduit à bref délai dans la pratique. Comme M. Volterra le constate, il est bien connu qu'il existe une différence d'environ 5 dix-millièmes entre l'ohm international et l'ohm absolu, et, d'une façon correspondante, entre les valeurs du volt international et du volt absolu.

D'un autre côté, la différence entre l'ampère international et

L'ampère absolu n'est que d'environ 2 à 3 cent-millièmes. La substitution de l'ampère international à l'ampère n'apporterait aucun changement aux valeurs admises, et se ferait sans difficulté. Le remplacement des autres unités entraînerait une modification d'environ 5 dix-millièmes dans leur valeur numérique. Le Comité est d'avis que ce changement peut être effectué dès à présent, et que les difficultés ne feront qu'augmenter dans les années à venir.

Les principaux arguments en faveur du changement peuvent être mentionnés brièvement. L'adoption des unités absolues fournira un système de mesures logique, homogène, fondé sur les unités fondamentales de longueur, de masse et de temps. L'emploi des unités internationales conduit à des divergences qui entraînent de sérieuses anomalies : le watt international dérivé des mesures électriques diffère du véritable watt. Les mesures d'inductance, faites couramment en centimètres, doivent être corrigées pour être exprimées en fonction du henry international. Les mesures et les calculs, relatifs aux circuits de résonance, comprenant des étalons d'inductance et de capacité, conduisent à des résultats incohérents, à moins que ces étalons aient leur valeur exprimée en unités C. G. S.

On pensait, en 1908, que les unités internationales pouvaient être réalisées, avec une précision suffisante, par tous les laboratoires de physique bien équipés, alors que les unités absolues exigeaient des appareils spéciaux et coûteux, et que, de plus, la précision ainsi obtenue dépassait celle qu'il était possible d'atteindre dans une détermination absolue. Cela n'a pas été confirmé par l'expérience, et, aujourd'hui, les principaux laboratoires de mesures trouveront probablement qu'il est plus aisé de conserver et de reproduire les unités absolues que les unités internationales; la précision atteinte dans la réalisation des unités n'en serait pas moins grande.

Dans le but de se faire une idée exacte de la précision réalisable dans la représentation pratique des unités, il est nécessaire de faire une étude critique des recherches effectuées sur les unités internationales et absolues dans les différents pays. Les documents indiquent que les unités absolues peuvent être réalisées et reproduites avec une précision de 2 ou 3 cent-millièmes, et que la précision dans la mesure d'unités internationales est du même ordre. On peut donc dire que l'usage des unités internationales n'offre aucun avantage au point de vue de

la précision ou de la commodité, qui puisse compenser les inconvénients qu'elles entraînent.

Aussitôt que l'adoption des unités absolues aura été admise, des démarches pourront être entreprises afin d'obtenir la sanction légale de ces unités dans les différents pays. Une date devra également être fixée pour que le changement ait lieu partout simultanément.

En terminant, le Comité du National Physical Laboratory désire exprimer au Comité consultatif d'Électricité ses compliments les plus cordiaux, ainsi que ses meilleurs vœux pour le succès de ses travaux.

Le Président,
R. T. GLAZEBROOK.



LA SITUATION DES UNITÉS ET ÉTALONS ÉLECTRIQUES

AU NATIONAL PHYSICAL LABORATORY,
ET LEUR RELATION AVEC CEUX D'AUTRES LABORATOIRES;

PAR M. LE D^r D. W. DYE.

Le rapport sur l'établissement et la conservation des unités électriques fondamentales, présenté par le Bureau of Standards, forme un excellent résumé de la situation générale, et devrait servir d'une façon très satisfaisante comme base de la discussion au cours de la session du Comité consultatif.

Les notes qui suivent donnent, avec plus de détails, l'aspect des questions soulevées, telles qu'elles apparaissent du point de vue britannique.

L'expérience accumulée au N. P. L. confirme l'opinion exprimée dans le Rapport, que l'on peut avoir plus de confiance dans l'invariabilité des étalons que dans la reproductibilité de l'unité. Donc, l'unité de résistance employée, tandis qu'elle est nominale l'unité internationale, a été jusqu'ici l'*unité moyenne de Washington*, conservée par un certain nombre de résistances matérielles. De même, la seconde unité a été virtuellement l'unité de force électromotrice donnée par un élément étalon, plutôt que par l'unité de courant, comme on l'entendait à l'origine.

Bobines de résistance. — Le Laboratoire possède un nombre considérable de bobines de résistance de valeur décimale, progressant de 0,001 à 10 000 ohms. Plusieurs de ces bobines montrent une grande constance, comparées entre elles, et celles-ci ont été choisies pour perpétuer l'unité connue comme *unité moyenne*

de *Washington* de 1910. De ces bobines, les plus importantes sont quatre résistances de 1 ohm. Les rapports de chacune d'elles à leur moyenne, et ceux de deux bobines de 0,1 ohm et de 10 ohms, n'ont pas varié au delà de quelques millièmes pendant vingt ans de comparaisons réciproques.

L'histoire des valeurs de seize de ces bobines est reproduite dans le Rapport annuel du N. P. L. pour 1919, page 48.

Au moment actuel, le maximum de confiance est donné à quatre bobines de 1 ohm; mais on accorde aussi un certain poids aux meilleures de quelques autres bobines. On n'a jamais été conduit à modifier la valeur admise pour les résistances, comme résultat de déterminations par rapport à l'ohm mercuriel faites en 1912 et 1925.

De nouvelles résistances ont été construites dans le but d'obtenir des étalons additionnels pour des comparaisons d'ordre général et international, mais elles peuvent à peine être considérées, dans l'intervalle de deux ans, comme donnant une connaissance certaine en ce qui concerne leur stabilité.

Comparaisons internationales de bobines étalons. — Un nombre considérable de bobines étalons ont été faites de temps à autre, mais non pas suivant un programme régulier.

Les résultats des comparaisons de 1912 à 1927 sont les suivants, exprimés comme rapports des unités :

$$1912. \text{ Unité de la P. T. R.} = 1 + 1 \cdot 10^{-6} \text{ unité du N. P. L.}$$

$$\text{» du B. S.} = 1 - 9 \cdot 10^{-6} \text{ »}$$

$$1913. \text{ Unité de la P. T. R.} = 1 + 17 \cdot 10^{-6} \text{ »}$$

$$\text{» du B. S.} = 1 - 23 \cdot 10^{-6} \text{ »}$$

$$1914. \text{ Unité de la P. T. R.} = 1 + 32 \cdot 10^{-6} \text{ »}$$

De 1915 à 1919, on n'a pas fait de comparaisons internationales. Le Dr F. E. Smith a dressé un tableau donnant les valeurs qui ont été assignées aux bobines étalons du N. P. L. entre 1904 et 1919. A partir de 1910, l'unité était l'*unité moyenne de Washington* de 1910, employée pendant tout ce temps, de manière à assurer la continuité.

1920-1923. Des comparaisons internationales diverses ont été

faites; elles ont donné :

Unité du B. S.	= 1 - 19.10 ⁻⁶	unité du N. P. L.
» Japonaise	= 1 - 28.10 ⁻⁶	»
» de la P. T. R.	= 1 - 10.10 ⁻⁶	»
» du L. C. E.	= 1 + 17.10 ⁻⁶	»

1925-1926. Quatre bobines, dont deux étaient égales à 1 ohm et deux à 0,1 ohm, ont été apportées à la main de la P. T. R.; elles ont donné :

Unité de la P. T. R.	= 1 + 25.10 ⁻⁶	unité du N. P. L.
» du B. S.	= 1 - 20.10 ⁻⁶	»

1927. Deux bobines envoyées de France et trois bobines reçues du Bureau of Standards ont fourni les résultats :

Unité du L. C. E.	= 1 + 28.10 ⁻⁶	unité du N. P. L.
» du B. S.	= 1 - 23.10 ⁻⁶	»

Il semble y avoir une discontinuité dans les valeurs adoptées pour les unités à certaines époques en différents pays. En Angleterre, cela ne s'est pas produit pour les valeurs données ici, mais les unités perpétuées par le moyen d'un certain nombre de bobines choisies ont été admises sans réserve.

Il n'a pas été envisagé comme désirable d'assigner de nouvelles valeurs aux bobines, lorsque l'unité mercurielle a été réalisée. Les différences trouvées ont été comprises dans les incertitudes estimées de la réalisation des unités internationales, et, par conséquent, n'ont pas été déterminées avec une précision permettant d'affirmer qu'une variation s'est produite dans l'unité représentée par les bobines.

Si d'autres pays ont adopté une procédure semblable, on ne voit pas bien clairement pourquoi, par exemple, pendant un intervalle seulement d'une année, s'est produite une modification dans le rapport de l'unité P. T. R. et de l'unité N. P. L. égale à + 16.10⁻⁶, tandis que, pendant la même période, un changement de - 14.10⁻⁶ aurait dû être observé dans le rapport

Unité du B. S./Unité du N. P. L.

Il n'est pas possible d'obtenir des renseignements complets concernant les unités adoptées par d'autres pays pendant la même période.

Les informations suivantes ont été extraites de correspondances qui ont eu lieu à l'époque des comparaisons.

L'unité B. S. 1910 a été employée en 1912. Des tubes à mercure ont été établis au B. S. en 1912; l'unité ainsi réalisée ne semble pas avoir été employée dans ces comparaisons. Cette unité de 1912 est probablement inférieure de $20 \cdot 10^{-6}$ à l'unité de 1910.

Des tubes à mercure ont été établis au Japon en 1921, et l'unité ainsi obtenue a été employée.

P. T. R. — D'anciens tubes à mercure ont été utilisés avant 1922, mais les déterminations ultérieures ont été faites en employant ces tubes et de nouveaux tubes, comme il est mentionné dans le Rapport du B. S.

Les mesures absolues de l'ohm ont été terminées en 1920; elles ont conduit aux résultats suivants :

$$1 \text{ ohm international P. T. R.} = 1,00051 \text{ ohm absolu P. T. R.}$$

Cette relation se réfère apparemment à l'ohm international en usage à cette époque.

En comparant les déterminations absolues de la P. T. R. et du N. P. L. sur l'ohm, M. Giebe emploie les résultats des comparaisons dans lesquelles

$$1 \text{ ohm internat. P. T. R.} = 1,00032 \text{ ohm internat. N. P. L.,}$$

déduisant de là que les deux déterminations absolues diffèrent de $40 \cdot 10^{-6}$.

Si, dans les valeurs de 1921 données par la P. T. R., on emploie des comparaisons du N. P. L. comme lien entre les déterminations absolues de l'ohm, la différence est réduite à $14 \cdot 10^{-6}$. Dans cette série de comparaisons, l'ohm international du Japon a été le plus récemment réalisé. La différence de $12 \cdot 10^{-6}$ entre lui et l'unité du N. P. L. concorde avec les différences de 1914 à $8 \cdot 10^{-6}$ près. La comparaison de la P. T. R. concorde avec celle qui a été trouvée en 1913 avec une précision de $10 \cdot 10^{-6}$, bien qu'elle diffère de la valeur donnée en 1914 par Giebe,

de 26.10^{-6} . Cette valeur de 1914 semble être en dehors des autres.

L'ensemble des intercomparaisons indique comme probable que l'unité N. P. L. ne s'est pas modifiée de plus de 10.10^{-6} depuis 1912.

Déterminations de l'ohm mercuriel. — Deux déterminations de l'ohm mercuriel ont été faites au N. P. L., l'une, en 1912, par F. E. Smith, et l'autre, en 1924-1925, par L. Hartshorn.

Dans les déterminations de 1912, huit tubes ont été employés. Le résultat obtenu a donné :

Unité mercurielle du N. P. L. (1912)

$$= 1 - 16.10^{-6} \text{ unité moyenne de Washington.}$$

La seconde détermination a été faite en 1924. Les mêmes tubes ont été employés, à l'exception d'un seul qui a été cassé; les observations sur l'un des autres ont été si irrégulières qu'on doit les considérer comme incertaines. Les tubes, mesurés à nouveau, ont révélé des faits intéressants : les facteurs de calibrage ont été approximativement identiques à ceux déterminés à l'origine, l'un seulement montrant un changement qui atteignait 20 millièmes. Le changement moyen était de 6 millièmes; tous étaient positifs, à l'exception d'un seul.

Les masses du mercure remplissant les tubes ont varié entre des limites beaucoup plus étendues. Dans six des tubes, la masse du mercure avait augmenté, en moyenne, de 40 millièmes; dans deux tubes seulement, elle avait diminué, en moyenne, de 26 millièmes. La longueur de tous les tubes a augmenté d'environ 20 millièmes. Ces mesures de longueur ont été faites par des méthodes différentes de celles qui avaient été employées à l'origine. Elles ont été contrôlées ultérieurement par une répétition soignée faite par la méthode originale; on a obtenu une concordance très satisfaisante.

Les changements de la longueur et du facteur de calibrage n'ont pas rendu compte entièrement du changement dans la masse du mercure remplissant les tubes.

Dans la comparaison des résistances, les deux tubes montrent une décroissance de la masse de mercure qui les remplit, éprouvant aussi un fort accroissement de résistance, comparé avec les valeurs de 1912. La conclusion montre que les tubes sont affectés

dans leur section, ce qui laisse à penser qu'ils n'étaient probablement pas propres.

Le résultat des déterminations directes est :

ohm internat. N. P. L. (1924) = $(1 - 41 \cdot 10^{-6})$ unité moy. B. S.

La conclusion générale que l'on déduit de l'ensemble des déterminations de l'ohm mercuriel, en y comprenant celles du Japon de 1921 et les mesures très bien conduites en 1926 et 1927 par la P. T. R., est que l'unité moyenne de Washington de 1910, si elle est conservée sans changement par l'ensemble des bobines employées en différents pays, possède la valeur $1 + 20 \cdot 10^{-6}$, en fonction d'une unité mercurielle idéale, et que cette unité idéale est comprise entre les unités du N. P. L. de 1912-1925; elle est voisine de l'unité P. T. R. 1927. La preuve fournie par les expériences acquises dans les réalisations de l'ohm mercuriel est qu'un très léger gain en précision peut être attendu, et que cette précision est de l'ordre de $20 \cdot 10^{-6}$. La comparaison des résistances, combinée avec la réalisation de l'ohm mercuriel, indique que le changement dans les bobines choisies n'atteint pas $10 \cdot 10^{-6}$ en dix ans.

L'ampère international et les éléments étalons. — Bien que l'intensité du courant, et non la force électromotrice, soit la seconde quantité définie par entente internationale, ainsi que l'enseignent l'expérience et l'histoire, l'unité a été perpétuée par le moyen d'éléments étalons auxquels des valeurs ont été assignées par des étalons reproductibles avec précision, et non en se reportant au voltamètre à argent.

Au N. P. L. ainsi qu'au B. S., il n'a pas été fait de mesures au voltamètre depuis 1912 jusqu'à l'année dernière. Des mesures récentes ont été exécutées de nouveau au B. S., ainsi qu'il est dit dans le rapport de ce Laboratoire, lequel renferme aussi un court tableau des déterminations importantes faites jusqu'en 1915 et 1916. Ce tableau concorde parfaitement avec le rapport annuel du N. P. L. (1920, p. 60), mais laisse de côté certaines déterminations faites en Angleterre. Le tableau complet est reproduit ci-après :

TABLEAU I.

Dates.	Pays.	Observateurs.	Forme du voltamètre.	Nombre de dépôts.	Force é. m. de l'élément normal Weston à 20° C.
1910.....	États-Unis d'Amérique	Comité technique international	Smith	8	1,018287
			Richards	14	1,018286
1910.....	Angleterre	Smith, Vinal	Smith	19	1,018304
			Richards	15	1,018218
1910.....	Allétagne	Steinwehr	Kohlrausch	40	1,018290
1910-12.....	États-Unis d'Amérique	Rosa, Vinal	Smith	55	1,018274
		McDaniel	Richards	156	1,018267
1912-13.....	Hollande	Haga et Boerema	Smith	32	1,018260
1914.....	U. R. S. S.	Foehringer	Smith	4	1,018295
1916.....	Japon	Obata	Smith	40	1,018269
1918.....	Japon	Obata	Richards	61	1,018265
1922.....	Allemagne	Steinwehr	Kohlrausch	40	1,01831
			Moyenne.....		1,018265
			Moyenne pondérée d'après le nombre de dépôts.....		1,018270

L'écart moyen de la moyenne est $\pm 19.10^{-6}$; en prenant en considération les poids des observations, on n'obtient qu'un écart moyen de $\pm 9.10^{-6}$.

Bien que l'on puisse affirmer qu'un degré élevé d'uniformité a été obtenu dans ces mesures, en certains cas des divergences notables se sont cependant manifestées, lesquelles sont remarquablement semblables à celles qui ont été trouvées récemment au B. S. Ainsi en 1910, les mesures faites en Angleterre par Smith et Vinal ont donné, avec les deux formes de voltamètre employé, les résultats :

Voltamètre Smith.....	1,018304
» Richards.....	1,018218

Les valeurs ci-après sont extraites du Tableau des comparaisons faites au B. S. en 1927-1928 :

Forme Smith (sans diaphragme).....	1,018307
Forme Richards (vase poreux).....	1,018218

Ces valeurs sont singulièrement égales à celles qui ont été obtenues en 1910; il convient toutefois de mettre en regard de ce résultat l'approximation plus étroite entre les résultats donnés par les deux formes de voltamètre dans lesquels un grand nombre de dépôts ont été faits. Les moyennes, dans les cas effectivement analogues, ont été trouvées très voisines de la moyenne générale.

Éléments étalons. — Les éléments étalons occupent une position très importante parmi les étalons électriques, puisqu'ils forment de toute nécessité une liaison entre les pays, et servent à exprimer la valeur de l'ampère international par l'intermédiaire des étalons de résistance.

En Grande-Bretagne, la situation est peu différente de ce qu'elle est dans d'autres pays, parce que des séries d'éléments sont exécutées chaque année, et les valeurs assignées aux éléments sont déduites de la moyenne de tous les éléments établis pendant trois ou quatre ans. Les éléments ainsi construits sont aussi des éléments acides.

Plusieurs groupes spéciaux d'éléments, d'acidité connue, ont été constitués afin d'établir la loi de variation de la force électromotrice en fonction de l'acidité. Des irrégularités dans la loi disparaissent pour des acidités supérieures à 0,02 N, mais apparaissent au-dessous de cette acidité. On a adopté la pratique d'extrapoler l'acidité jusqu'à 0 dans le but de relier la force électromotrice de l'élément acide avec celle qui était assignée à l'élément normal Weston. La loi est légèrement parabolique, mais le coefficient de la seconde puissance de l'acidité est négligeable; il est, en effet, inférieur à 0,4 N.

Les expériences faites au N. P. L., en trois différentes occasions, sur des groupes d'éléments, ont permis d'établir la loi

$$\Delta E = - 615 \cdot 10^{-6} N$$

pour l'acidité jusqu'à 0,4 N.

F. E. Smith indique la loi

$$\Delta E = - (600N + 50N^2)10^{-6},$$

qui, pour tous les usages, est identique à celle que l'on a trouvée plus tard. Elle concorde avec la formule établie par Obata, si l'on tient compte du fait que les résultats obtenus par ce dernier sont exprimés en fonction de l'acidité, après solution du sulfate de cadmium pour former l'électrolyse.

La force électromotrice des éléments N. P. L. est admise comme égale à $1,01830 - 61 \cdot 10^{-6}$ à 20° pour des éléments dont l'acidité est exprimée par 0,1 N. Des documents ont été obtenus concernant les coefficients de température de semblables éléments; cette question est maintenant soumise à des recherches précises, pour lesquelles on emploie un nombre considérable d'éléments d'acidité variable.

La question des températures possède une importance considérable, puisque des pays différents conservent leurs éléments étalons à des températures variables; les coefficients ne sont pas toujours connus, ce qui entraîne la nécessité d'employer une formule empirique avant que les comparaisons puissent être réduites à des conditions communes.

Le tableau ci-après donne des forces électromotrices observées dans des groupes d'environ vingt éléments, au début de chacune des quatre années écoulées.

Années de fabrication.	Différence de la moyenne.
1925.....	+ 21 ^{μV}
1926.....	— 5
1927.....	+ 3
1928.....	— 19

Chaque lot est composé de substances entièrement différentes, et de nouveaux tubes en H sont employés chaque fois.

L'ensemble des procédés adoptés dans la construction des éléments est donné dans l'appendice ci-après (p. 176).

Les résultats contenus dans le tableau indiquent que l'erreur probable dans le même lot d'éléments est d'environ 10 millièmes, mais qu'elle peut atteindre 20 millièmes. Il est peu probable que l'erreur de la moyenne soit jamais supérieure à 10 millièmes. Nous n'avons pas encore des données suffisantes pour déterminer s'il se produit une légère baisse de la force électromotrice dans le cours du temps.

Comparaisons internationales d'éléments étalons :

1921. Les mesures du B. S. et du N. P. L. sur quatre éléments acides du N. P. L. ont conduit à la différence :

$$\text{Étalon du N. P. L. — Étalon du B. S.} = -9.10^{-6}.$$

1922. Des sept éléments acides du N. P. L., parmi lesquels les quatre précédents, on a tiré :

$$\text{Étalon du N. P. L. — Étalon du B. S.} = -6.10^{-6}.$$

Des mesures comparatives de quatre éléments acides, faites six mois plus tard au Bureau of Standards en fonction des anciens éléments très constants, ont montré une diminution apparente de 1.10^{-6} volt.

1922-1923. Quatre éléments acides examinés à la P. T. R., à leur passage vers l'U. R. S. S., et avec quelques incertitudes concernant la température, ont donné la différence :

$$\text{Étalon du N. P. L. — Étalon de la P. T. R.} = +55.10^{-6}.$$

En 1926, la base de référence du B. S. était d'environ 50.10^{-6} plus faible que la base du N. P. L. Cette différence a été largement expliquée par l'hypothèse suivant laquelle la loi du coefficient de température pour l'élément normal Weston, employé à corriger l'importante différence de température entre les deux laboratoires, n'est pas parfaitement connue. Une correction, basée sur les mesures du coefficient de température actuellement admis, a amené la différence à la valeur :

Étalon du N. P. L. — Étalon du B. S. = -9.10^{-6} volt.

1927-1928. Un certain nombre d'éléments appartenant à l'U. R. S. S., qui ont été échangés entre les cinq Laboratoires nationaux, ont donné des résultats qui ont formé la base moyenne de la courbe, et sont commentés dans le rapport du B. S. Les résultats de ces mesures concordent avec ceux donnés ci-dessus, et confirment que les éléments du Japon, de l'Angleterre et des États-Unis sont très voisins l'un de l'autre, et que ceux de l'Allemagne en diffèrent considérablement. Les étalons de l'U. R. S. S. se rapprochent de ceux de l'Allemagne.

Une comparaison détaillée, concernant toutes les nations mentionnées ci-dessus, devrait être faite clairement parce que les différences entre les étalons de quelques grands pays sont plus fortes qu'il ne serait désirable.

L'emploi d'éléments acides est indiqué par l'histoire passée des comparaisons et montre qu'il est désirable de choisir des températures pas trop différentes dans les divers laboratoires.

Unités C. G. S. Intensité de courant. — Il conviendra de considérer le courant d'abord immédiatement après l'élément étalon puisqu'il a été dans l'usage d'exprimer la force électromotrice d'un élément étalon comme une mesure C. G. S. de courant, en employant une bobine de résistance pour auxiliaire de la mesure.

Les méthodes modernes employées sont toutes basées sur la force d'attraction d'un circuit entre deux bobines ou séries de bobines.

Un tableau est donné dans le Rapport annuel du N. P. L. (1920); il est reproduit ci-après, montrant les résultats des mesures depuis 1910.

Les résultats expriment la force électromotrice d'un élément normal Weston à 20°, en fonction de l'ampère C. G. S. et de l'ohm international.

Année.	Observateur.	Force électromotrice de l'élément normal Weston.
1908.	Ayrton, Mather and Smith.....	1,01818
1908.	Janet, Laporte et Jouaust.....	1,01836
1908.	Juillet.....	1,01812
1908.	Pellat.....	1,01831
1910.	Smith.....	1,01818
1910.	Haga et Boerema.....	1,01826
1911.	Rosa, Dorsey and Millar.....	1,01822
1913.	Shaw.....	1,01827
	Moyenne.....	1,01824

La concordance entre ces mesures est très remarquable, si l'on tient compte du fait que les divers observateurs ont employé des éléments différents et des résistances différentes.

Si ces résultats sont mis en connexion avec les nombres moyens donnés par l'ampère international, on voit que le dernier n'a pas d'erreur plus forte que 30 millièmes, et qu'il se trouve probablement beaucoup plus près que l'ohm mercuriel de l'unité déduite du système C. G. S.

Il est fait allusion dans le rapport du B. S. aux balances de courant du N. P. L. et du B. S., et des précisions sont données, concernant les procédés adoptés. La discussion des résultats obtenus avec ces deux balances et des comparaisons entre elles est donnée dans le rapport du B. S., et semble représenter très bien la question. Si l'on se reporte aux mesures récemment faites sur les balances du N. P. L. et du B. S., en employant les inter-comparaisons des résistances et des éléments étalons comme base commune, il apparaît que la différence entre les deux unités C. G. S. de courant, donnée par les balances, n'est pas trop considérable; cette différence est de 40 millièmes et se rapporte, dans le cas des deux balances, à des mesures faites après un long intervalle de temps et d'une façon qui, en réalité, n'a pas été complète.

Les dimensions des bobines de la balance du N. P. L. n'ont pas été redéterminées. La balance est maintenant entièrement

démontée, et l'on procède à sa reconstruction complète en utilisant des nouveaux cylindres aussi bien fixes que mobiles. Un pendule employant une masse connue, fixée d'abord en dessus, puis en dessous du couteau à des distances déterminées, a été combiné de telle sorte qu'une méthode d'oscillation pût être appliquée à la balance pour les déterminations du courant moyen.

Je suis d'accord avec l'affirmation du B. S. que dans un avenir rapproché les comparaisons des mesures C. G. S. de courant devraient rendre possible la réduction de la discordance à 1 ou 2 cent-millièmes. Cependant, on ne peut pas dire maintenant que le rapport de l'ampère international à l'ampère C. G. S. est connu avec une approximation de 2 cent-millièmes.

Détermination des résistances dans le Système C. G. S. — L'histoire des déterminations absolues de la résistance a été très clairement exposée par F. E. Smith dans le *Dictionary of Applied Physics*, Vol. II, Article « Systems of Electrical Measurement ».

De toutes les mesures faites, celles seulement qui l'ont été dans les récentes années (depuis 1912) doivent être envisagées comme ayant une importance internationale, non pour des raisons d'incertitude dans les mesures, mais en considération des défauts de précision dans les liaisons entre différents pays et entre des mesures diverses.

Les déterminations de Smith faites au N. P. L. par la méthode de Lorentz, et celles de Grüneisen et Giebe, employant la méthode des courants alternatifs avec des condensateurs comme auxiliaires, sont bien connues, et dispensent d'entrer ici dans le détail.

Ces deux mesures sont reliées entre elles par des comparaisons de résistance faites sur des bobines apportées par Giebe en 1914, et indiquent des différences de 4 cent-millièmes entre les deux unités, ainsi qu'il est spécifié dans le rapport du B. S.

La méthode de Curtis et Moon (non publiée) est semblable en principe à celle qui a été employée en Allemagne; on ne peut pas en dire plus que ce qui se trouve dans le rapport du B. S.

Les méthodes employant les courants alternatifs ont plus de valeur et prendront sans aucun doute leur place parmi les procédés les plus précis qu'on puisse réaliser dans les prochaines années.

Les déterminations faites en Angleterre par la méthode des courants alternatifs — méthode Campbell des deux phases et *méthode du double mutuel* — fournissent des résultats pleins de

promesses. Ces dernières méthodes offrent un avantage que ne possède aucune autre employant les courants alternatifs; c'est que la détermination est faite au moyen d'une combinaison de ponts de grande simplicité. Les autres exigent l'intermédiaire d'un condensateur et emploient deux ponts afin d'éliminer après coup la capacité du condensateur. Des mesures par ces méthodes sont maintenant en cours d'exécution au N. P. L., en même temps qu'une nouvelle détermination utilisant la machine de Lorenz.

La discussion de ces méthodes conduit naturellement à l'aspect international de la capacité et de l'inductance. Celles-ci n'ont pas reçu, sur le terrain international, l'attention qu'elles méritent en raison de leur rapport direct avec la détermination des unités C. G. S.

Inductance et Capacité. — Des comparaisons d'inductance ont été faites en 1914 entre la P. T. R. et le N. P. L. au moyen de deux bobines qui nous ont été apportées par le Dr Giebe. Elles étaient respectivement de 10 et de 50 millihenry d'inductance, sous la forme de bobines fortement tordues et enroulées sur des noyaux de marbre.

Les mesures ont été exécutées au N. P. L. en fonction d'une inductance mutuelle calculée en employant un pont à inductance mutuelle. Les mesures de la P. T. R. ont été faites en fonction d'un étalon calculé de self-inductance. Après avoir fait toutes les corrections, y compris celles pour la température et la fréquence, les valeurs en unités N. P. L. ont été respectivement de 14 et 8 cent-millièmes plus faibles que les valeurs allemandes. Les résultats semblent avoir été donnés en fonction d'une unité internationale déduite du calcul, bien que la raison n'en apparaisse pas très clairement.

Capacité. — Un début de mesures internationales de capacité a été fait au N. P. L. et au B. S.; les mesures ont eu lieu sur un condensateur à mica subdivisé, et ont été accomplies sur un certain domaine de fréquences, aussi bien pour la capacité que pour le facteur de puissance. Les mesures faites au N. P. L. sont pratiquement complètes, mais n'ont pas encore été communiquées au B. S.

Un grand nombre de mesures de la plus haute précision ont été exécutées, et indiquent que l'unité du N. P. L. dans laquelle

la capacité est mesurée est plus forte de 5 dix-millièmes que celle du B. S. La différence semble être très grande en considération du fait que la précision du N. P. L. est estimée à ± 3 cent-millièmes.

Le condensateur peut avoir souffert dans le transport ou s'être modifié d'autre façon. Des informations plus complètes pourront être obtenues lorsqu'il sera retourné en Amérique.

Les mesures du facteur de puissance concordent entre elles à $\pm 0,1 \cdot 10^{-3}$ radian.

Spécifications pour les étalons de référence internationaux.

Les questions soulevées dans ce chapitre sont de grande importance, mais malheureusement, certaines d'entre elles aboutissent à des discussions qui rendent l'unanimité difficile.

Il y a, cependant, des raisons évidentes pour montrer que les éléments étalons peuvent être maintenant construits de telle sorte que la reproductibilité soit assurée avec un très haut degré de précision. La stabilité est aussi très bonne, rendant possible l'adoption d'un étalon semblable, ou au moins la préparation de sa spécification.

Les opinions concernant les étalons de résistance, telles qu'elles sont exprimées dans le Rapport du B. S., sont pleinement approuvées par nous. On peut mentionner ici que le travail sur la manganine ou d'autres alliages a été résumé au N. P. L., en se rapportant spécialement à la stabilité et au coefficient de température. Cette œuvre est nécessaire, et prendra probablement plus d'importance dans l'avenir immédiat, lorsqu'une plus grande précision dans les intercomparaisons sera recherchée, afin de localiser les différences qui seront trouvées.

Nous notons aussi que la température de 20° est considérée comme probable au B. S., si l'on juge à propos de l'adopter. Au N. P. L., les bobines et les éléments étalons sont généralement vérifiés à deux ou trois températures dans des bains d'huile commandés par un thermorégulateur. Dans le cas des éléments étalons, ce procédé est particulièrement recommandable, afin de reconnaître s'il existe de l'hystérèse ou de l'instabilité.

Toutes les conclusions et recommandations données à la fin du rapport du B. S. nous semblent justifiées, et peuvent servir de base pour les discussions au sein du Comité.

Appendice I.

DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS ÉTALONS ACIDES CONSTRUITS ANNUELLEMENT AU NATIONAL PHYSICAL LABORATORY

1. *Préparation du sulfate de cadmium.* — Les cristaux de sulfate de cadmium sont préparés comme suit. On se procure le sulfate comme « sulfate de cadmium pur et recristallisé »; il est dissous dans l'eau distillée, filtré et chauffé au-dessus d'un bain d'eau jusqu'à ce qu'il soit à peu près sec; le sel qui a cristallisé est lavé plusieurs fois dans l'eau distillée, et abandonné sur un filtre pendant environ 24 heures; le sel est alors placé dans un creuset de platine, et chauffé jusqu'au rouge sombre (650° C.) pendant environ 6 heures.

Après séchage, le sel déshydraté doit être parfaitement blanc, montrant ainsi qu'il ne contient pas d'oxyde. Il est réduit en poudre et redissous dans l'eau distillée jusqu'à ce qu'une solution saturée soit obtenue. La solution est filtrée plusieurs fois jusqu'à ce que le cristal soit limpide. Il est alors placé dans un cristalliseur, et chauffé à environ 35° jusqu'à ce que la solution soit à peu près évaporée, laissant de petits cristaux bien définis. Pour cela, quatre jours environ sont nécessaires. Les cristaux sont alors lavés avec de l'eau distillée, et, après écoulement de l'eau, sont prêts pour l'emploi.

2. *Purification du mercure.* — Le mercure est d'abord traité par l'électrolyse et ensuite distillé.

Il est placé dans un cristalliseur au centre duquel on dispose un petit creuset d'évaporation contenant un peu de mercure. Sur le tout est versé un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique dilué, en quantité suffisante pour couvrir d'environ 2^{cm} le petit creuset du milieu. L'acide dilué comprend 5 parties en poids de chacun des acides sulfurique et nitrique purs et 90 parties d'eau.

Des fils de platine soudés dans des tubes de verre, avec un excédant, servent de conducteurs pour les deux électrodes de mercure. Un courant d'environ 0,5 ampère est dirigé à travers l'électrolyte, du mercure se trouvant dans la grande cuvette à celui placé dans la petite cuvette.

Ce courant, ayant traversé l'élément pendant quelques heures, forme une croûte épaisse sur la surface du mercure. Celui-ci est alors enlevé, lavé et séché, puis distillé dans le vide.

3. *Préparation de l'amalgame de cadmium.* — L'électrode négative de l'élément est constituée par de l'amalgame de cadmium, et contient 10 parties en poids de cadmium pour 100 parties d'amalgame. Cette proportion est différente de celle adoptée par la Conférence de Londres, qui était de 12,5 parties de cadmium.

L'amalgame est préparé en déposant le cadmium dans le mercure par électrolyse.

Une petite cuvette contenant une quantité pesée de mercure est placée à l'intérieur d'un grand cristalliseur, et une solution suffisamment diluée de sulfate de cadmium est ajoutée de façon à recouvrir la petite cuvette d'environ 2^{cm}.

Le fil de platine soudé dans un tube de verre est légèrement saillant et assure le contact avec le mercure. L'anode consiste en un bâtonnet de cadmium du commerce enfermé dans une feuille de papier à filtrer.

Un courant d'un demi-ampère passe pendant un temps suffisamment long pour déposer du cadmium en excès. Le mélange formant la cathode est enlevé, fondu sur de l'acide sulfurique dilué (1 d'acide pour 20 d'eau), lavé, séché et pesé. On ajoute du mercure en quantité suffisante pour amener le contenu de cadmium à sa proportion correcte. Le mélange est de nouveau chauffé et agité pour le rendre homogène.

4. *Le dépolariseur.* — Ce dernier, mis en contact avec l'électrode positive, est une pâte faite en mélangeant du sulfate mercurieux avec des cristaux pulvérisés de sulfate de cadmium; une solution saturée de sulfate de cadmium est employée à cet effet.

La méthode usitée pour préparer le sulfate mercurieux est celle de la précipitation, qui consiste en ce qui suit. On forme d'abord du protonitrate de mercure en ajoutant, à 200^g de mercure, à peu près 30^{cm}³ d'acide nitrique concentré. Lorsque l'action est terminée ou à peu près, le sel résultant, ainsi que la solution, est ajouté à environ 400^{cm}³ d'acide nitrique dilué chaud (1 pour 40 d'eau). Cette solution acide de nitrate mercurieux est filtrée, puis versée en courant très mince dans 2^l d'acide sulfurique dilué (1 pour 3 d'eau). Le liquide est fortement brassé

pendant que se fait le mélange. Une petite quantité de mercure est versée dans l'acide sulfurique dilué avant que le nitrate mercurieux soit ajouté. Si la solution acide est préparée immédiatement avant la précipitation, elle atteindra une température convenable pour cette dernière, qui doit aboutir à des cristaux bien définis de sulfate mercurieux. Le sel ainsi formé est lavé deux ou trois fois par décantation avec de l'acide sulfurique dilué (0,1 N) et filtré. Après plusieurs lavages avec le même acide sulfurique, le sulfate mercurieux est mis dans une bouteille propre et bouchée à l'émeri, en même temps qu'un peu de solution de sulfate de cadmium acidulé; des cristaux pulvérisés de sulfate de cadmium sont ajoutés au mélange, ainsi que leur propre poids de mercure. Le tout est agité pour assurer la distribution uniforme de l'acide.

5. *Montage de l'élément.* — Les éléments sont de la forme en H, et comportent des étranglements bien définis, à une hauteur d'environ 15^{mm} à partir de l'extrémité inférieure de chacun d'eux.

Les conducteurs passant à travers le verre sont faits en platine, et, afin d'éviter qu'ils puissent arriver en contact avec l'électrolyte, ils sont courts et amalgamés. L'amalgame est obtenu en déposant du mercure par l'emploi d'une anode de platine et d'une solution acide de nitrate de mercure.

L'élément vide est lavé deux fois avec de l'acide nitrique dilué et plusieurs fois avec de l'eau distillée. Il est alors séché dans un four.

Pour remplir l'élément, l'amalgame de cadmium est fondu, et une quantité suffisante en est introduite pour couvrir le fil amalgamé dans l'un des tubes. Dans l'autre tube, on met assez de mercure pour couvrir les conducteurs.

La pâte dépolarisante est mise sur le mercure, et les cristaux de sulfate de mercure finement divisés sont placés de chaque côté. Ils sont légèrement emballés, et disposés de telle sorte que les surfaces supérieures soient à la hauteur du resserrement du tube.

Les opérations sont faites avec précaution en employant de petites pipettes munies d'un grand orifice. Il faut prendre soin d'éviter le contact avec les parties supérieures des tubes, où seront faits plus tard les scelllements. Si, par suite d'un accident, une matière quelconque arrive en contact avec les surfaces, il faut l'enlever en se servant de papier à filtre humide, et ensuite de papier sec.

La solution acide de sulfate de cadmium est introduite, la dernière de toutes, dans les tubes; elle doit être suffisante pour les remplir complètement; le tube en croix est mis en place. Les tubes sont alors scellés, et l'élément est terminé.

L'électrolyte acidulé est réalisé en dissolvant les cristaux secs de sulfate de cadmium dans une solution de 0,1 N d'acide sulfurique dans de l'eau distillée, jusqu'à ce que la saturation soit obtenue. Les cristaux sont réduits en poudre fine.

En faisant la pâte dépolarisante, la totalité de la solution acide de sulfate de cadmium, en même temps qu'une petite quantité de cristaux de sulfate de cadmium en poudre (environ 1/3 du volume du sulfate mercurieux); est ajoutée aux cristaux de sulfate mercurieux, et le tout est agité afin d'assurer une distribution uniforme de l'acide. Après avoir reposé, le liquide est décanté, laissant les cristaux mixtes sous forme de pâte, qui est prête à être placée dans l'élément.

Appendice II.

NOTES SUR LES ÉLÉMENTS ÉTALONS ACIDES.

Les instructions suivantes concernant les propriétés des éléments étalons acides sont données par F. E. Smith dans le Rapport annuel du N. P. L., 1920, p. 60.

« Des comparaisons entre un grand nombre d'éléments expérimentaux ont été faites, et il est maintenant possible d'indiquer les principaux résultats :

» 1. L'hydrolyse du sulfate mercurieux ne se produit pas dans des solutions d'acide sulfurique d'une concentration plus forte que 0,0025 normal; cela confirme le travail de Gouy, et en partie celui de Hulett.

» 2. L'hydrolyse du sulfate mercurieux en contact avec la solution de sulfate de cadmium se produit dans les solutions contenant jusqu'à 140^e de SO_4Cd par litre, et a lieu probablement lorsque la solution est saturée de ce sel. L'action, cependant, paraît très retardée.

» 3. La solubilité du sulfate mercurieux dans les solutions de

sulfate de cadmium diminue d'abord lorsque la concentration de ce dernier croît, mais elle augmente ensuite jusqu'à ce qu'avec la solution saturée, la masse du mercure, dans un litre de solution, soit plus du double de celle d'une solution dans l'eau.

» 4. L'élément normal Weston, réalisé suivant les données provisoirement arrêtées par la Conférence de Londres sur les Unités et Étalons (1908), peut conserver une force électromotrice constante pendant un grand nombre d'années; mais le système n'est pas stable, et de semblables éléments peuvent devenir irréguliers dans leur force électromotrice.

» 5. Bien qu'une solution d'acide sulfurique de 0,0025 normal ne provoque pas l'hydrolyse du sulfate mercurieux, la présence de cette proportion d'acide dans un élément normal Weston peut être pauvre, puisqu'elle n'est pas suffisante pour empêcher les irrégularités dans la force électromotrice, dues à l'action qui se produit entre le sulfate de cadmium et le sulfate mercurieux. La présence d'acide sulfurique à 0,1 normal, et probablement une concentration aussi faible que 0,05 normal, est tout à l'avantage d'un élément, et le rend relativement stable. Si une solution saturée de sulfate de cadmium est faite en dissolvant SO_4Cd $\frac{8}{3}\text{H}_2\text{O}$ dans l'acide sulfurique normal, la force électromotrice est réduite seulement de 0,0067 volt. Pour la distribution uniforme de l'acide sulfurique, à des concentrations comprises entre 0,05 et 4,0 normal, les résultats suivants ont été trouvés :

$$y = -(0,00062x + 0,00005x^2) \text{ volt,}$$

où y est le changement de force électromotrice produit en dissolvant la solution saturée de sulfate de cadmium dans de l'acide sulfurique de concentration x normal.

» Si l'acide se trouve seulement du côté amalgamé de l'élément, la variation de force électromotrice y est donnée par l'équation :

$$y = (0,01090x - 0,00125x^2) \text{ volt,}$$

et, si l'acide est présent dans le tube positif seulement, la variation de force électromotrice est donnée par

$$y = (0,01150x + 0,00120x^2) \text{ volt.}$$

» La nécessité d'une distribution uniforme d'acide est évidente. Des solutions de sulfate de cadmium faites avec de l'acide sulfu-

rique 0, 1 normal sont maintenant employées par un constructeur d'éléments étalons, et tous les effets d'hystérèse ont, semble-t-il, disparu.

» 6. La variation de force électromotrice avec un changement de concentration de la solution de sulfate de cadmium a été déterminée. La relation n'est pas linéaire, car il y a un point d'inflexion quand la solution contient environ 70^e de sulfate de cadmium par litre.

» 7. En brassant la solution saturée de sulfate de cadmium avec du sulfate mercurieux, avant de l'introduire dans l'élément, une force électromotrice plus grande de 0,003 volt que la normale peut être obtenue. De pareilles solutions contiennent un excès de sulfate mercurieux. Ces résultats confirment pleinement ceux obtenus par Hulett.

» 8. L'addition d'une petite quantité d'acide sulfurique libre du côté de l'électrode positive peut accroître la force électromotrice de l'élément d'une quantité atteignant 0,004 volt.

» 9. Un dépolariseur consistant en un mélange de sulfate mercurieux hydrolysé et non hydrolysé n'a pas au début une influence mesurable quelconque sur la force électromotrice; mais, dans le cours du temps, la force électromotrice d'un élément semblable est sujette à descendre et à devenir irrégulière. Plus grande est la proportion de sel hydrolysé; plus grande aussi est la vitesse de chute.

» 10. La force électromotrice initiale d'un élément est pratiquement indépendante de la quantité de sulfate mercurieux présent, à la condition que le sel couvre la surface du mercure. »

ITALIE.

RAPPORT PRÉSENTÉ AU COMITÉ CONSULTATIF
D'ÉLECTRICITÉ AU NOM DU COMITÉ ITALIEN (1) ;

Par M. L. LOMBARDI.

L'opinion adoptée à l'unanimité par le Comité italien est que le système des unités électriques est susceptible d'être, dans un avenir prochain, rendu identique au système absolu, auquel certaines grandeurs fondamentales peuvent dès maintenant être rapportées avec l'approximation atteinte dans la reproduction des unités internationales. Cependant, les mesures faites jusqu'à présent dans ce domaine ne sont pas encore assez nombreuses ni assez concordantes, et semblent n'avoir pas toutes réalisé un degré de précision assez élevé, pour qu'on puisse désormais considérer l'ensemble de leurs résultats comme définitif.

C'est pourquoi le Comité italien, en considération des grandes difficultés inhérentes à un changement de ces unités, et sur lesquelles M. von Steinwehr a justement appelé l'attention du Comité consultatif, exprime l'opinion que le système absolu ne doit être officiellement adopté que lorsque les grandeurs des unités fondamentales seront fixées définitivement, sans aucune probabilité qu'il faille les modifier encore dans une mesure appréciable.

Malgré cela, le Comité italien est d'opinion que le Bureau international des Poids et Mesures pourra, dès l'origine de ses travaux en électricité, donner son précieux appui aux recherches de haute précision, qui seront encore nécessaires pour la fixation des unités susdites. Bien qu'il ne puisse pas les exécuter avec ses propres moyens, il pourra favoriser l'adoption du nouveau système par les nations adhérentes, aussitôt que l'accord

(1) Les membres de ce Comité sont : MM. BARBAGELATA, BORDONI, DI PIRRO, FERRARIS, TACCANI et G. VALLAURI.

sera réalisé. Même, lorsque le système absolu sera adopté, les nombreux étalons des unités internationales existant à l'heure actuelle pourront encore être utilisés moyennant de petites corrections; le Bureau international, suivant la proposition des Comités anglais et américain, sera appelé à jouer un rôle très important, en organisant, entre les différents Laboratoires nationaux, l'échange systématique des étalons, et en fournissant les ressources pour les comparaisons locales avec les témoins qui seront en sa possession, sans se préoccuper de créer sur place de véritables étalons internationaux, ayant le caractère de prototypes invariables comme le Mètre et le Kilogramme.

Le Comité italien est d'accord avec les Comités anglais et américain pour affirmer l'utilité d'échanger de la même manière les étalons de capacité et d'inductance, dont la construction ne peut pas encore être rapportée aux unités absolues, avec la même précision que les étalons de résistance et de force électromotrice.

Le Comité italien regrette enfin de ne pas disposer pour le moment d'un laboratoire national, équipé de façon à pouvoir contribuer utilement aux recherches qui se rattachent à la détermination des unités absolues; mais il espère le voir constitué, à bref délai, sous les auspices du Gouvernement; il exprime aussi son admiration pour le travail important accompli dans les Laboratoires d'Allemagne, d'Angleterre et des États-Unis, résumé dans le beau Rapport présenté par le Bureau of Standards, et daté du 20 septembre de cette année; il donne tout son appui aux conclusions et recommandations de M. George K. Burgess, qui y sont contenues.

JAPON.

NOTES SUR LA RÉVISION DES UNITÉS ÉLECTRIQUES,
PRÉSENTÉES AU NOM DU LABORATOIRE ÉLECTROTECHNIQUE DU JAPON ;

Par M. K. TAKATSU.

1. Comme conséquence des perfectionnements qui ont été réalisés dans l'exécution des mesures absolues, les unités électriques devraient être, dans l'avenir, les unités absolues.

2. Étant donné que les unités absolues d'électricité sont définies en fonction des unités fondamentales de longueur, de masse, de temps et de perméabilité de l'espace, et étant donnée l'impossibilité de réaliser des étalons matériels représentant en permanence les valeurs exactes des unités, il semble parfaitement inutile de construire des étalons internationaux dans un bureau central, comme le sont le Mètre et le Kilogramme prototypes. Les unités absolues devraient être conservées, pour l'usage international, en comparant les résultats de nombreuses déterminations indépendantes, qui doivent être faites, non seulement au Bureau international des Poids et Mesures, mais aussi dans les Laboratoires nationaux.

3. En vue d'organiser le travail tel qu'il est mentionné dans l'article 2 ci-dessus, le Bureau international des Poids et Mesures devrait fonctionner comme une station centrale pour établir et conserver des relations avec les Laboratoires nationaux, en ce qui concerne les unités électriques.

4. Afin d'éviter la confusion qui résulterait d'une fixation passagère des valeurs des unités internationales, le système actuel d'unités électriques devrait être maintenu en vigueur sans aucune retouche des valeurs, jusqu'à ce que les différences entre les unités internationales et les unités absolues aient été déterminées avec une précision telle que les différents Laboratoires nationaux l'admettent à l'unanimité.

UNION DES RÉPUBLIQUES SOVIÉTIQUES SOCIALISTES.

PROPOSITIONS

DE LA

CHAMBRE CENTRALE DES POIDS ET MESURES DE L'U. R. S. S.,

CONCERNANT LES UNITÉS ET LES ÉTALONS ÉLECTRIQUES
ET PHOTOMÉTRIQUES, APPROUVÉES PAR UNE CONFÉRENCE
CONVOQUÉE A LA CHAMBRE CENTRALE DES POIDS ET
MESURES, ET COMPOSÉE DE REPRÉSENTANTS DE PLUSIEURS
ORGANISATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES AINSI QUE
DE QUELQUES-UNS DES MEMBRES DU PERSONNEL DIRIGEANT
DE LA CHAMBRE CENTRALE DES POIDS ET MESURES, RÉUNIE
SOUS LA PRÉSIDENTE DE M. D. KONOVALOV.

1. La conservation des étalons électriques internationaux, servant de base pour la comparaison des étalons nationaux, doit être confiée au Bureau international des Poids et Mesures.

2. L'établissement de ces étalons internationaux doit être effectué par un travail coopératif du Bureau international des Poids et Mesures avec les Laboratoires métrologiques nationaux, dans lesquels ont été faites des recherches sur les unités et les étalons électriques. Les valeurs des unités électriques obtenues par ce travail seront attribuées aux étalons qui doivent être déposés au Bureau international des Poids et Mesures comme étalons internationaux. Ceux-là garderont leur valeur incontestablement jusqu'au moment où les progrès de l'électrométrie exigeront une révision de ces valeurs par la nouvelle coopération.

3. Le Bureau international des Poids et Mesures aura le soin, en premier lieu, de déterminer la nouvelle valeur en volts internationaux de la force électromotrice des éléments normaux Weston, et d'exécuter la comparaison réciproque des étalons de l'ohm international construits dans les divers Laboratoires natio-

naux, d'après la spécification de la Conférence de Londres de 1908.

4. Attendu que le progrès de l'électrométrie, dans le domaine des mesures absolues, a rendu possible la réalisation des unités absolues avec une précision non inférieure à celle des unités internationales, et que le système absolu M. T. S., légal en France et dans l'U. R. S. S., commence à entrer dans l'usage pour les mesures mécaniques, il est nécessaire que la législation se base sur le système absolu des unités électromagnétiques au lieu du système des unités électriques internationales.

5. Pendant la période transitoire, où les mesures nécessaires seront prises pour l'introduction dans l'usage des unités absolues, les unités électriques internationales seront conservées telles qu'elles ont été définies par la Conférence de Londres de 1908, sans aucun nouveau changement.

6. La Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'U. R. S. S. partage l'avis du Bureau of Standards exposé dans son Memorandum présenté à la Septième Conférence générale des Poids et Mesures et remis au Comité consultatif d'Électricité, que les unités de lumière devraient relever de la compétence du Comité international des Poids et Mesures.

7. La Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'U. R. S. S. est d'avis que le système des unités « internationales » de lumière (lumen, lux, bougie) adopté par la session de la Commission internationale d'Éclairage de 1921 et mis en usage dans la plupart des pays, doit servir de base à la législation des États signataires de la Convention du Mètre.

8. Il est nécessaire que le Bureau international des Poids et Mesures organise prochainement la comparaison internationale des étalons nationaux de lumière, et fasse des préparatifs pour l'établissement de l'étalon international d'une des unités de lumière prise comme fondamentale, laquelle devra être conservée au Bureau international des Poids et Mesures d'après une spécification déterminée. Au même Bureau sera confiée la comparaison des étalons nationaux de lumière avec cet étalon.

UN

NOUVEAU MODÈLE D'ÉLÉMENTS NORMAUX WESTON

Par M. F. MALIKOV,

Sous-Directeur de la Chambre Centrale des Poids et Mesures
de Leningrad.

J'avais proposé, en 1924, un nouveau modèle pour les éléments normaux Weston, plus portatif que le modèle classique, de la forme en H, qualité très importante pour le vaste domaine de l'U. R. S. S. L'enveloppe de verre du nouveau modèle a l'avantage d'avoir moins de soudures que l'ancienne, où il se produisait quelquefois des fissures invisibles, par lesquelles l'huile passe à l'intérieur des éléments, ou bien provoque leur desséchage. Le nouveau modèle est organisé de manière que la branche cathodique se trouve à l'intérieur de la partie correspondant à l'anode, de telle sorte que son extrémité inférieure dépasse seule le bord de l'élément.

M. A. C. Kolossov a construit, également en 1924, avec une série d'éléments de la forme en H, plusieurs éléments du nouveau modèle, et, après l'avoir expérimenté, perfectionna celui-ci pour aboutir finalement à la forme représentée par les figures 5 et 6.

La figure 5 reproduit la disposition de l'élément normal du nouveau modèle. La branche cathodique B a un diamètre d'environ 11^{mm}; elle entre dans la branche anodique A, dont le diamètre est de 24^{mm}. La tubulure cylindrique C, de 13^{mm} de diamètre, sert à remplir l'élément. Pour faciliter le remplissage des deux branches, cette tubulure est disposée d'une façon dissymétrique par rapport à leurs axes. D représente le mercure, séparé des autres parties de la branche intérieure par un étranglement, qui sera désigné dans la suite sous le nom de « gorge », et qui empêche le mercure de passer dans la partie supérieure, au

cas où l'élément serait renversé. La pâte est en E; H figure les cristaux pulvérisés de sulfate de cadmium, dont on remplit la branche cathodique jusqu'à la seconde gorge. La solution saturée de sulfate de cadmium remplit l'espace libre de la branche anodique jusqu'à la base du tube C, qui a 25 à 30^{mm} de longueur. Les fils de platine, assurant les contacts, sont soudés dans l'enve-

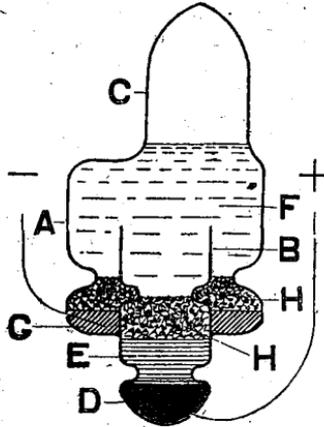


Fig. 5. — Élément Weston d'un nouveau modèle.

loppe (+ et - sur la figure 5). Les dimensions de l'élément sont les suivantes : son plus grand diamètre est d'environ 2,4^{mm}; sa hauteur, en comptant jusqu'à la base de la tubulure C, d'environ 33^{mm}, et avec la tubulure, de 60^{mm}. L'enveloppe de verre n'a qu'une soudure à l'entrée de la branche cathodique, outre la soudure finale du tube, tandis que la forme en H a deux soudures dans le tube transversal et autant sur les deux branches. De plus, les conditions pour l'uniformité de la température sont très avantageuses dans la forme nouvelle, les parties inférieures de ses deux branches étant disposées très près l'une de l'autre. Dans les éléments de la forme en H, ces branches sont situées au contraire à une certaine distance, et une différence de température entre elles est possible pendant les variations lentes du milieu ambiant, huile ou air.

La figure 6 est la photographie des enveloppes de verre. A gauche est un des premiers modèles; toute la partie inférieure

de la branche cathodique, sans gorge, est portée en dehors. A droite, se trouve le modèle définitif dont le schéma est représenté par la figure 5. Ce modèle a une gorge pour le mercure et la branche intérieure est fortement rentrée dans la branche extérieure, ce qui rend l'élément plus compact.

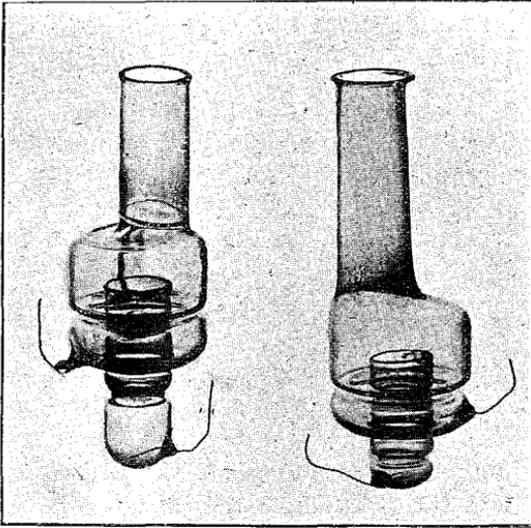


Fig. 6. — Élément Weston (modèle provisoire et modèle définitif de la Chambre Centrale des Poids et Mesures).

Au point de vue de leurs propriétés électriques, les éléments normaux du nouveau modèle sont en somme identiques aux éléments de la forme en H. Le tableau ci-joint contient quelques indications caractérisant ces éléments, extraites d'une série d'observations faites pendant une période de quelques années par M^{me} Tchouraeva. Dans le même tableau, on trouve des données sur les éléments normaux de la forme en H, préparés simultanément avec des matériaux identiques. Ce tableau montre que les différences dans la force électromotrice des deux formes restent dans les limites de la précision habituelle. La résistance intérieure des éléments des deux modèles est aussi la même.

Un étui spécial et une attache ont été élaborés pour la nouvelle forme des éléments; les photographies des figures 7 et 8 en

DATE de fabrication des éléments.	Formes.	RÉSISTANCE moyenne en ohms.	FORCE ÉLECTROMOTRICE A 20° EN VOLTS INTERNATIONAUX					
			Après la fabrication					
			Premiers jours.	1 mois.	6 mois.	1 an.	2 ans.	4 ans.
12 juin 1924 (1).	Nouv. en H.	650	1,01774	1,018365	1,01840 1,01840	1,018395 1,01841	1,01839 1,01840	1,018425 1,01841
12 juin 1924 (2).	Nouv. en H.	470	1,018005	1,01840	1,018435 1,018445	1,018425 1,01842	1,01842 1,01837	1,01839 1,018335
12 juin 1924 (3).	Nouv. en H.	350	1,017345	1,01835	1,01837 1,01837	1,018375 1,01838	1,01838 1,01839	1,01839 1,01839
10 mai 1926 (4).	Nouv. en H.	1420 820	1,018265	1,018355	1,01835 1,018355	1,01836 1,01836	1,018355 1,018365	
13 nov. 1926 (5).	Nouv. en H.	430 500	1,018365	1,01838	1,018375 1,01839	1,018365 1,018385	1,01835 1,018385	
16 juin 1927 (6).	Nouv. en H.	590	1,018225		1,018345 1,01837	1,01835 1,01842		
2 avril 1928 (7).	Nouv. en H.	440 570		1,018375	1,018395 1,01840			

(1) Première variante de l'enveloppe (grand format). L'amalgame de 12,5 % SO^4Hg^2 est préparé par précipitation chimique. — (2) Première variante de l'enveloppe. L'amalgame de 12,5 % SO^4Hg^2 est préparé par la méthode électrolytique. — (3) Première variante de l'enveloppe. L'amalgame de 12,5 % SO^4Hg^2 est préparé par la méthode électrolytique. — (4) Seconde variante de l'enveloppe (petit format). L'amalgame de 10 % SO^4Hg^2 est préparé par précipitation chimique. — (5) Seconde variante de l'enveloppe. L'amalgame de 10 % SO^4H^2 est préparé par précipitation chimique. Pâte liquide. — (6) Troisième variante de l'enveloppe (fig. 6, à gauche). L'amalgame de 10 % SO^4Hg^2 est livré par la maison E. Haen. — (7) Dernière variante de l'enveloppe (fig. 6, à droite). D'après la spécification du second groupe d'éléments étalons.

donnent une idée. Sur la figure 7, on voit l'élément suspendu à un couvercle d'ébonite, muni de deux bornes. Le contact entre ces bornes et les fils de platine de l'élément se fait par deux lamelles à ressort. L'élément est serré entre un rond d'ébonite en bas et un disque échancré sur la tubulure par les lamelles à

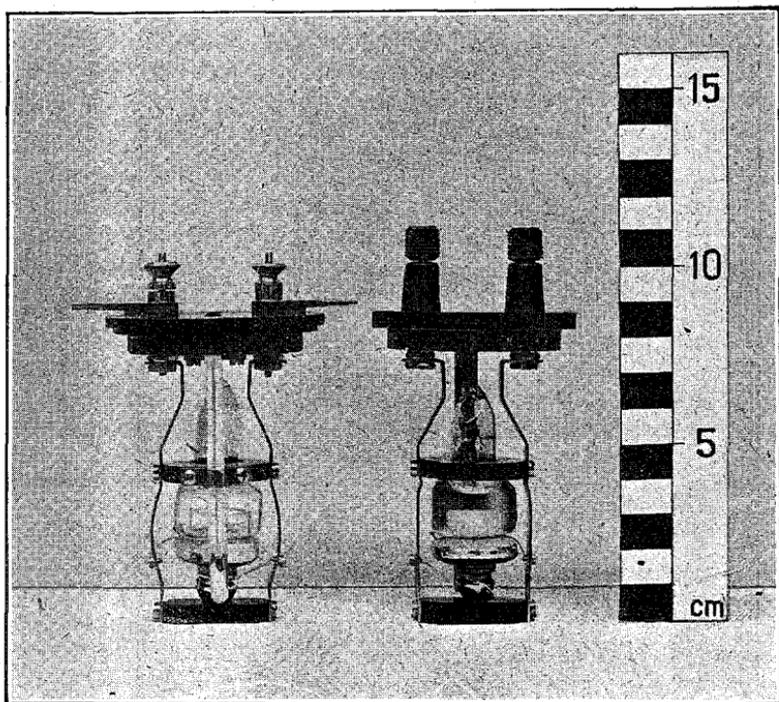


Fig. 7. — Élément Weston monté dans un étui métallique (modèle de la Chambre Centrale des Poids et Mesures).

ressort, qui servent de contact. Le couvercle, avec l'élément suspendu, est placé dans un étui en laiton, représenté au milieu de la figure 8. La masse totale de la pièce est d'environ 260^g; l'échelle en centimètres, photographiée sur les figures 7 et 8, donne une idée de la grandeur de l'appareil. A droite sur la figure 8, on voit le modèle usuel de forme en H dans un étui métallique, tel qu'il est fabriqué dans les ateliers de la Chambre

Centrale des Poids et Mesures; la masse totale est d'environ 650^g.

A gauche de la figure 8 est représenté un étui spécial, servant

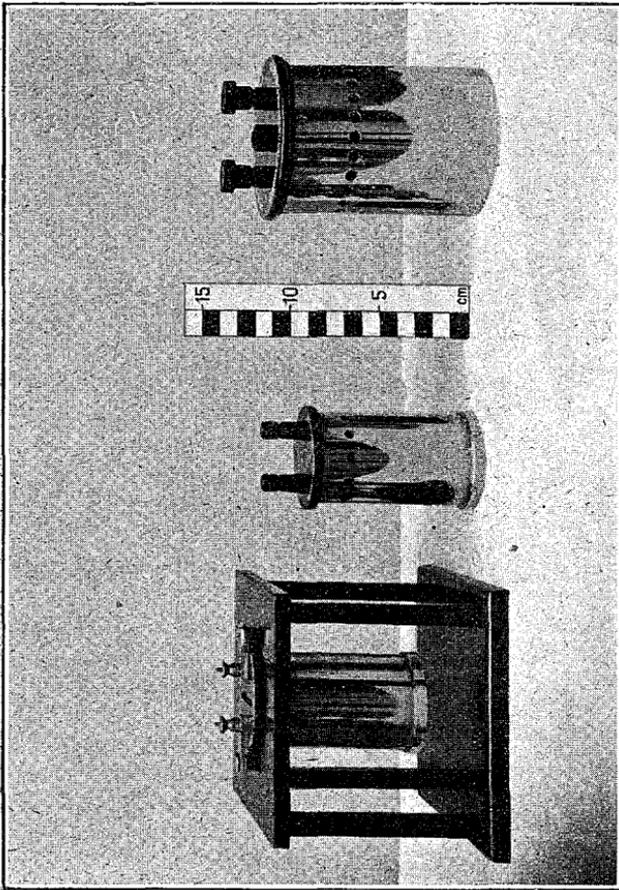


Fig. 8. — Élément Weston comportant les bornes à couteau qui servent à les introduire dans un circuit électrique.

à fixer l'élément au potentiomètre ou à un appareil de mesure quelconque. Le couvercle de cet étui est muni de bornes à couteau, qui s'adaptent aux bornes du circuit des mesures. Il suffit de tourner le couvercle dans le sens des aiguilles d'une montre

ou dans le sens inverse pour introduire l'élément dans le circuit ou l'en isoler.

Sur la figure 9, ces bornes sont photographiées d'en haut. On

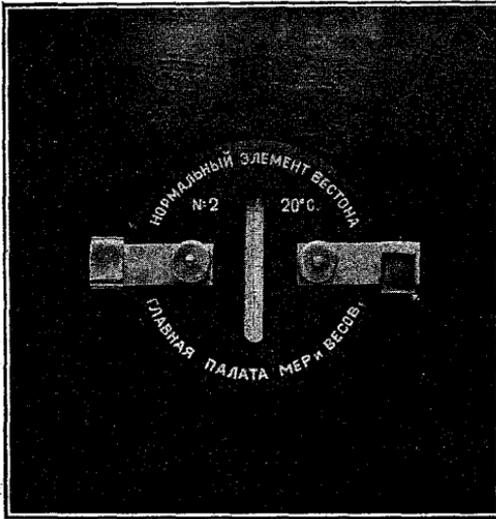


Fig. 9. — Élément Weston vu d'en haut.

voit aussi que l'étui est muni d'un thermomètre coudé, dont la partie verticale est visible sur la figure 7 (à gauche).

Les avantages du nouveau modèle font espérer qu'il sera admis pour les étalons destinés à être transportés.

QUESTIONS A EXAMINER

Par M. CH.-ÉD. GUILLAUME.

Il est probable que les unités à comparer seront, pour le moment, uniquement celles de l'ohm et du volt. Il s'agit maintenant de fixer à peu près les principes de leur étude.

Éléments Weston. — Estime-t-on que les éléments sont tout à fait au point, ou reste-t-il des études à faire sur leur forme ou sur la nature des sels dont ils sont composés? (1).

S'ils doivent être maintenus à température constante, le chauffage rationnel est une condition essentielle. La température de 20° paraît tout indiquée, car elle est très rarement dépassée dans nos laboratoires, et l'on peut presque toujours l'atteindre par chauffage.

Quel dispositif faut-il employer pour maintenir les éléments à cette température de 20°? Faut-il qu'une salle donnée soit isotherme, ou suffit-il d'immerger les éléments dans un bain d'huile maintenu à 20° par un thermorégulateur? A combien près la température doit-elle être réglée?

Ohms. — Aurons-nous des ohms mercuriels, copiés sur les prototypes, ou établis de toutes pièces, ou devons-nous nous borner à avoir des copies en fil métallique solide? Quelle méthode faut-il employer pour comparer les ohms mercuriels avec les autres?

Dans l'étude d'un tube, il est essentiel de déterminer, avec toute la précision possible, sa capacité, savoir sa longueur et sa section moyenne, réduite par les corrections de calibre. On peut donc toujours faire cette détermination, à la condition que, lorsque le tube a été monté en ohm, on puisse le démonter pour reprendre sa vérification.

Le verre se contracte en vieillissant. Cette contraction a été étudiée à fond par les mouvements du zéro des thermomètres.

(1) Voir les Rapports de M. Dye et de M. Malikov.

Le tube, qui doit avoir été amené lentement d'une température élevée à la température ordinaire, n'éprouve plus, dans le cours du temps, qu'une très faible variation, dont l'allure est exponentielle.

Autrefois, on s'est servi du verre dur français (ohms Benoît), du verre d'Iéna 16^{III} ou 59^{III}. On aurait aussi maintenant le verre anglais *blue strip*, et le pyrex. Mais le verre dur français n'a plus la même composition que par le passé; il contient un peu de plomb.

Les tubes en verre d'Iéna, qu'il était possible de se procurer dans ces derniers temps, étaient très défectueux. Peut-on en obtenir de bons? Il est certain qu'un réservoir d'un très bon verre, bien étuvé au début, n'éprouvera plus, dans le cours du temps, qu'une variation correspondant à 2 ou 3 centièmes de degré, ce qui, étant donné que le réservoir contient en moyenne 6200 degrés, correspond à peu près pour le volume à 1/200000. Pour l'ohm, la résistance étant proportionnelle à la longueur, et inversement proportionnelle à la section, il faudra compter sur une variation de l'ordre de 1/600000. On peut la déterminer en jugeant les tubes après quelques années.

L'expérience semble avoir donné des résultats variables, et bien supérieurs à celui qui vient d'être calculé (1).

R. Benoît, dans le but de redresser les tubes, les amenait à une température qui provoquait leur léger ramollissement, dans un V de cuivre fretté par des lames d'acier. Après le redressement, les tubes se refroidissaient dans le V, autour duquel on abaissait graduellement les flammes. Ils étaient donc étuvés.

Le mode de remplissage des tubes peut avoir aussi une grande importance. Le verre est généralement hygroscopique; on pense même qu'il peut condenser des gaz en quantité variable (2).

Pour se mettre autant que possible à l'abri de cette condensation, il y aura lieu de chauffer légèrement les tubes dans le vide, pendant un temps assez long (des journées ou des semaines), et de les remplir de mercure dans le vide.

Il y aurait lieu aussi de choisir le verre à ce point de vue :

(1) Voir H. v. STEINWEHR et A. SCHULZE, *Neubestimmung der internationalen elektrischen Widerstandseinheit* (Ann. der Physik, 4^e Folge, t. LXXXVII, p. 769).

(2) Voir en particulier F. HENNING, *L'échelle des températures du thermomètre à gaz* (en épreuves, Travaux et Mémoires).

éviter une trop grande proportion d'alcalis ; prendre, par exemple, le verre 59^{III}, le pyrex, ou même la silice fondue.

D'un autre côté, il serait important de savoir si le mercure ne contient pas des isotopes en quantité variable, et si la définition de l'ohm par une colonne de mercure n'est pas en quelque sorte illusoire.

Possède-t-on un moyen de connaître la variation de résistivité des métaux et alliages solides dans le cours du temps ?

Les métaux purs sont inadmissibles à cause de leur coefficient de température. J'ai trouvé, en 1890, dans la manganine ou le constantan, des retards à l'adaptation, autrement dit des résidus passagers de résistance, lorsqu'on passait rapidement d'une température à une autre.

Est-on arrivé à stabiliser suffisamment la manganine ou un autre alliage semblable, pour être sûr que les étalons faits avec cet alliage ne changent pas de façon appréciable dans le cours du temps ? Autrement, il faudrait nécessairement avoir recours aux ohms mercuriels (*Voir le Rapport du Bureau of Standards.*)

Autres études. — Que devons-nous faire pour l'étude de l'ampère ? Devons-nous avoir une balance électrodynamique, et de quel système ? Les corps magnétiques situés à proximité de cette balance ont-ils une action appréciable ?

Les unités photométriques n'ont pas encore été envisagées comme devant faire partie de nos études. Nous pourrions aménager, dès la construction des laboratoires, une salle en sous-sol destinée à ces travaux, qui seraient entrepris dans un intervalle de deux années à peu près, à la condition que le personnel du Bureau dispose, à ce moment, d'un temps suffisant.

Laboratoires. — Les laboratoires seront installés sur le même modèle que les salles I à VI actuellement existantes, et dont l'organisation a fait ses preuves. Mais l'éclairage des nouvelles salles comporte quelques difficultés. Comme elles n'ont pas de communication à travers les murs avec l'extérieur, si l'on veut les éclairer par en haut, on rend extrêmement précaire l'utilisation des espaces prévus au-dessus des salles proprement dites.

La salle VI du Bureau a été récemment aménagée de manière à supprimer pratiquement la lanterne, et cette disposition ne présente aucun inconvénient. En effet, depuis l'avènement de la lampe électrique à incandescence, il est très facile d'éclairer les espaces fermés, sans pour cela troubler la température ni la

composition de l'air. Il semble que ce plan puisse être adopté pour les nouvelles salles.

Dans ce dernier cas, les laboratoires seraient surmontés d'espaces destinés à installer des bureaux, au besoin une salle de chimie, et un logement pour le garçon de laboratoire, qui fonctionnerait en même temps comme gardien de nuit pour l'observatoire.

Dans les salles proprement dites, il sera prévu un mécanisme d'aérage qui pourra être mis en fonction à volonté. L'air entrera par les portes ou par les ouvertures spécialement aménagées, et sortira par l'intermédiaire d'un ventilateur.

Le degré d'humidité pourra être atténué soit par condensation sur un réfrigérant, soit à l'aide de couvertures de laine, qui pourront être disposées facilement dans les salles humides, et retirées pour être séchées. Nous avons déjà adopté un semblable dispositif en vue d'assainir, dans la mesure du possible, le premier caveau des prototypes. Des couvertures sèches, introduites dans le caveau, s'alourdissent, à certaines saisons, en un jour ou deux, de 1^{kg} par couverture.

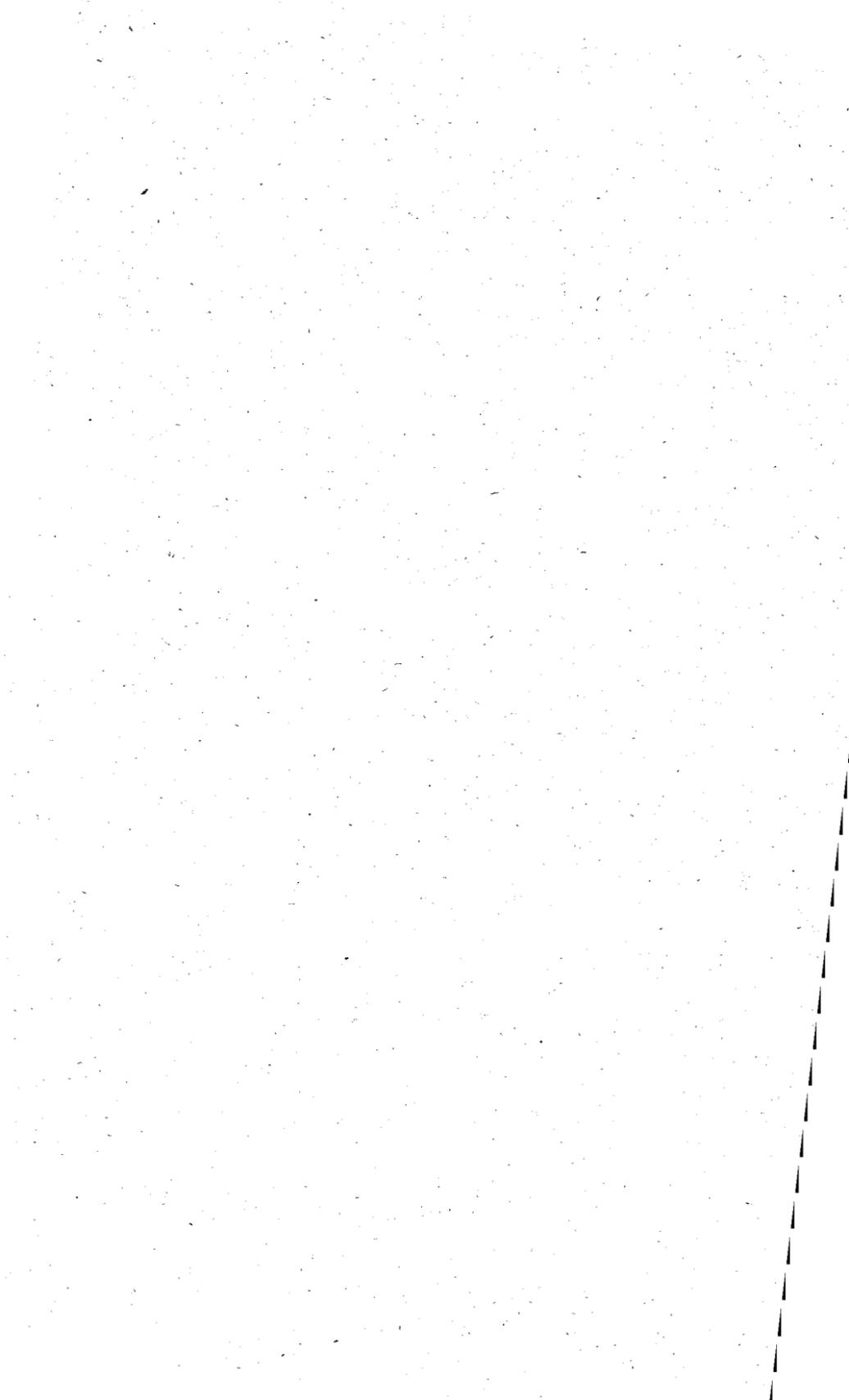
Lorsqu'on a construit l'observatoire du Bureau, aucun autre chauffage que le chauffage de précision n'avait été prévu. Il en est résulté, au bout de quelque temps — le chauffage de précision ayant cessé de fonctionner —, l'impossibilité absolue de modifier la température de nos salles autrement qu'en ouvrant largement les portes dans les beaux jours, ou dans les jours froids lorsqu'on voulait atteindre une température basse. Pendant quelques années, le travail dans les laboratoires a été, à certains moments, très préjudiciable à la santé des observateurs. Après que R. Benoit eut failli en mourir, on installa, dans les salles, de petits poêles à gaz, que l'on allumait de temps en temps, et qui élevaient la température de quelques degrés; ils diminuaient d'une façon correspondante l'humidité relative. Mais les parois de zinc qui entouraient les salles maintenaient en permanence une humidité voisine de la saturation. Ce n'est qu'en 1900 que l'on décida l'enlèvement des parois de zinc. Le chauffage fut alors un peu perfectionné.

Les nouveaux bureaux et le logement du gardien doivent nécessairement pouvoir être chauffés. Il semble que la solution la plus rationnelle consiste à installer, dans tout l'observatoire, un chauffage central, qui faciliterait beaucoup les travaux.

RAPPORTS

CONCERNANT LA

TEMPÉRATURE D'AJUSTAGE DES ÉTALONS INDUSTRIELS.



RAPPORTS

CONCERNANT

LA TEMPÉRATURE D'AJUSTAGE DES ÉTALONS INDUSTRIELS.

Avant-Propos.

Dans sa séance du 4 octobre 1927, la Septième Conférence générale des Poids et Mesures; prenant en considération une proposition du Bureau of Standards concernant la température de définition des étalons à bouts, se rallia à la résolution exprimée dans les termes suivants :

« Le Comité nommera une Commission de cinq membres, qui étudiera cette question. Cette Commission devra présenter son rapport avant le 1^{er} mars 1929 » (1).

Conformément à cette résolution, le Comité international désigna, dans sa séance du 8 octobre de la même année, le Bureau of Standards, le National Physical Laboratory, la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, le Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers ou la Section technique de l'Artillerie, acceptant d'avance les rapporteurs qu'il plairait à ces Établissements de nommer.

Les opinions du Bureau of Standards ont été exposées par M. George K. Burgess, Directeur de ce Bureau, et appuyées par une Note de M. C. E. Johansson, le célèbre réalisateur des calibres terminés par des faces planés; celles de la Reichsanstalt ont fait l'objet d'un Mémoire de M. W. Kösters, Directeur de la Division des Poids et Mesures rattachée à cet Établissement; les opinions qui règnent en France ont été reproduites par M. F. Cellerier, Directeur du Laboratoire d'Essais du Conservatoire des Arts et Métiers, autrefois attaché à la Section technique de l'Artillerie;

(1) *Comptes rendus*, p. 56.

enfin j'ai été choisi personnellement par le Comité pour exprimer les opinions du Bureau international (1).

Ce sont les Rapports présentés à cette Commission qui sont rassemblés ci-après. Un seul fait défaut : celui que M. J. E. Sears était chargé de rédiger au nom du National Physical Laboratory. Il n'a pas été possible, en effet, jusqu'à la date actuelle, de réaliser l'unité d'opinion parmi les constructeurs, et, en général, les usagers des étalons à bouts en Grande-Bretagne.

L'acceptation unanime d'une température uniforme de définition de ces étalons reste donc ouverte. Il a semblé utile cependant de publier les Rapports parvenus au Bureau international. Ils exposent, en effet, l'ensemble important des questions concernant les étalons à bouts. Si même ils n'arrivent pas à une conclusion définitive, au moins auront-ils créé la clarté en ces matières délicates; et, lorsque l'unification sera obtenue, ils auront puissamment contribué à la réaliser.

C.-É. G.

(1) *Procès-verbaux*, 1927, p. 84.

ALLEMAGNE.

RAPPORT

DE

M. W. KÖSTERS,

Directeur de la Division des Poids et Mesures
de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

SUR LE CHOIX DE LA TEMPÉRATURE D'AJUSTAGE
DES ÉTALONS INDUSTRIELS EN ALLEMAGNE.

En Allemagne, une décision du *Normenausschuss der deutschen Industrie* a introduit, en 1919, pour les appareils de mesure et pour les pièces fabriquées, la température d'ajustage de 20°. Les motifs pour l'adoption de cette température d'ajustage sont énumérés dans le Rapport final ci-dessous du Comité de Normalisation : *Exposé des raisons pour le choix de 20° comme température d'ajustage des étalons, des instruments de mesure et des pièces fabriquées de l'industrie allemande* (1) ». A cette époque, il existait déjà une décision du *Comité allemand pour les unités et les grandeurs*, ayant pour titre : *Température normale*.

Les propriétés des substances, des outils et des machines doivent, autant que possible, être mesurées à une température définie unique, ou doivent être calculées pour une certaine température. Tant qu'il n'existe pas de motifs particuliers pour le choix d'une autre température, on adoptera 20° comme température normale.

La température de 0° doit être conservée : dans la fixation des unités de mesure, le mètre et l'ohm; dans la fixation de l'unité de pression, l'atmosphère, et dans les indications du baromètre.

La température de référence, 4°, doit être maintenue : dans la fixation de l'unité de capacité, le litre, et, pour l'eau, comme corps servant à la comparaison dans les mesures de densité.

(1) *Mitteilungen des Normenausschusses der deutschen Industrie*, Heft 4, 1919.

EXPOSÉ DES RAISONS

QUI MILITENT EN FAVEUR DU CHOIX DE 20° COMME TEMPÉRATURE
D'AJUSTAGE POUR LES ÉTALONS, LES INSTRUMENTS DE MESURE
ET LES PRODUITS MANUFACTURÉS DE L'INDUSTRIE ALLEMANDE.

C'est une singularité du Système métrique que, pour définir le prototype de longueur, on ait adopté la température de la glace fondante (0°).

D'où vient le choix de cette température peu usuelle? Pourquoi n'a-t-on pas pris $160\frac{2}{3}$ comme dans le Système britannique, ou 18°, ou une autre température à laquelle on utilise habituellement les étalons dans la pratique?

Pour le comprendre, il faut avoir présentes à l'esprit les circonstances régnantes à l'époque où la décision fut prise. Pour étalonner un thermomètre, on le plongeait dans la glace fondante, on pratiquait une marque au point d'affleurement de la colonne mercurielle, puis on portait le thermomètre dans la vapeur d'eau saturante à 760^{mm} de pression, et l'on marquait le point 100 à cet endroit. L'espace compris entre les deux points était partagé en 100 parties égales. Si l'on suppose que le diamètre du tube capillaire est uniforme, les lectures du thermomètre dépendent seulement de la différence entre la dilatation du mercure et celle du verre. Comme la dilatation du verre est soumise à de fortes variations, — le verre étant un corps mal défini —, toutes les températures, à part 0° et 100°, sont mal déterminées. On éliminait l'action de ces incertitudes par le fait qu'on prenait 0°, température de la glace fondante, comme température de départ. On peut obtenir cette température pour un temps indéfini, indépendamment de toute échelle arbitraire, et, par conséquent, conserver la longueur du Mètre sans aucune relation avec l'échelle adoptée. En ce qui concerne la longueur fondamentale, cette raison est encore actuelle.

Un motif secondaire pour le choix de la température de la glace fondante doit aussi être cherché dans l'idée que, avec le grand nombre de températures usuelles employées, on obtiendrait plus facilement l'unanimité sur cette température non usuelle, parce qu'elle n'offrirait à personne un privilège particulier. Il résulte de ces raisons que la longueur du Mètre ne pouvait

être connue avec sûreté que si on l'observait à 0°. *La mesure à la température de 0° doit être maintenue, mais non pas l'ajustage à cette température.* Une observation à 20°, par exemple, aurait été peu sûre, parce que ladite température n'était pas établie avec certitude. Les mêmes raisons sont encore valables, naturellement, pour toutes les copies de la longueur fondamentale, pour laquelle le zéro seul, comme température d'observation, devait être pris en considération. On était parfaitement conscient de cette limitation, et l'une des premières tâches du Bureau international devait être de l'éliminer. On ne pouvait atteindre ce but que par l'établissement d'une échelle des températures d'un emploi général et facile à reproduire. Le problème a été résolu par la considération de la dilatation d'un gaz parfait, l'hydrogène. Les travaux ont trouvé leur conclusion dans l'acceptation de l'échelle centésimale internationale des températures (échelle de l'hydrogène), dont les écarts, par rapport à l'échelle thermodynamique, sont si faibles qu'ils n'interviennent pas pour les mesures de longueur les plus subtiles. La nouvelle échelle des températures est employée depuis plusieurs dizaines d'années et s'est toujours trouvée justifiée.

On a pu, depuis, pratiquer l'observation des longueurs à d'autres températures, maintenant bien définies. L'équation du prototype allemand n° 18 est, par exemple, la suivante :

$$\text{Prototype n° 18} = 1^{\text{m}} - 1^{\mu}, 0 + (8,642 \theta + 0,00100 \theta^2) 10^{-6} \pm 0^{\mu}, 2.$$

De cette équation, on peut déduire la longueur, non seulement à 0°, mais aussi à une température θ quelconque. Il faut conclure de là que l'observation à une température θ fournit aussi des valeurs certaines de la longueur.

Une opération, de nature en quelque sorte accessoire, est restée liée à la température 0° : c'est l'ajustage des mesures à 0°. Lorsque les étalons de longueur doivent être observés à 0°, il faut évidemment donner la même forme à leur valeur légale ou nominale, sous peine d'être forcé d'y appliquer une correction. Après que les limitations qui s'opposaient à l'emploi d'une température autre que 0° furent tombées, on acquit aussi la faculté d'employer d'autres températures de référence. En réalité, il a été fait usage de cette faculté : les étalons géodésiques, par exemple, ont été couramment établis à 18°, parce qu'ils étaient généralement employés à cette température. La définition du Mètre en longueurs d'onde de la raie rouge du cadmium a été, de

même, donnée à 15° ; mais, ici, les changements de température ne jouent qu'un rôle secondaire.

Cependant, au Bureau international, on s'est tenu à cette prescription que, conformément au sens du Système métrique, toutes les mesures doivent être ajustées à 0°, tandis que l'on n'attribuait pas une importance particulière à la suite d'une observation à 0°, qui, seule, libère d'une incertitude de l'échelle des températures, indépendamment de la valeur d'ajustage. La prescription d'une longueur unique d'ajustage, en particulier 0°, se présente en première ligne. On montrera plus loin que, précisément, cet ajustage à 0° conduit à des erreurs.

En effet, pour certaines mesures, et en particulier pour celles de l'industrie, il est nécessaire et conforme au but poursuivi, de ne fixer qu'une seule température correspondant à la valeur nominale.

Lorsqu'on prend, par exemple, deux étalons à bouts, en acier, de 100^{mm}, ajustés l'un à 0°, l'autre à 20°, et qu'on les place côte à côte, — c'est-à-dire à la même température —, ils ont une longueur différente. On a donc à proprement parler deux systèmes, dont l'un diffère de l'autre de $11,5 \times 20 \times 10^{-6} = 0,23$ pour 100^{mm}. Si l'on prend des matières possédant une dilatation différente de celle de l'acier, on trouve encore d'autres longueurs. L'usage d'employer simultanément deux températures de départ doit entraîner une énorme perturbation ; l'emploi d'une température unique d'ajustage est donc absolument nécessaire. Cette température d'ajustage, pour les raisons qui vont être données, ne peut pas être 0°.

Le Comité du Travail est unanimement en faveur de la température d'ajustage à 20°, *parce que des mesures à 0° ne sont pas possibles en pratique*. Naturellement, une autre température voisine de 20° aurait pu être choisie. On exposera plus loin les raisons pour lesquelles la température de 20° a été adoptée.

A la température d'usage, les mesures de même valeur nominale doivent avoir effectivement la même valeur. Si l'on considère les mesures qui, à 0°, sont parfaitement ajustées, on observe facilement que, à 20°, elles possèdent des longueurs différentes, parce que leurs coefficients de dilatation divergent entre eux. Même, des étalons qui sont faits en apparence de la même matière, possèdent des dilatations différentes. Ainsi, la dilatation de l'acier varie entre 10^μ,5 et 12^μ,5 par degré pour 1 mètre. La longueur d'un étalon de 1 mètre en acier, exact à 0°, peut être, à 20°, de

$1^m + 0^{mm}, 210$, et tout aussi bien de $1^m + 0^{mm}, 250$; il peut donc présenter, par rapport à la valeur moyenne, une différence de $\pm 20\%$. Entre le laiton, l'acier et l'invar, les différences à 0° et à 20° peuvent dépasser un tiers de millimètre. On voit immédiatement que l'ajustage rigoureux à 0° n'est pas utilisable lorsque la température d'observation est fixée à 20° .

De divers côtés, il a été proposé de conserver l'ajustage approximatif à 0° , — au moins dans l'acier —, et cependant de ne pas renoncer à la concordance nécessaire à 20° . Cette proposition a été nommée le *compromis*, et consiste en ce qui suit : on rend égales à 20° les mesures de même valeur nominale, en les ajustant sur un étalon d'acier idéal, qui, à 0° , possède sa valeur nominale exacte, avec la dilatabilité $11,5 \cdot 10^{-6}$. Un tel étalon, par exemple de 1^m de longueur, est égal à $1^m + 20 \times 11^{\mu}, 5$, ou $1^m + 0^{mm}, 230$. Comme un mètre correct devrait avoir cette valeur à 20° , on serait tenu de dire : un mètre exact ne doit pas être égal à 1^m à 0° , mais doit être égal à $1^m + 0^{mm}, 230$ à 20° . La mesure devrait par conséquent porter l'inscription : $1^m + 0^{mm}, 230$ à 20° .

On peut faire à cette proposition une objection sérieuse : personne ne comprendrait comment on est arrivé à cette valeur qui n'est pas représentée par un nombre rond. L'industrie qui veut avoir une mesure métrique exprimée par un tel nombre ne peut pas travailler avec des étalons de cette sorte. De plus, il n'est pas d'emblée évident que la mesure appartient au système 0° . Il faudrait donc écrire : 1^m à 0° . Mais cela ne serait pas parfaitement exact, ou le serait seulement dans un cas, savoir lorsque la dilatabilité serait réellement égale à $11,5 \cdot 10^{-6}$.

Quelle inscription ferait-on sur un étalon de 1^m en laiton ou en acier nickel ? Quelle longueur doit-il avoir s'il est « exact » ? Ici, les défenseurs de cette idée disent que cet étalon doit avoir une longueur égale à celle d'un étalon d'acier qui serait juste à 0° et qui posséderait la dilatabilité $11,5 \cdot 10^{-6}$. Mais on ne peut pas savoir, si l'on a affaire à un étalon de laiton avec l'inscription 1^m à 0° , s'il est égal à l'étalon d'acier. Les conceptions s'embrouillent, et le Système métrique, qui repose sur l'adoption d'une longueur invariable, est abandonné ; le mètre a été remplacé par un mètre normal en acier. D'une façon générale, la température 0° n'est plus employée. Ainsi on sera obligé de faire toutes les mesures à la température d'ajustage de 20° , égale à leur valeur nominale. Au contraire, une barre métrique devient indépendante de la matière dont elle est faite, lorsqu'elle porte

l'inscription : 1^m à 20° . Tous les étalons du mètre deviennent alors égaux entre eux à 20° , savoir 1 mètre, ou égaux à la longueur du Prototype international à 0° . Toutes les mesures employées dans les dessins signifient seulement : cet objet doit avoir telle longueur à 20° . Lorsqu'on a à comparer entre elles des pièces usinées de dilatations différentes, on sait qu'elles doivent être égales à 20° ; on les compare donc à 20° . Si l'on a des pièces usinées ayant à peu près la même dilatation, on est autorisé, suivant la précision exigée, à s'écarter de 20° ; mais s'il s'agit de la plus haute précision, alors la température de 20° doit être réalisée effectivement.

Il reste encore à exposer brièvement à quelles possibilités de précision on renonce si l'on abandonne la température de 0° , et si l'on fait les observations à 20° .

Même dans les conditions les plus défectueuses de la thermométrie, dans la période de l'échelle en verre dur ou de l'échelle en cristal, les incertitudes dans la détermination de la température à 20° n'étaient pas supérieures à 0,2 degré. Cela correspond à une différence de longueur de 2^{μ} sur un 1^m . L'échelle internationale donne la température de 20° à 0,005 degré près, correspondant pour 1^m d'acier, à une différence de longueur de $0^{\mu},06$, précision qui n'a pas encore été atteinte jusqu'ici. Mais, si une semblable précision devait être obtenue, on pourrait s'attendre à ce que l'échelle des températures fût fixée de façon encore plus précise. Combien plus grandes sont les variations qu'un étalon ajusté à 0° présente à 20° , comme conséquence de l'incertitude dans la dilatabilité de l'acier ! Comme il a été montré précédemment, elles comporteraient $\pm 20^{\mu}$ sur 1^m . Elles sont donc environ dix fois plus grandes qu'elles ne l'étaient dans l'ancienne échelle des températures, si imparfaite fût-elle. Par conséquent, le choix ne peut pas être douteux.

Il reste, en terminant, à préciser pourquoi on a choisi 20° , et non pas une autre des températures d'emploi, comme par exemple 15° ou 18° . La température de 20° se trouve, sans aucun doute, déjà au-dessus de la température normale des intérieurs ; mais on verra là un avantage plutôt qu'un inconvénient, parce qu'on peut facilement élever la température, tandis qu'il est difficile de l'abaisser.

Les autres raisons sont les suivantes :

I. 20° est un nombre rond et commode pour le calcul ;

II. La température de 20° est la plus répandue pour les longueurs industrielles. D'après des données statistiques, rassemblées avec soin, environ 65 pour 100 des mesures de longueur sont ajustées à 20°, et les établissements industriels sont équipés en conséquence. En s'unissant sur 20°, on pourrait conserver environ 60 pour 100 de l'outillage.

Avec l'acceptation générale de 20°, il y a assurément une différence de $3\frac{1}{3}$ degrés par rapport à la température du Système britannique, puisque : $62^{\circ}\text{F.} = 16\frac{2}{3}\text{C.}$ Cette température est beaucoup plus près de 20° que de 0°, et les différences sont moins importantes dans la proportion des écarts. S'il est vrai que les points de contact entre le pouce et le mètre ne sont pas très fréquents, une partie du Système britannique est cependant restée dans le système allemand des normes. Il est par conséquent désirable que la différence de température soit écartée par une convention internationale.

Diffusion en Allemagne de la température d'ajustage de 20° dans l'année 1928. — Pendant l'année 1928, on a de nouveau fait une enquête auprès de l'industrie allemande des instruments de mesures, pour savoir à quel point la température d'ajustage de 20° s'est introduite dans l'usage, et si son adoption a donné des résultats satisfaisants. Les rapports sont unanimes pour affirmer que l'industrie allemande, après la décision du Normenausschuss en 1919, s'est ralliée aussitôt et sans exception à la température de 20°, et qu'il ne s'est pas présenté d'autres températures depuis de nombreuses années. En concordance avec cette décision, on n'a plus envoyé, dans les cinq dernières années, à l'examen de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, de pièces ajustées à d'autres températures que 20°.

Les rapports de l'industrie allemande laissent reconnaître en outre que, après l'introduction de la température d'ajustage de 20° dans toute l'Allemagne, l'industrie allemande ne peut pas être amenée à abandonner 20°, car le retour à 0°, ou l'introduction de ce qu'on nomme le *compromis*, feraient perdre la haute précision atteinte.

Dans les bureaux d'étalonnage, la température de 20° a été introduite également comme température d'ajustage depuis quelques années.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

RAPPORT

DE

M. GEORGE K. BURGESS,
Directeur du Bureau of Standards.

SUR LA TEMPÉRATURE DE DÉFINITION
DES ÉTALONS A BOUTS.

Dans le but d'obtenir l'opinion des ingénieurs et des industriels sur la question de la température de définition des étalons employés dans l'industrie, le Bureau of Standards a invité les organisations nationales, scientifiques et techniques, à désigner des représentants pour étudier la question.

Organisations nationales :

American Society of Mechanical Engineers ;
Society of Automotive Engineers ;
National Screw Thread Commission ;
National Machine Tool Builders Association ;
American Railway Association ;
Engineering Bureau, U. S. Navy ;
Ordnance Department, U. S. Army.

Fabricants d'outillage et d'étalons :

Brown and Sharpe Manufacturing Company ;
Greenfield Tap and Die Corporation ;
Johansson Division, Ford Motor Company ;
Pratt and Whitney Company ;
Sheffield Machine and Tool Company ;
Standard Gage Company ;
Taft-Peirce Manufacturing Company ;
The L. S. Starrett Company ;
The Van Keuren Company.

Toutes les opinions recueillies sont en faveur de 20° C. (68° F.) comme température à laquelle les étalons industriels de longueur, y compris les calibres à bouts, doivent avoir leur valeur nominale.

Les raisons mises en avant sont essentiellement les mêmes dans tous les cas, et peuvent être résumées comme suit :

1. Les étalons industriels de longueur doivent posséder leur valeur nominale à une température aussi voisine que possible de celle à laquelle ils sont employés.

2. 20° C. (68° F.) représente la température des laboratoires et des ateliers des États-Unis dans lesquels les étalons à bouts sont employés.

3. 20° C. (68° F.) est pratiquement d'emploi général aux États-Unis comme température normale pour les étalons industriels de longueur.

4. 20° C. (68° F.) est plus fréquemment employé comme température normale pour les étalons de longueur que toute autre température, les seules exceptions importantes étant l'usage de 62° F. en Angleterre et de 0° C. en France.

5. 20° C. (68° F.) rencontre moins d'opposition, et, par conséquent, a plus de chance d'adoption universelle que toute autre température.

6. La proposition d'adopter 0° C. comme température normale pour les étalons industriels à bouts, soulève des objections sérieuses, parce que son adoption nécessiterait l'introduction de difficultés inutiles et d'incertitudes dans la comparaison et l'usage des étalons.

EXTRAIT D'UNE LETTRE DE M. C. E. JOHANSSON A M. GEORGE
K. BURGESS, DIRECTEUR DU BUREAU OF STANDARDS,
RELATIVE A L'AJUSTAGE DES CALIBRES.

.....

Après avoir exécuté, au cours de l'année 1896, ma première série de calibres étalons, j'ai commencé une recherche sur les différentes espèces de jauges, comme les micromètres et les étalons à bouts, fabriquées en Amérique et en Europe: par exemple, chez Brown and Sharp Mfg. Co., U. S. A., Ludwig Lowe, Berlin, Reinecker, Chemnitz, et aussi dans les ateliers de l'Etat en France, dans le but d'obtenir les vraies valeurs à réaliser pour le millimètre et le pouce. Par cette recherche, j'ai trouvé que ces diverses fabrications se rapportaient à différentes températures d'ajustage (température normale) pour leurs étalons; que Brown and Sharp employaient 62° F.; Ludwig Lowe, 25° centésimaux; Reinecker 14°; et les Ateliers de l'État en France, 0°.

Dans mon travail expérimental, et pendant le temps que j'ai mis à faire les mille premières séries de ma combinaison d'étalons à bouts plans pour la vente, entre les années 1899 et 1914, j'ai trouvé que la température moyenne des laboratoires et des ateliers, dans lesquels on employait les calibres, était d'environ 20° C. (ou 68° F.); j'ai donc essayé d'établir et de conserver cette température dans mon laboratoire, et c'est seulement lorsque les clients exprimaient le désir de recevoir des calibres étalons ajustés à d'autres températures, que je les exécutais, par exemple pour la France (en millimètres) à 0°, et pour l'Angleterre (en inches) à 62° F. (dans quelques cas et seulement pour un petit nombre de séries, à 66° F.).

Néanmoins, et quoique les clients en France demandassent des calibres ajustés à 0°, je faisais l'ajustage à 20°, température à laquelle les calibres étaient employés, en utilisant un calibre étalon de 100^{mm} déterminé à 20° C. environ au Bureau international des Poids et Mesures, et dont j'avais calculé la valeur à 0°.

Une exception de l'ajustage et de la mesure des étalons à la température de définition (température étalon) à 20° C. était

constituée par les calibres qui formaient la combinaison type des étalons faits pour l'Angleterre, lesquels calibres furent ajustés et mesurés à 62° F. Pour le Japon, j'ai fait aussi des séries d'étalons à 62° F. jusqu'à ce que ce pays ait adopté, en 1926, le Système métrique. Les lots d'étalons métriques pour le Japon sont maintenant ajustés à 20° C. comme température étalon.

En ajustant des étalons à la température de 62° F. j'ai éprouvé plus de difficultés pour l'établissement et la détermination qu'à celle de 20° C. (68° F.).

Le rayonnement de la chaleur du corps de l'opérateur avait une influence plus grande sur les étalons à 62° F. qu'à 68° F. En conséquence, les étalons, pendant les opérations d'ajustage et de mesure à 62° F. s'allongeaient plus vite, en raison de leur dilatation, que lorsque l'ajustage et les opérations de mesure étaient faits à 20° C.

Une autre circonstance avantageuse dans l'emploi de 20° C. (68° F.) comme température étalon, est que, dans les réductions de Centigrade à Fahrenheit, les nombres entiers 20 et 68-32 se réduisent exactement l'un à l'autre, et que les calculs sont plus simples et plus faciles à faire.

Les étalons Johansson ont été livrés, dans les années 1899 à 1928 inclusivement, à tous les pays industriels du monde, par Eskilstuna (Suède). Environ 100000 sont sortis de la Ford Motor Company à Dearborn (Michigan). La plus grande partie de ces étalons sont ajustés et mesurés à 20° C. (68° F.), et les industries de tous les pays, si l'on en excepte l'Angleterre et les Ateliers de l'État en France, ont trouvé cette température pratique et bonne à tous égards. Même, en Angleterre, un certain nombre de manufacturiers ont exprimé le désir d'adopter 68° F. (20° C.) comme température étalon.

Je présenterai ci-après les règles fondamentales et les principes concernant la température, qui ont été admis depuis 1903, dans la détermination des étalons principaux employés pour l'ajustage et la mesure d'étalons faits à Eskilstuna et à Dearborn.

1. *Pour le Système métrique.* — En 1903, j'ai établi un étalon de 100^{mm} marqué « B », à 20° C., terminé par des surfaces parallèles, et l'ai envoyé au Bureau international des Poids et Mesures pour sa détermination, avec prière de le mesurer et de m'indiquer la température à laquelle il avait exactement la longueur de 100^{mm}. Le 29 avril 1903, le Bureau international délivra un

certificat, avec une description du travail exécuté pour la détermination de la longueur en comparaison avec le Mètre prototype ; la température donnée dans le certificat est 20°,63, température à laquelle l'étalon de 100^{mm} (B) possède sa véritable longueur de 100^{mm}.

J'avais, par conséquent, à accroître la valeur de l'étalon de 100^{mm} (B) de 0^μ,7 pour obtenir la valeur « absolue » de 100^{mm} à 20° C.

J'entrepris alors la fabrication et l'ajustage des étalons, et j'envoyai de nouveaux calibres au Bureau international pour leur détermination ; dans un certificat daté du 22 avril 1912, je reçus les nombres suivants :

	A 0°.		A 20°.	
	mm	^μ	mm	^μ
100.....	100	— 23,5	100	— 0,1
50.....	50	— 11,8	50	— 0,0
25.....	25	— 6,0	25	— 0,1
25.....	25	— 5,9	25	— 0,0

Ces mêmes valeurs ont servi à l'ajustage de tous les étalons métriques Johansson faits et distribués pendant la période 1912-1928, et sont équivalentes aussi aux valeurs étalons pour les années 1903 à 1911.

2. *Pour le Système de l'inch.* — A. *Inch britannique.* — En 1904, M. J.-R. Benoît, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, me fit connaître la relation de l'inch anglais au millimètre, savoir : 1 inch = 25^{mm},399 977 2 ; cette valeur a été confirmée en 1908 par M. R. T. Glazebrook, alors Directeur du National Physical Laboratory à Teddington.

Employant cet équivalent 25,399 977 2 et la valeur de l'étalon « 100^{mm} B », déterminé au Bureau international en 1903 (certificat du 29 avril 1903), j'ai exécuté la première série d'étalons en inches pour le National Physical Laboratory, d'accord avec leur température d'ajustage à 62° F.

En 1908, j'ai réalisé une série de calibres à bouts plans, comprenant 81 étalons à bouts à 62° F. pour l'Amirauté britannique, et envoyé cette série au National Physical Laboratory pour sa détermination. Le 23 septembre 1908, j'ai reçu un certificat d'examen qui montre que le National Physical Laboratory a trouvé les dimensions et le parallélisme des étalons à bouts plans de cette série ajustés à 1 cent-millième d'inch près.

De temps en temps, pour vérifier la valeur des mesures, des calibres ont été envoyés au Bureau international et au National Physical Laboratory. Le certificat du 23 octobre 1922 montre que deux calibres de 4 inches coïncident avec les étalons du National Physical Laboratory à 62° F., respectivement à moins de 1 et 2 millièmes d'inch.

B. *Inch américain*. — L'équivalent légal adopté par un Act du Congrès du 28 juillet 1866, savoir : 1^m = 39,37 inches, nous donne la valeur de l'inch américain comme 25,4000508 millimètres.

En 1905, un étalon à bouts plans de 3 inches marqué « F », de ma fabrication, a été vérifié par le Bureau of Standards à Washington, et un certificat a été établi, donnant la valeur suivante :

Étalon F = 3,000 30 inches à 27°,5 C.

— = 2,999 94 inches à 62° F.

ou

3,00005 inches à 20° C. (68° F.),

en supposant le coefficient de dilatation égal à $11 \cdot 10^{-6}$ par degré centigrade.

En adoptant le même coefficient, j'ai obtenu pour la valeur du calibre « F » à 66° Fahrenheit (18°,89 C.) : 3,000 016 inches.

Par conséquent, en conformité avec le résultat obtenu au Bureau of Standards (Détermination n° 1604 et Certificat du 19 août 1905), j'ai considéré ledit calibre « F » comme sensiblement exact pour donner la valeur de l'inch américain dans les limites de précision que l'on pouvait alors atteindre.

Autour de l'année 1908, j'ai marqué plusieurs séries de calibres à « 66° F. », et j'ai ajusté d'autres calibres divisionnaires d'après ledit calibre « F », que j'ai employé à cette époque comme étalon pour la valeur de l'inch américain.

Mais comme j'avais fait, depuis l'année 1903, toutes les séries d'étalons métriques (à l'exception de quelques-uns destinés aux Ateliers de l'État en France) pour la température étalon (température de définition) de 20° C., et comme j'avais reçu du Bureau international un certificat daté du 22 avril 1912, qui témoignait de la haute précision de mes étalons à bouts plans en millimètres à cette température, l'essai subséquent devait être de faire des étalons à bouts plans en inches, qui coïncidassent avec la valeur

métrique à 20° C. (68° F.). A partir de cette époque (1912), j'ajustai donc, pour l'industrie américaine, les calibres commandés à la température de 20° C. (68° F.), de telle sorte qu'ils correspondent à l'inch = 25,40000 millimètres augmenté d'une quantité progressive de 0^{mm},000051 (0,000002 inch) par inch, et de cette manière, je fis des efforts pour conserver la valeur légale de l'inch américain, savoir : 25,4000508 millimètres, avec le résultat suivant :

Le 1^{er} octobre 1928, le Bureau of Standards me donna les valeurs des mesures absolues à 20° C. (68° F.) pour sept calibres à bouts plans (5 de 1 inch, et 2 de 4 inches). Tous étaient dans les tolérances admises de 2 millièmes d'inch. Ces étalons à bouts plans avaient été ajustés par le Département des Étalons Johansson de la Ford Motor Company, Dearborn (Michigan); quatre seulement de 1 inch furent déposés au Bureau of Standards en 1926, où ils ont été déterminés, et envoyés ultérieurement aux autorités suivantes pour être comparés avec leurs étalons, et pour obtenir les résultats de leurs mesures absolues :

- National Physical Laboratory, Angleterre ;
- Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Allemagne ;
- Bureau international des Poids et Mesures ;

et ces Instituts, en plus du

Bureau of Standards, Washington,

ont trouvé lesdits quatre étalons à bouts plans à 20° C. = 68° F. comme suit :

1 étalon à bouts plans, marqué Bl.	= 1,0000017 inch
1 »	Bl : = 1,0000001 »
1 »	Bl . . = 1,0000014 »
1 »	Bl :: = 1,0000015 »

Les valeurs que j'ai employées pour l'ajustage de ces étalons étaient celles qui ont été données dans le certificat mentionné, délivré par le Bureau international des Poids et Mesures le 22 avril 1912, et l'équivalent légal donné ci-dessus pour l'inch américain.

Conclusions.

Ayant ainsi acquis une grande expérience dans l'ajustage de plus d'un million d'étalons à bouts plans distribués dans tous les pays industriels, couvrant une période de plus de trente ans, durant laquelle j'ai cherché les règles et principes pour les températures et les valeurs de mesure d'étalons à bouts, j'ai jugé particulièrement important de ne pas perdre de vue les températures suivantes :

I. — TEMPÉRATURE FONDAMENTALE $0^{\circ}\text{C.} = 32^{\circ}\text{F.}$

Correspondante à la température du Mètre des Archives et du Mètre international. Cette température doit être employée comme une base d'après laquelle on peut calculer d'autres températures.

II. — TEMPÉRATURE ÉTALON $20^{\circ}\text{C.} = 68^{\circ}\text{F.}$

Température à laquelle les étalons à bouts plans et les étalons à bouts en général sont choisis pour avoir leur valeur nominale (absolue) de mesure.

III. — TEMPÉRATURE D'AJUSTAGE $20^{\circ}\text{C.} = 68^{\circ}\text{F.}$

C'est la température à laquelle les calibres à bouts plans et les étalons à bouts doivent être ajustés, de telle sorte que leurs dimensions concordent à la température étalon $20^{\circ}\text{C.} = 68^{\circ}\text{F.}$

IV. — TEMPÉRATURE D'INSPECTION $20^{\circ}\text{C.} = 68^{\circ}\text{F.}$

C'est la température à laquelle les calibres à bouts plans et les étalons à bouts doivent être déterminés, et coïncident avec l'étalon et la température d'ajustage $20^{\circ}\text{C.} = 68^{\circ}\text{F.}$

V. — TEMPÉRATURE DE TRAVAIL.

a. Travail avec les étalons. — La température du local d'ajustage, celle des outils servant au travail et celle des étalons, doivent coïncider; dans le travail précis, c'est-à-dire dans la

fabrication, l'ajustage et la détermination d'étalons de haute précision, la température étalon $20^{\circ}\text{C.} = 68^{\circ}\text{F.}$, doit être maintenue.

b. Travail de production. — La condition idéale pour produire et mesurer des parties de machines interchangeables serait de faire le travail complet de vérification à $20^{\circ}\text{C.} = 68^{\circ}\text{F.}$; alors, toutes perturbations importantes seraient éliminées, quelles que fussent les valeurs à mesurer. Mais si cela ne peut pas être obtenu, le meilleur moyen est d'employer des plaques refroidies et d'autres procédés pour amener les machines de travail, et en particulier les étalons à bouts plans, à la même température. Dans ces circonstances, la différence dans le coefficient de dilatation changerait seule la valeur de mesure, et, dans la plupart des cas, on trouverait que cette valeur est dans les limites des tolérances données; ainsi, on obtiendrait un produit bon marché et bien interchangeable.

FRANCE.

RAPPORT

DE

M. F. CELLERIER,

Directeur du Laboratoire d'essais du Conservatoire national
des Arts et Métiers

SUR LE CHOIX DE LA TEMPÉRATURE D'AJUSTAGE DES ÉTALONS INDUSTRIELS A BOUTS.

CONCLUSIONS ACTUELLES AUXQUELLES EST PARVENUE
L'INDUSTRIE FRANÇAISE.

I. — Rappel sommaire de quelques définitions et principes.

a. Calibres-étalons. — Calibres confectionnés avec la plus grande précision possible pour être utilisés comme « référence ».

Parmi ces calibres, on distingue les *prototypes métrologiques*, qui ne sont pour ainsi dire conservés qu'à titre documentaire, et les *calibres-étalons proprements dits* qui sont directement utilisés pour l'étalonnage des calibres d'ateliers.

b. Calibres d'ateliers. — Calibres employés dans les ateliers de construction pour la confection même des pièces. Leur degré de précision est approprié à celui que l'on recherche dans le travail de la pièce finie.

c. Température d'emploi. — Température à laquelle sont effectuées les mesures des pièces industrielles avec les calibres.

La température d'emploi des calibres n'est pas invariable; elle dépend des pays, des saisons, des heures de la journée, des locaux, etc.

Dans la plupart des usines à climat tempéré (États-Unis d'Amérique, Europe, etc.), on peut la considérer comme le plus souvent comprise entre 15° C. et 25° C.

d. Température de concordance. — Température conventionnellement choisie, à laquelle les calibres d'une dimension nominale donnée présentent la même dimension effective.

e. Température de définition. — Température également conventionnelle, à laquelle les calibres affectés à un même ensemble de fabrications présentent une dimension réelle égale à leur dimension nominale.

f. Influence de la dilatation. — Ainsi donc, dans les questions d'ajustage par l'emploi de calibres, on se trouve en présence de trois températures : d'emploi, de concordance, de définition.

Si la température d'emploi est, en quelque sorte, imposée par des circonstances locales, les deux autres peuvent être choisies arbitrairement.

Alors intervient, pour les étalons à bouts, au moment de leur emploi, l'influence de la dilatation, qui dépend essentiellement de la matière avec laquelle chacun d'eux est confectionné.

C'est ainsi que, pour les calibres fabriqués avec un alliage ferrique, le coefficient de dilatation varie de 10×10^{-6} (fonte) à $13,5 \times 10^{-6}$ (acier de certains calibres Johansson).

La correction de dilatation est donc le plus souvent plus ou moins bien connue, et, qui plus est, différente d'un instrument à l'autre.

Toutefois, il résulte des études de M. Guillaume sur les aciers CCR que l'on peut obtenir des alliages ferriques possédant une dilatabilité bien déterminée, par exemple $11 \cdot 10^{-6}$, sensiblement la même à l'état trempé et à l'état non trempé, et qui, de plus, prennent la trempe sans changement appréciable de dimensions.

Il est donc à présumer que, dans un avenir prochain, on pourrait construire des calibres-étalons possédant le même coefficient de dilatation.

g. Identité des températures d'emploi et de concordance. — Pour réaliser l'ajustage des pièces de même fabrication, il est tout d'abord nécessaire de réaliser l'identité des températures d'emploi et des températures de concordance. Dans les applications, les variations de longueur dues à la dilatation seront alors relativement faibles et pratiquement négligeables. Il en sera ainsi dans les pays tempérés, si la température de concordance est choisie entre les températures industrielles 15° C. et 25° C., par exemple 20° C.

Toutes les Puissances sont d'accord pour l'adoption d'une température commune d'emploi et de concordance.

La grande majorité d'entre elles ont adopté la température de 20° C. comme température commune. La Grande-Bretagne elle-même paraît sur le point de se rallier à cette température, et d'abandonner celle de 62° F. (16° $\frac{2}{3}$ C.) actuellement en vigueur chez elle.

h. Choix de la température de définition. « *Systèmes* » en usage. — Reste à fixer le choix de la température de définition. C'est sur ce choix que porte actuellement la divergence de vues de certains pays.

La température de définition peut être, en effet :

1° Soit la même que la température commune de concordance et d'emploi.

Dans ce cas, on obtient un *système cohérent* quant à l'utilisation. En adoptant 20° C. comme température commune on définit le « *Système à 20° C.* » qui a été adopté par un certain nombre de pays (Allemagne, Suède, etc.).

En prenant 62° F. (16° $\frac{2}{3}$ C.) on définit le « *Système à 62° F.* » qui a été provisoirement adopté par la Grande-Bretagne.

2° Soit différente de la température commune de concordance et d'emploi.

Un seul système de ce genre a été adopté en prenant 0° C. comme température de définition et 20° C. environ comme température de concordance. C'est le « *Système à 0° C.* ». Il est en usage en France, depuis une trentaine d'années, pour les calibres étalons ; toutefois les calibres d'usine sont ajustés sur les calibres étalons, à 20° C. (environ).

i. Coefficient de dilatation-type. — Pour parer aux inconvénients résultant de l'adoption de températures différentes : d'une part de celle de définition, et d'autre part de celle commune de concordance et d'emploi, MM. Pérard et le lieutenant-colonel Graux, tous deux membres de la Commission Française des Ajustages, ont proposé de définir un *coefficient de dilatation-type*.

Ce coefficient aurait pour valeur 11.10^{-6} . Étant très voisin de celui des aciers les plus couramment employés dans la mécanique de précision et la fabrication des vérificateurs d'usine, il en résulterait que les calibres industriels, ajustés à 20° C. sur les calibres étalons, auraient comme longueur leur valeur nominale majorée de 220×10^{-6} de ces valeurs.

II. — Résumé de la discussion, en France, du choix fait par ce pays du système à 0° C.

Nous résumons, ci-après, les discussions qui ont eu lieu en France à propos du système d'ajustage à 0° C.

Arguments en faveur du système à 0° C. — Ces arguments sont bien connus ; nous les rappelons succinctement :

Le choix du système à 0° C. avait été approuvé par le Comité international des Poids et Mesures en 1901.

En France, depuis cette époque, les divers Établissements de l'Artillerie et de la Marine, ainsi qu'une grande partie des ateliers de construction de la mécanique s'y sont conformés. Malgré les inconvénients signalés, les intéressés, pour la plupart, se déclarent satisfaits.

La température conventionnelle de 0° C. est nettement définie, facile à obtenir rigoureusement, et n'appartient en propre à aucun pays (1).

Elle présente l'avantage d'être une des bases fondamentales des échelles thermométriques, servant à la définition même de l'unité fondamentale internationale de longueur, base du Système métrique.

C'est pour ces motifs que toutes les règles étalons destinées aux usages scientifiques sont, en France, ajustées à la température de 0° C., qui est celle de définition du Mètre prototype international.

Comme conséquence, il avait paru également logique de choisir, comme température de définition des étalons industriels (auxquels se trouvent, en définitive, rapportées les longueurs des pièces mécaniques) cette même température de 0° C.

Comparaison entre le système à 0° C. et le système à 20° C. — Il faut reconnaître tout d'abord que l'ajustage à 0° C., tel qu'il est actuellement proposé pour son adoption éventuelle comme système international, est, en fait, un ajustage à 20° C.

L'ajustage à 0° C. n'existe pas, en effet, et en voulant le mettre en vigueur, on est conduit à pratiquer un système hybride, qui n'est ni l'ajustage strict à 0° C., ni l'ajustage strict à 20° C.

(1) A. PÉRARD, *Température d'ajustage des calibres industriels* (*Génie Civil* du 25 juin 1927, p. 622).

Mais par un tel choix, on conserve intact le principe de la température de la glace fondante, comme température de définition; on réserve les possibilités de l'avenir, et *l'on évite d'établir une dualité fâcheuse entre les étalons métrologiques et ceux de l'industrie*, qui se produirait infailliblement si l'on adoptait, pour les calibres de concordance des étalons industriels, une température de définition autre que celle de 0° C.

Or, pour le technicien et pour le praticien, le problème ne se pose pas de la même façon que pour le savant. Il s'agit, en effet, pour les premiers, d'assurer avant tout, entre des ateliers différents, l'interchangeabilité des pièces mécaniques. Comme les opérations de vérification et de montage de ces pièces sont effectuées à l'aide d'étalons industriels à la température ambiante, et non à 0° C., on est ainsi conduit à choisir, pour la température de concordance, une valeur voisine de celle des ateliers.

Ce choix fait, il est logique de prendre pour température de définition la température même de concordance, qui est de 20° C., afin d'éviter qu'un ensemble mécanique contenant des pièces fabriquées avec des métaux ou alliages différents, ne soit conforme au dessin à aucune température (1)

Dans l'ajustage à 0° C., en effet, les dimensions réelles des pièces mécaniques à la température de concordance de 20° C., dimensions qui règlent leur interchangeabilité, nécessitent qu'on soit d'accord sur la dilatation-type des calibres étalons; cette dilatation est fixée dès lors d'une façon assez arbitraire, et rien ne prouve que, dans la suite, on ne sera pas amené à la modifier.

Dans l'ajustage à 20° C., au contraire, toutes les pièces mécaniques sont, quels que soient leurs coefficients de dilatation propres, conformes au dessin à cette température (2).

Il n'est pas nécessaire, dans ce cas, de fixer une dilatation-type et c'est là, pour ce dernier système, un avantage très important, qui lui confère un caractère de généralité, manquant absolument au premier. En réalité, cependant, par suite des écarts dans la température de certains ateliers, on n'échappera pas à des corrections, au moins approximatives, dès que ces écarts deviendront notables, et que les coefficients de dilatation seront sensiblement différents.

(1) Cet argument est plutôt théorique que pratique, car la machine fonctionnera tout aussi bien dans les deux cas.

(2) A. PÉRARD, *loc. cit.*, p. 623.

En ce qui concerne notamment les *pays à température tropicale*, comme les colonies, la température ambiante moyenne des ateliers sera relativement élevée, en sorte que le choix de 20° C. comme température de définition ne sera plus acceptable. On sera alors fondé à faire, à l'ajustage à 20° C., les mêmes reproches que l'on fait actuellement à l'ajustage à 0° C..

III. — Vœux divers de l'Industrie française.

L'Industrie française, après discussion approfondie des divers arguments résumés plus haut, a constaté qu'elle se trouvait en présence d'une situation de fait, créée par l'adoption française du système à 0° C. ainsi que par l'approvisionnement existant des divers calibres basés sur cette adoption. A ce sujet, divers vœux ont été émis à la date actuelle; nous les résumons ci-après :

Commission des Ajustages. — Dans sa réunion du 17 janvier 1928, la Commission des Ajustages de la Fédération des Syndicats de la Construction mécanique, électrique et métallurgique de France, a décidé « d'inviter les délégués français à s'efforcer dans les réunions internationales de faire comprendre la supériorité du choix de la température de 0° C. comme température de définition des calibres industriels étalons ».

Toutefois ce vœu est tempéré par l'observation suivante présentée dès l'origine de la discussion à la Commission des Ajustages, et sur laquelle l'accord avait été unanime :

« Il est indispensable que les pays adeptes du Système métrique emploient pour les calibres industriels la même température de définition. Il est indispensable surtout, que la France ne se trouve pas à peu près seule avec l'ajustage à 0° C., devant des pays étrangers ayant adopté l'ajustage à 20° C. ».

Proposition Marty. — M. Marty, des Établissements Peugeot, a, d'autre part, formulé dans sa Note du 13 février 1928, les propositions suivantes :

Il existerait deux genres de calibres :

Les calibres de concordance ajustés à 0° C. sur leurs valeurs nominales, c'est-à-dire ayant leur valeur nominale à 0° C.. Leur coefficient de dilatation devrait être bien connu, et spécifié de

façon qu'ils soient en concordance entre eux à la température d'emploi comme à celle de 0° C.;

Type existant actuellement : étalons servant au Service technique de l'Artillerie.

Les calibres d'usine ajustés à 20° C. sur les précédents. Ces calibres sont ajustés sur les calibres-étalons de concordance. Ils ont ainsi, à 20° C., leur valeur nominale majorée de 220 millièmes;

Type existant actuellement : Calibres Johansson.

Proposition du Lieutenant-Colonel Graux. — Le Lieutenant-Colonel Graux a proposé, le 5 mars 1928, un projet (n° 404f₁) de norme internationale pour les calibres de concordance ⁽¹⁾ et un projet (n° 404f₂) de norme internationale pour les calibres d'usine, auxquels M. Pérard se rallie.

Ces projets définissent les calibres de concordance et les calibres d'usine. La température de 0° C. est choisie comme température de définition des premiers, et la température de 20° C. comme température de concordance des calibres. En outre, tout calibre de concordance mis en circulation dans l'Industrie serait accompagné d'un certificat.

Les calibres d'usine seraient ajustés par comparaison directe ou indirecte avec les calibres de concordance, à la température de concordance. Aucune règle de dilatabilité ne serait imposée aux calibres d'usine.

La dilatation-type des calibres de concordance est fixée à 11.10^{-6} par degré C.

Les calibres industriels étalons ajustés à 0° C. sur leur valeur nominale voient ainsi leur valeur-type définie à toutes températures; dès lors les calibres d'usine ajustés à 20° C. sur les premiers ont, comme longueur, leur valeur nominale majorée de 220 millièmes.

IV. — Observations du Rapporteur.

Sans aucun doute, les seuls systèmes cohérents relatifs à la température d'ajustage des calibres sont ceux dans lesquels la température d'emploi de ces calibres, leur température de

(1) Calibres étalons.

concordance et leur température de définition sont les mêmes que celle à laquelle le prototype définit l'unité de longueur (1).

Or la température d'emploi des calibres industriels d'usine est celle des ateliers, qui sont, généralement, dans les pays tempérés, à 20° C. environ.

D'autre part, la température de définition du Mètre prototype, base du Système métrique, est celle de la glace fondante, c'est-à-dire 0° C.

Il y a donc là un désaccord fondamental qui conduit tout naturellement à l'étude de deux systèmes différents :

a. Système dit à 20° C., dans lequel la température d'emploi des calibres, leur température de concordance et leur température de définition sont les mêmes (20° C.), mais différent de celle à laquelle est définie l'unité prototype de longueur, le Mètre international (0° C.) (2) ;

b. Système dit à 0° C., dans lequel la température d'emploi des calibres et leur température de concordance sont les mêmes (20° C.), mais différent de la température de définition prise identique à celle de l'unité prototype de longueur (0° C.).

Dans ce dernier système la différence existant entre la température de concordance des calibres et celle de leur définition nécessite la distinction entre les calibres d'usine et les calibres étalons ; c'est, en réalité, pour ces derniers seulement que la température de définition de 0° est en discussion.

La qualité primordiale des calibres étalons est d'avoir, à toutes les températures usuelles d'emploi, et spécialement à la température de concordance, une longueur bien déterminée.

Cette condition nécessite :

- a.* Une longueur connue à une température connue ;
- b.* Un coefficient de dilatation également connu.

Pour ce dernier coefficient, et bien qu'en principe il puisse être quelconque, on a évidemment intérêt à le prendre le plus voisin possible du coefficient moyen des aciers les plus couramment employés dans la mécanique de précision et la fabrication des vérificateurs, qui est d'environ 11.10^{-6} , nombre proposé par

(1) Système anglais actuel ($62^{\circ} \text{F.} = 16^{\circ} \frac{2}{3} \text{C.}$).

(2) L'Angleterre paraît disposée à adopter le Système à 20° C.

le Bureau international des Poids et Mesures, et se rapprochant beaucoup de celui des calibres utilisés par la Section technique de l'Artillerie.

La suggestion de M. Marty, si elle paraît être intéressante comme normalisation nationale, au moins à titre provisoire, ne semble pas pouvoir être retenue pour une normalisation internationale, car elle n'admet pas les calibres Johansson comme calibres de concordance.

Les Établissements Johansson, en effet, qui sont au premier rang de la construction des étalons à bouts plans, accepteraient-ils jamais que leurs calibres n'aient de valeur qu'autant qu'ils auront satisfait au contrôle effectué au moyen d'autres étalons ?

Toutefois, ils accepteraient sans doute de se plier à une réglementation qui ferait disparaître l'incertitude dont se trouvent actuellement accusés leurs calibres, en ce qui concerne leurs coefficients de dilatation.

Le projet du Lieutenant-Colonel Graux (température de définition 0° C. et température de concordance 20° C., avec dilatabilité-type des calibres étalons industriels) paraît donner satisfaction dans l'ensemble.

V. — Conclusions du Rapporteur.

Des discussions qui ont eu lieu depuis le commencement de l'approbation en France (1901) de la température de définition de 0° C., il résulte que, depuis cette époque, les corrections à apporter aux calibres industriels, pour leur emploi dans les ateliers français d'une température de 15° C. à 25° C., ont parfois amené quelques difficultés.

Il importe donc de se mettre d'accord sur la température de définition des calibres étalons de concordance.

Par le fait même des transactions internationales sur les machines et les appareils, certaines habitudes se sont déjà créées en France à ce sujet sur l'emploi d'étalons à température de définition de 20° C. (1).

Les arguments scientifiques, exposés notamment par le Comité international des Poids et Mesures en 1901, conservent toute leur

(1) Industrie des roulements à billes, par exemple.

valeur. Mais il faut bien constater que la France ne peut pas rester une des seules nations à conserver ses étalons primitifs.

Le projet de norme internationale proposé par le Lieutenant-Colonel Graux le 5 mars 1928 représente une solution transactionnelle.

Si ce projet n'est pas adopté, l'Industrie française, se trouvant en présence d'une situation de fait, doit s'efforcer de faire abstraction de son point de vue de logique scientifique, pour se rallier au système d'ajustage à 20° C., avec choix de cette température de 20° C. comme température commune de définition et de concordance, adoptée pour des considérations pratiques, par les autres pays.

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

RAPPORT

DE

M. CH.-ÉD. GUILLAUME,

Directeur du Bureau,

SUR LA TEMPÉRATURE DE DÉFINITION
DES ÉTALONS A BOUTS.

En 1895, la Section technique de l'Artillerie de l'Armée française, ayant entrepris d'unifier les mesures dans son rayon d'action, adopta, non sans avoir pris l'opinion du Bureau international, le zéro comme température de référence, où tous les étalons devaient posséder leur valeur nominale. Cette décision était rationnelle. En effet, les étalons étant faits en acier double cloche, à dilatation très uniforme d'un échantillon à l'autre, ils conservaient le même rapport à toute température. Quant aux pièces de machines, ajustées sur ces étalons, elles possédaient, à la température de l'ajustage, la valeur des étalons à cette température, et ne pouvaient différer de la valeur nominale, à une autre température, qu'en raison de l'écart de dilatabilité qu'elles présentaient par rapport à ces derniers.

La question revint, en 1901, devant le Comité international, à la suite d'une proposition de Johnstone Stoney tendant à ce que les mètres normaux destinés au commerce et à l'industrie aient, à $16^{\circ} \frac{2}{3}$ (62° F.), la longueur du Mètre prototype à 0° .

A cette suggestion, M. Foerster, Président du Comité international, répondit : « Que ce n'est pas la première fois que des propositions du même ordre émanent de pays dans lesquels on commence à employer le Système métrique ».

Le procès-verbal de la séance ajoute : « En Allemagne également, par exemple, on a eu à résister à des mécaniciens qui demandaient, pour la pratique, la fixation d'une température normale différente de celle de 0° . Il faut prévoir, pour l'avenir, des démarches analogues, qui pourront venir soit de l'Angleterre, soit de la Russie, soit des États-Unis. Il (M. Foerster) croit qu'on ne saurait trop s'opposer à ces variations dans la définition de la

température de référence, et qu'il faut absolument s'en tenir à celle de la glace fondante. »

Une Note, à la rédaction de laquelle a collaboré M. A. Leman, du Bureau des Poids et Mesures d'Allemagne, a exposé à fond le point de vue des métrologistes. J'en citerai les conclusions :

« Le projet de provoquer une entente internationale sur le choix d'une température normale d'usage ne serait pas soutenu aujourd'hui, et se heurterait à d'insurmontables difficultés. Car, d'une part, la température normale de définition du Mètre a été acceptée dans tous les pays qui ont adopté depuis un certain temps le Système métrique, et, d'autre part, comme il vient d'être dit, cette idée ne pouvait avoir sa raison d'être qu'à une époque où la précision des mesures était de beaucoup inférieure à ce qu'elle est aujourd'hui; elle ne correspond plus à l'état actuel de la science des mesures et des arts techniques. »

Les auteurs admettent cependant une exception, mais prennent soin de la limiter dans les termes suivants :

« Les considérations qui viennent d'être développées montrent que dans l'intérêt de l'uniformité du Système métrique, et même dans celui de l'emploi des unités du Système dans les arts techniques, il faut déconseiller absolument l'adoption, par des dispositions légales ou réglementaires, de températures secondaires de définition des unités de longueur. Toutefois, on ne peut méconnaître que, *dans certains cas isolés*, il puisse y avoir quelque utilité à ajuster des étalons à une température quelconque, et, sur ce point, toute liberté devrait être laissée aux constructeurs; mais ce serait à la condition, *à laquelle aucune exception ne saurait être faite, de marquer, sur l'étalon représentatif de la longueur en question, la température d'ajustage, d'une façon bien apparente, non équivoque et indélébile* (1), en poussant l'approximation jusqu'aux centièmes de degré.

« A cette condition seulement, on pourra se repérer, à titre exceptionnel, sur une température différente du zéro du système centigrade, qui est la seule température légale à laquelle les unités métriques doivent être définies. »

Le Comité revint sur la question en 1909, et nomma une Com-

(1) Les passages soulignés le sont dans l'original.

mission composée de MM. Foerster, président, Benoit, rapporteur, Gautier, Gill et Guillaume. Dans le rapport présenté au Comité, on lit les passages suivants (1) :

« Les raisons ci-dessus indiquées ont déjà engagé le Bureau international des Poids et Mesures et un certain nombre d'Établissements nationaux à adopter la température de la glace fondante comme celle à laquelle les étalons d'acier destinés à l'industrie possèdent leur valeur nominale.

» En conséquence, et afin de permettre la réalisation d'une unification que le développement de la précision dans l'industrie rend urgente pour l'uniformité de la construction mécanique dans tous les pays, le Comité international des Poids et Mesures recommande instamment que la température de la glace fondante soit celle pour laquelle on ajuste désormais les étalons industriels le plus près possible de leur valeur nominale.

» Toutefois, en faisant cette déclaration, le Comité ne voudrait pas faire naître l'impression qu'il regarde la température zéro du Système métrique comme une institution fondamentale de la Métrologie en général. Mais la recommandation d'adopter cette température pour les ajustages perfectionnés de l'industrie est essentiellement dictée par la conviction que, sur cette base, existe déjà la plus grande probabilité d'arriver à une homogénéité rationnelle désirable entre les procédés métrologiques de la science et de l'industrie. »

Le même point de vue est développé dans une Note dont je suis l'auteur (2), et qui est publiée en annexe aux Procès-Verbaux de la session de 1909. J'en extrairai quelques passages :

« Nous avons vu, au surplus, qu'il ne peut résulter, pour l'industrie, aucun inconvénient majeur du fait que les organes des machines ne possèdent pas leur valeur nominale aux températures les plus usuelles. Il est rare qu'on ait à connaître cette valeur nominale rigoureuse; et il est sans importance que les dimensions rapportées au Mètre vrai soient, à la température même de fabrication d'une machine, celles qui sont portées sur les cotes du dessin. Même une très importante catégorie de

(1) Procès-Verbaux des séances, session de 1909, p. 111.

(2) CH.-ÉD. GUILLAUME, *L'état actuel de la question des étalons à bouts. Rapport préliminaire.*

machines industrielles, savoir tous les moteurs à vapeur ou à gaz, ainsi que toutes les machines frigorifiques, s'éloignent considérablement, dans leur fonctionnement, des températures ordinaires, de telle sorte que la concordance avec les cotes du dessin devient purement illusoire.

» Une objection pourrait être faite dans le cas de machines constituées par des organes de métaux divers. Si ces derniers possèdent leur valeur nominale à 0°, les écarts pourront devenir sensibles aux températures ordinaires.

» Il est aisé de répondre à cette préoccupation. D'abord, ainsi que nous l'avons vu, on évite aujourd'hui l'emploi de métaux de dilatabilité différente, pour la construction des organes de machines nécessitant un ajustage précis. Mais, même si des conditions particulières obligent à y avoir recours, il suffit d'ajuster les pièces à la température ordinaire sur les mêmes étalons, pour qu'au voisinage de cette température les dimensions de tous les organes soient en concordance. Les valeurs nominales différeront des valeurs vraies à 0°, pour les pièces faites en un métal différent de celui des étalons. Mais il en serait de même quelle que fût la température de définition, dès qu'on s'en écartera.

» En résumé, il y aurait des avantages certains et aucun inconvénient sérieux à ce que la température de la glace fondante fût adoptée comme température de définition des étalons industriels du Système métrique; et il est vivement à désirer que, en vue de donner aux industries mécaniques toute l'homogénéité dont elles sont susceptibles, une entente générale intervienne afin que tous les étalons industriels soient désormais ajustés à cette température. »

Le 1^{er} juillet 1911, le Bureau international envoya, à tous les Établissements chargés des vérifications et à tous les Bureaux de Poids et Mesures, une circulaire relative aux étalons à bouts; elle se termine par la phrase suivante :

« Comme il importe, dans la rapide extension que prennent les étalons à bouts, de créer une entente avant qu'aient pu se répandre et se multiplier des types d'une utilité contestable, et qui seraient ensuite remplacés par les modèles définitivement adoptés, nous prions les Établissements que la question intéresse, d'entrer sans retard en relations avec le Bureau international, en vue de participer à l'unification désirée. En échange, le Bureau tiendra ces Établissements au courant de tous les pro-

grès de la question, et leur communiquera les décisions auxquelles pourraient conduire les études et discussions à venir. »

La Conférence de 1913 s'occupa aussi de la question. Dans sa troisième séance, elle chargea le Comité international de préparer une déclaration relative aux étalons à bouts. A l'unanimité, le Comité accepta le projet suivant :

« Considérant que la précision des ajustages est devenue un facteur indispensable, à la fois du bon fonctionnement des machines, et de la fabrication en série, élément essentiel de la construction industrielle;

» Considérant la nécessité de rapporter à une seule échelle la matérialisation des dimensions exprimées par les cotés numériques des plans d'exécution;

» Considérant que cette condition ne peut être réalisée que par le choix d'une température unique d'ajustage, à laquelle les étalons industriels doivent représenter leur valeur nominale;

» Considérant que le Comité international, dans sa session de 1909, a déjà sanctionné, pour les ajustages, la température de la glace fondante, par l'adoption de laquelle l'action commune de plusieurs Établissements officiels avait déjà commencé l'unification désirée;

» La Conférence déclare :

» 1^o Approuver la fixation de la température de la glace fondante comme température d'ajustage à laquelle les étalons à bouts destinés au contrôle des fabrications industrielles doivent posséder leur valeur nominale;

» 2^o Inviter le Comité international à poursuivre les travaux de tous ordres destinés à assurer les perfectionnements possibles dans la construction, la détermination et l'emploi des étalons à bouts. »

La Conférence délibéra longuement sur ce texte, qu'elle finit par modifier comme suit :

« Considérant que la précision des ajustages est devenue un facteur indispensable, à la fois du bon fonctionnement des machines et de la fabrication en série, élément essentiel de la construction industrielle;

» Considérant que l'ajustage des pièces de machines est géné-

ralement obtenu en rapportant leurs dimensions à des étalons à bouts;

» Considérant la complexité de la question, surtout en raison de la diversité de dilatation des aciers employés à la construction de ces étalons;

» La Conférence :

» Invite le Comité international à faire poursuivre les travaux de tous ordres destinés à assurer les perfectionnements possibles dans la connaissance des propriétés métrologiques des aciers; ainsi que dans la construction, la détermination et l'emploi des étalons à bouts. »

La proposition fut adoptée par 13 voix contre 4.

Tel est le sens des délibérations du Comité international et de la Conférence générale sur la question qui nous occupe. Le Comité a toujours tenu fermement à la température de zéro. La Conférence, tout en étant, en principe, favorable à une semblable décision, s'est bornée à recommander qu'on étudiat la question, surtout en ce qui concerne les propriétés métrologiques des aciers (dilatabilité, stabilité), en vue d'arriver plus tard à une unification.

Nous allons donc faire un bref exposé des questions sur lesquelles la Conférence a plus spécialement dirigé l'attention du Comité.

Dilatabilité des aciers.

La dilatabilité des aciers à l'état naturel s'abaisse d'autant plus qu'ils contiennent plus de carbone. En voici quelques exemples :

Métal.	Dilatabilité à 20°.
Fer.....	11,74.10 ⁻⁶
Acier à 0,1 C.....	11,70 »
» 0,5 C.....	11,40 »
» 1,3 C.....	10,60 »
» 1,5 C.....	10,27 »
Fonte à 3,0 C.....	10,04 »

Ces nombres, empruntés à diverses sources, ne sont pas exactement comparables; cependant, ils constituent un appui pour ce qui vient d'être dit.

Pour les aciers Holtzer, marque double cloche, à 1,3 p. 100 de carbone, les déterminations faites sur trois barres obtenues en 1896, 1902 et 1913, ont donné, à 20° : 10,591, 10,610 et de 10,593. 10⁻⁶. Ces nombres sont presque identiques.

Il en est autrement lorsque les aciers sont trempés. Prenons, par exemple, des aciers double cloche, trempés apparemment de la même façon. Trois échantillons différents, étudiés aussitôt après trempé, ont donné les résultats : 12,610, 11,688, 12,648.

Deux des barres précédentes se sont tordues à la trempé. Leur dilatation a été mesurée sur les deux faces; on a trouvé, entre les faces, une dilatation différant respectivement de 0,04 et de 0,12. 10⁻⁶.

On a étudié ensuite la dilatabilité en fonction de l'étuvage à 100°; voici, par exemple, les nombres trouvés pour la dilatation d'une règle, après diverses durées d'étuvage :

Sans étuvage.....	12,648. 10 ⁻⁶
2 heures à 100°.....	12,809 »
10 »	12,931 »
25 »	12,881 »
100 »	12,858 »
250 »	12,830 »
1000 »	12,836 »

On voit donc que la dilatabilité d'un acier trempé augmente d'abord en fonction de la durée de l'étuvage, puis diminue, pour tendre vers une limite.

Lorsqu'une barre est stabilisée, on peut la réchauffer à diverses températures, puis la ramener à une température de repère. On trouve alors qu'elle s'est allongée d'autant plus qu'elle a été réchauffée davantage. La valeur de l'allongement est à peu près proportionnelle au carré de la température. Pour une barre d'acier Holtzer, l'allongement constaté après le passage à 100° est, à 15°, d'environ 5μ.

Les variations trouvées sur l'acier Holtzer, et qui se rencontrent dans tous les aciers ordinaires trempés, m'ont engagé à entreprendre l'étude d'aciers spéciaux. C'est ainsi que j'ai été conduit à étudier une barre d'acier rapide, à 18 pour 100 de tungstène et 5 pour 100 de chrome. Sa dilatabilité a été trouvée égale à 10,381. 10⁻⁶ à l'état recuit, tandis qu'à l'état trempé, elle était de 10,705. 10⁻⁶. Après 2500 heures d'étuvage à 100°, la

dilatabilité de la règle ne s'était pas modifiée, puisqu'elle a été trouvée égale à $10,703 \cdot 10^{-6}$.

Cet alliage semble donc préférable aux aciers au carbone, pour la construction des étalons de précision. Il se trempe à l'air, ce qui lui assure une bonne homogénéité dans toute son épaisseur. Son plus gros défaut est que, pour le tremper, il est nécessaire de le chauffer à une température très élevée, ce qui peut provoquer une détérioration des surfaces.

J'ai consacré aussi de nombreuses déterminations à l'étude d'une catégorie spéciale d'alliages : les aciers au chrome. Voici en quels termes je décrivais leurs propriétés dans un Rapport présenté à la Sixième Conférence générale des Poids et Mesures (1) :

« Des aciers au chrome et au carbone (acier CCR) ont donné des résultats pleins de promesses. J'ai été conduit à entreprendre leur étude détaillée, poursuivie avec la collaboration des Acieries d'Imphy, de la Société de Commentry-Fourchambault et Decazeville, à la suite de la constatation d'une très faible extension consécutive à la trempe, faite dans l'étude d'un de ces aciers, contenant 14,4 Cr et 2,4 C pour 100. Il semblait donc qu'en diminuant la proportion de chrome, on pût trouver une composition pour laquelle un acier trempé demeurerait invariable. Mais le problème s'est révélé, dans la réalité, plus complexe qu'il n'avait d'abord semblé; les deux composants, chrome et carbone, agissent sur les propriétés de l'alliage, qui n'ont pu, ainsi, être suffisamment caractérisées que par l'étude d'un grand nombre d'échantillons.

» Dans cette étude, le programme primitif a été élargi. On n'avait, en effet, envisagé jusque-là que les mouvements postérieurs à la trempe, et non point ceux que produit la trempe elle-même. Ces derniers sont de peu d'importance, lorsqu'il s'agit de pièces de forme simple, susceptibles d'être rectifiées après la trempe. Mais la trempe peut, en changeant les dimensions de pièces compliquées, les rendre inutilisables; ainsi, au delà de limites très étroites, les filetages ne peuvent pas être ramenés, par des retouches, à la valeur définitive de leur pas. Ici, l'absence de

(1) *Les récents progrès du Système métrique. Rapport présenté à la Sixième Conférence générale des Poids et Mesures, réunie à Paris, en septembre-octobre 1921 (Travaux et Mémoires, t. XVIII, p. 18).*

déformations par la trempe est donc la condition essentielle qui doit être imposée à l'acier.

» Il semblerait que les deux conditions n'en dussent former qu'une; pourtant, il n'en est pas nécessairement ainsi. Si, en effet, l'absence de changement par la trempe est due à une compensation par l'addition de deux effets inverses, on peut admettre que leur vitesse de régression soit différente, et que leur somme ne soit pas toujours nulle. Mes expériences ont conduit à de semblables constatations. On peut dire, néanmoins, que les aciers qui se modifient peu par la trempe possèdent une assez bonne stabilité après trempe.

» L'ensemble des résultats obtenus jusqu'ici peut être sommairement décrit comme il suit.

» Dans un diagramme dont les abscisses représentent les teneurs en chrome, et les ordonnées les teneurs en carbone, on peut tracer, en partant de l'origine (fer pur), une ligne sensiblement droite, passant par le point Cr 10, C 1,5, et séparant le plan en deux régions; au-dessus de la droite, les alliages s'étendent par la trempe; au-dessous, ils se contractent; sur la ligne même, ils ne changent pas. L'absence de changement apparaît ainsi comme dû à un équilibre entre les variations de sens contraires du carbure de chrome et du carbure de fer, ou d'un composé complexe, et cet équilibre peut se produire pour une série continue de compositions.

» La dilatabilité des aciers CCR part de celle du fer ($11,7 \cdot 10^{-6}$), et diminue graduellement à mesure que l'on élève simultanément le chrome et le carbone contenus dans l'alliage; dans l'acier à 15,3 Cr, 2,5 C, elle n'est plus à l'état recuit que $10,2 \cdot 10^{-6}$.

» D'un autre côté, entre l'état trempé et l'état recuit de ces aciers, la différence des dilatabilités est seulement de l'ordre de $0,2 \cdot 10^{-6}$.

» Ces propriétés sont importantes, puisqu'elles permettent le choix d'un alliage de dilatabilité prescrite, et qu'il est à peu près indifférent, à ce point de vue, de l'employer à l'un ou l'autre de ses deux états.

» Les aciers CCR, sans prendre la trempe aussi lentement que les aciers à haute teneur en tungstène, n'exigent pas, cependant, à beaucoup près, les vitesses de refroidissement qui assurent la trempe des aciers au carbone. Il en résulte ce fait, que l'on peut obtenir, dans leur emploi, des trempes bien plus homogènes que pour ces derniers. Ainsi, l'essai Brinell fait sur des cylindres

atteignant 10^{cm} de diamètre, dans une section droite éloignée des bases du triple du rayon, ont révélé une dureté constante de la périphérie à l'axe.

» Ces aciers présentent donc un ensemble de propriétés qui les rendent précieux, et les feront rechercher pour la construction des calibres industriels. En particulier, le fait que leur dilatabilité, à l'état recuit ou trempé, ne présente qu'un écart insignifiant, et peut être choisie arbitrairement entre des limites étendues, est de nature à résoudre les difficultés rencontrées jusqu'ici dans la fixation d'une température de définition des étalons à bouts. Diverses commissions d'unification ont déjà proposé, pour la dilatabilité normale des étalons, 10,5 ou 11 millièmes; les aciers CCR permettent de satisfaire à l'une ou à l'autre de ces prescriptions. »

On a donc, dans les alliages CCR, un métal de choix pour la construction des étalons industriels. Moins oxydables que les aciers ordinaires, beaucoup plus réguliers dans la trempe, susceptibles d'un beau poli, ils permettent l'établissement d'étalons invariables dans le cours du temps, et qui, surtout, possèdent une dilatation uniforme.

Nous verrons plus loin comment leur adoption aurait pu résoudre la question de la température d'ajustage.

Les étalons Johansson.

Ces étalons, à bouts plans, présentent l'avantage de permettre l'addition d'un certain nombre de pièces, de manière à atteindre toute longueur, entre certaines limites. Une série complète d'étalons comprend des pièces allant de micron en micron de 1^{mm},001 jusqu'à 1^{mm},009; de centième en centième de millimètre, de 1^{mm},01 à 1^{mm},50; de demi-millimètre en demi-millimètre, de 1^{mm},50 à 25^{mm}. Veut-on, par exemple, faire un étalon ayant 123^{mm},568, on additionnera : 100^{mm}, 20^{mm}, 1^{mm}, 1, 1^{mm},46, 1^{mm},008, et l'ajustage est si parfait qu'on est certain de ne jamais commettre d'erreur égale à 0^μ,5.

Mais la dilatabilité des étalons Johansson est variable et mal connue. Elle est comprise entre 11,0 et 13,5 millièmes, sans que rien n'indique les limites entre lesquelles oscille celle d'un étalon donné. On estime donc que les étalons Johansson doivent être définis à une température d'usage.

Situation actuelle.

Revenons en arrière : afin de se rendre compte des motifs qui ont engagé la Commission du Mètre à choisir la température de la glace fondante pour définir l'étalon de longueur, il faut pouvoir se représenter l'incertitude qui régnait à la fin du XVIII^e siècle sur la température, aussitôt qu'on s'éloignait d'un point fixe.

A cette époque, on ne possédait pas encore la définition de Gay-Lussac, rapportant la température au thermomètre à air; le thermomètre à mercure même n'était pas d'un usage exclusif, et le degré du thermomètre à alcool était défini par des comparaisons faites à une température quelconque servant à repérer son échelle. On peut imaginer l'ordre d'incertitude qui en résultait, en remarquant que, pour un thermomètre à toluène déterminé à 0° et à 100°, la correction est, à 25°, de 3 degrés environ. De plus, les méthodes d'étude des thermomètres à mercure n'étaient pas encore élaborées. J'ai, par exemple, comparé autrefois des thermomètres de précision, faits en Angleterre peu avant l'époque où le yard fut reconstitué. Les écarts pour la température de définition de ce dernier (62° F.) dépassaient alors le degré.

Il faut avoir ces données présentes à l'esprit pour comprendre combien les créateurs du Système métrique furent bien inspirés en prenant comme température normale celle de la glace fondante. Cette pratique s'est poursuivie dans les pays possédant depuis longtemps le Mètre, bien que l'étude des thermomètres soit aujourd'hui complètement élaborée.

Mais, dans les contrées où le Système métrique est apparu tardivement, et où, même, il n'est pas encore obligatoire, comme aux États-Unis, ce même état d'esprit n'existait pas. En Amérique, par exemple, on avait, comme température normale, celle du yard; et sans se douter de l'incertitude qui régnait sur elle, on était très disposé à choisir une température usuelle. Ayant adopté le système centigrade, il était naturel que l'on prit 20° comme température de définition des étalons. Ce choix fut en grande partie inconscient; mais aujourd'hui, la chose est régularisée par les décisions de Commissions importantes, et le fait que la prodigieuse industrie des États-Unis, où la normalisation est très poussée, n'a pas hésité à adopter 20°, donne à cette température de définition une force presque irrésistible.

En Allemagne, on avait d'abord choisi le zéro, comme on peut

le conclure, de la Note citée de M. Færster, écrite avec l'assentiment de la Normal-Eichungs-Kommission; mais, avec l'avènement des étalons Johansson, et sous l'influence de l'industrie des États-Unis, on renonça au zéro, et maintenant, comme l'affirme M. Kösters, il est impossible de faire revenir les industriels allemands à cette température.

La France, de son côté, a, jusqu'à ces derniers temps, tenu ferme pour la température de 0°, qu'elle avait, la première, préconisée.

Il a été dit, dans l'introduction aux Rapports sur cette question, que les divergences de vues ne semblent pas avoir disparu en Grande-Bretagne, et que, pour cette raison, l'expression d'une opinion unanime dans ce pays ne pouvait pas être formulée à l'heure actuelle.

Les autres pays, sans être aussi uniformisés que le sont les États-Unis d'Amérique et l'Allemagne, ont cependant une grande majorité d'industriels pour lesquels l'ajustage normal est à 20°.

Il est donc certain que, quelles que soient les opinions que l'on puisse avoir sur l'intérêt de l'ajustage à 0°, ou à une température usuelle, l'avènement des étalons Johansson, en acier ordinaire trempé, et antérieurement à l'apparition des aciers CCR, a entraîné un groupe important de pays à adopter 20°. Dans ces conditions, la concordance internationale ne pouvait être obtenue que par la généralisation de cette température d'ajustage.

Une Conférence internationale de Normalisation eut lieu à Prague en octobre 1928. Voici les passages du Rapport de la Délégation française, relatifs à l'unification internationale de la température de définition :

« Le point de vue français d'une température de définition de 0° avait été soutenu dans deux articles signés, l'un de M. Pérard, l'autre de M. le capitaine Nicolau, qui avaient été communiqués avant la Conférence à tous les Comités de normalisation étrangers. Il avait également fait l'objet de discussions au cours des échanges de vues préliminaires mentionnés plus haut, mais sans que ce point de vue puisse prévaloir.

» Au cours de la Conférence, on fit remarquer qu'à l'heure actuelle la France est la seule à avoir conservé la température de 0°, tous les autres pays, à l'exception de la seule Angleterre, ayant adopté 20°. Quelle que soit la valeur des arguments d'ordre moral émis en faveur de 0°, aucun pays n'accepterait actuelle-

ment d'abandonner 20°, et l'on se demande ce que va faire la France, le maintien d'une divergence entre les différents pays sur la valeur de la température de définition ne pouvant que rendre illusoire l'unification internationale des systèmes d'ajustements.

» M. Outin rappelle alors que si la France a adopté 0°, c'est sur la recommandation expresse du Comité international des Poids et Mesures. Il est très regrettable que les autres nations n'aient pas suivi à cette époque les mêmes recommandations, et qu'un accord international ne soit pas intervenu sur ce point, il y a une dizaine d'années, lors de l'établissement des premiers systèmes d'ajustements.

» La délégation française ne veut pas rouvrir le débat sur la question théorique des avantages et des inconvénients des deux solutions, débat qui a précédé la présente Conférence. Du point de vue pratique, on peut dire que les deux systèmes sont équivalents.

» C'est pourquoi la délégation française, désireuse avant tout d'aboutir le plus rapidement possible à l'unification internationale des systèmes d'ajustements, se déclare prête à adopter telle température de définition qui sera préconisée par la Sous-Commission, pourvu que cette Sous-Commission parvienne à l'unification souhaitée. »

Cette déclaration met fin à la dualité. En renonçant au zéro comme température d'ajustage, qu'elle avait adoptée la première, et en se ralliant à 20°, la Commission française a donné l'exemple d'un esprit de sacrifice et de conciliation remarquable, et qui lui fait grand honneur. Désormais, si l'on en excepte la Grande-Bretagne, sur laquelle les renseignements précis font encore défaut, tous les pays auront adopté la température de définition de 20°, ou, tout au moins, seront prêts à s'y rallier.

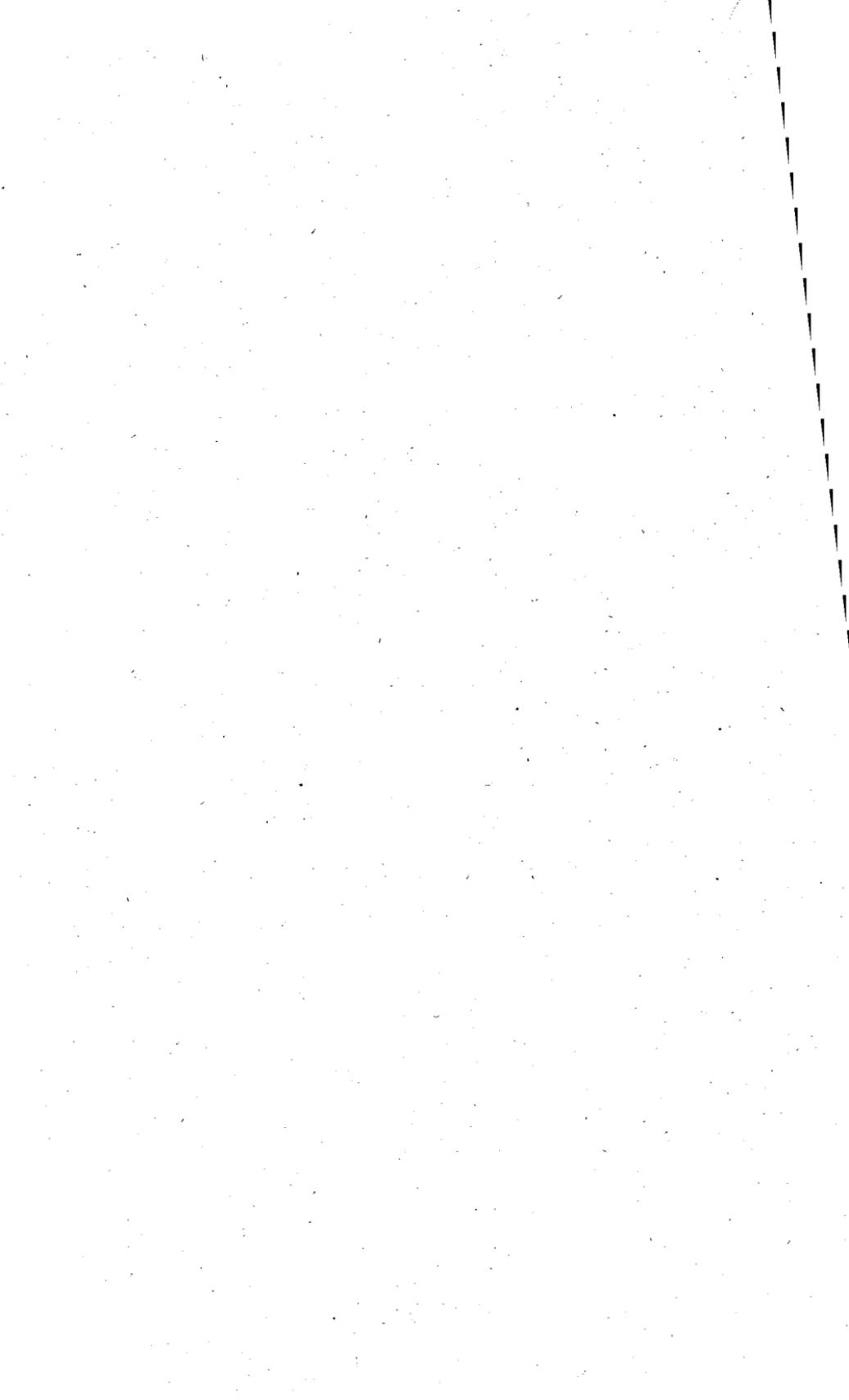


ANNEXES AUX PROCÈS-VERBAUX

DE LA SESSION DE 1929

DU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



SUR

UNE LAMPE A CADMIUM D'UN NOUVEAU TYPE (1).

Par MM. H. NAGAOKA et Y. SUGIURA.

(Note présentée par M. TANAKADATE)

1. *Aperçu historique.* — Aussi bien pour les problèmes spectroscopiques que pour la comparaison du Mètre étalon avec la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, il est très important d'obtenir une source de lumière convenable. Il ne sera pas inutile de jeter un coup d'œil sur l'histoire de la lampe à cadmium, non plus que sur celui de la détermination du Mètre en longueurs d'onde, l'objet de ce Mémoire étant de décrire une nouvelle lampe à cadmium.

En 1893, M. Michelson (2), par son interféromètre, obtint la comparaison directe de la longueur d'onde de la raie du cadmium avec le Mètre étalon du Bureau international, à Sèvres. Il a fait ressortir les grands avantages de l'emploi, comme source de lumière, des vapeurs métalliques sous faible pression, excitées par un courant électrique. On reviendra plus loin sur la théorie de la largeur des raies ainsi obtenues; disons seulement que, pour avoir des raies fines, on est amené à employer une vapeur de forte masse atomique sous faible pression et à une température aussi peu élevée que possible. La vapeur de cadmium émet vers 300°, dans le spectre visible, quatre radiations, dont une

(1) Ce travail a été fait à l'Institut des Recherches physiques et chimiques de Tokyo, avec l'aide financière du Ministère du Commerce et de l'Industrie.

(2) A. MICHELSON et J.-R. BENOIT, *Détermination expérimentale de la valeur du Mètre en longueurs d'ondes lumineuses (Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures, t. XI, 1894)*.

rouge, très fine et non accompagnée de satellites (c'est, du moins, ce qu'on suppose sans en être absolument sûr); elle donne des interférences observables jusqu'au numéro d'ordre 400 000.

D'après Michelson,

$$1 \text{ mètre} = 1\,553\,163,5\lambda, \quad \lambda = 6\,438,472\,2\text{Å}.$$

Afin d'obtenir les radiations à partir de vapeurs métalliques, on se sert du tube de Michelson ayant la forme d'un H. Après y avoir placé un peu de métal, on fait le vide dans le tube et on le ferme à la lampe. Pour l'employer, il faut le chauffer dans une étuve à une température convenable, au voisinage de 300°. Comme source de courant électrique, on peut se servir d'une bobine d'induction, ou mieux d'un courant alternatif; une tension de 2000 volts suffit, et l'intensité du courant qui traverse le tube n'est que de quelques milliampères. D'après M. Fabry (1) et M. Watanabe (2), l'emploi des tubes à cadmium n'est pas très commode ni très agréable. Ces tubes ne sont généralement pas de longue durée; leur préparation est fastidieuse et leur éclat n'est souvent pas aussi grand qu'on pourrait le désirer.

En poursuivant les travaux de Michelson, qui fournissaient déjà une base sûre au point de vue des valeurs absolues, MM. Benoit, Fabry et Perot (3) ont réalisé, par la méthode des franges de superposition de l'interféromètre Perot-Fabry, la nouvelle détermination du Mètre en longueurs d'onde, en employant le tube à cadmium de Michelson. Le résultat de ces mesures est le suivant :

$$1 \text{ mètre} = 1\,553\,164,13\lambda, \quad \lambda = 6\,438,469\,6\text{Å} \text{ (4)},$$

(1) Ch. FABRY, *Les applications des interférences lumineuses*, Paris, 1923, p. 13.

(2) N. WATANABE, *Proc. Imp. Acad. Japan*, IV, 1928, n° 7.

(3) J.-R. BENOIT, Ch. FABRY et A. PEROT, *Nouvelle détermination du rapport des longueurs d'onde fondamentales avec l'unité métrique (Travaux et Mém. du Bureau international des Poids et Mesures, t. XV, 1913)*.

(4) Ces nombres doivent subir une très petite correction en raison des variations des étalons d'usage et d'une réduction un peu différente de celle qu'on avait admise pour la température. Les nombres corrigés sont :

$$1 \text{ mètre} = 1\,553\,163,96\lambda, \quad \lambda = 6\,438,470\,3\text{Å}.$$

pour la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, mesurée dans l'air à 15° et sous la pression normale.

Dans la session de 1907 de l'Union astronomique internationale, on décida finalement que cette radiation serait prise comme étalon fondamental en spectroscopie et en métrologie; sa longueur d'onde est celle obtenue par MM. Benoît, Fabry et Perot. A l'assemblée générale de l'Union, tenue à Cambridge en 1925, les spécifications suivantes ont été adoptées provisoirement pour la production de l'étalon primaire de longueurs d'onde :

« L'étalon primaire de longueurs d'onde, 6438,4696 du cadmium, sera fourni par un courant électrique à haute tension dans un tube à vide portant des électrodes intérieures. La lampe sera maintenue à une température ne dépassant pas 320° et devra donner des différences de marche d'au moins 200 000 longueurs d'onde. La valeur efficace du courant d'excitation ne dépassera pas 0,05 ampère. A la température de la salle, le tube ne sera pas lumineux quand il sera relié au circuit habituel à haute tension. »

Quand on emploie le tube à cadmium de Michelson, il est très malaisé d'avoir une température constante pour le système entier des appareils dans une pièce du laboratoire, parce qu'on doit chauffer le tube dans une étuve à une température voisine de 300°. D'ailleurs, lorsqu'on excite le tube à cadmium ou à krypton par un courant électrique à haute tension, il est bien difficile de produire une raie fine à cause du champ électrique; cette question sera discutée plus loin. Pour éliminer ces défauts, une lampe ⁽¹⁾ à arc dans le vide a été construite, qui se compose de la cathode de Wehnelt modifiée, constituée par du charbon avec des oxydes métalliques, et de l'anode du tube en quartz fondu avec du cadmium à l'intérieur. L'intensité de la lumière produite par la lampe est assez grande, mais il faut appliquer 500 volts pour obtenir l'arc stable; une dynamo de 500 volts n'est pas toujours installée dans un laboratoire ordinaire. Quant à l'intensité du courant, elle est de quelques ampères, et peut être réglée au moyen d'un rhéostat; à mesure que l'on augmente la puissance électrique consommée par la lampe, on élève la température, et l'on fait croître l'éclat intrinsèque; mais l'évaporation du cadmium augmente aussi, et la lampe n'est pas de très longue

(1) H. NAGAOKA et Y. SUGIURA, *Astrophys. Journ.*, t. LVII, 1923, p. 86.

durée. Les raies d'émission de l'arc dans le vide sont naturellement plus fines que celles de l'arc dans l'air; quand on refroidit la lampe dans l'eau, l'effet de la température peut être négligeable. En tout cas, cette lampe n'est pas parfaite, au point de vue du fonctionnement, comme source de lumière monochromatique.

2. *Causes de variation de la longueur d'onde.* — Pour faire un projet de lampe convenable comme source de lumière, en vue de mesures de haute précision, par exemple de la comparaison de longueurs d'onde avec le Mètre étalon, il faut se rappeler les conditions suivantes :

a. La lampe ne doit être affectée d'aucune cause de variation de la longueur d'onde;

b. La raie de la lampe doit être aussi fine, pure et intense que possible;

c. La lampe doit pouvoir fonctionner, au moins pendant une observation complète;

d. L'emploi de la lampe doit être commode et pratique dans une installation ordinaire de laboratoire.

On mentionnera les diverses influences qui peuvent produire de semblables variations de longueur d'onde dans les spectres d'émission.

La première cause de variation consiste dans l'effet du pôle de l'arc, qui se fait sentir très inégalement sur les diverses raies, spécialement dans l'air. Il est très probable que cet effet se ramène à l'influence d'un champ électrique (effet Stark) sur le rayonnement ⁽¹⁾. Au voisinage des électrodes, le champ électrique est intense. Il se produit un phénomène semblable près de l'enveloppe du tube de Geissler. Il faut alors, dans la lampe, éliminer autant que possible le champ électrique.

Une deuxième cause de variation qui a été mise nettement en évidence est l'effet de pression ⁽²⁾. Le déplacement a toujours lieu vers les grandes longueurs d'onde lorsque la pression augmente. Pour une lampe dans le vide, en diminuant suffisam-

⁽¹⁾ H. NAGAOKA et Y. SUGIURA, *Journ. of Phys.*, t. VIII, 1924, p. 45.

⁽²⁾ HUMPHREYS et MOHLER, *Astrophys. Journ.*, t. III, 1896, p. 114; t. VI, 1897, p. 169.

ment l'intensité du courant électrique, on peut négliger cet effet de pression.

Une autre action, due également à l'influence des molécules voisines, est l'effet d'impureté (1). Il consiste dans le fait que la longueur d'onde est légèrement altérée lorsqu'une raie est émise par un corps qui n'entre qu'en très faible proportion dans le gaz lumineux, par exemple dans une lampe à mercure contenant un peu de cadmium. Il faut donc purifier parfaitement le cadmium de la lampe, afin d'éliminer les effets d'impureté.

Enfin, nous dirons quelques mots de la largeur des raies spectrales.

Soit une raie simple, c'est-à-dire n'ayant aucun satellite (on ne peut pas dire encore si la raie rouge du cadmium a des satellites ou non). On se servira de cette radiation pour éclairer un appareil interférentiel, et l'on augmentera progressivement la différence de marche; la netteté des franges décroît progressivement. Si λ est la longueur d'onde de la radiation étudiée, et $d\lambda$ sa largeur

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{1}{N},$$

où N est l'ordre d'interférence limite; le nombre N mesure donc le coefficient de finesse de la raie. D'après la théorie cinétique des gaz, on peut écrire

$$N \sim \sqrt{\frac{\theta}{M}},$$

où θ est la température absolue, et M la masse atomique des particules lumineuses. Par conséquent, il faut obtenir une lampe qui fonctionne à une température aussi basse que possible, tout en émettant une radiation assez intense.

3. *Nouvelle lampe à cadmium.* — Quand on excite la lampe, notamment par des courants électriques à haute tension, il est bien difficile d'éliminer complètement l'effet du champ électrique; il est donc d'un grand intérêt de se placer dans les conditions où la raie est aussi fine que possible. Il faut d'ailleurs, pour la lampe, satisfaire aux quatre conditions sur lesquelles nous avons déjà attiré l'attention dans le paragraphe 2.

(1) K. BURNS, *Comptes rendus*, t. CLVI, 1913, p. 1976.

La lampe employée dans ce but est celle que représente la figure 10.

Le creuset V de 15^{mm} de diamètre et de 35^{mm} de longueur, en

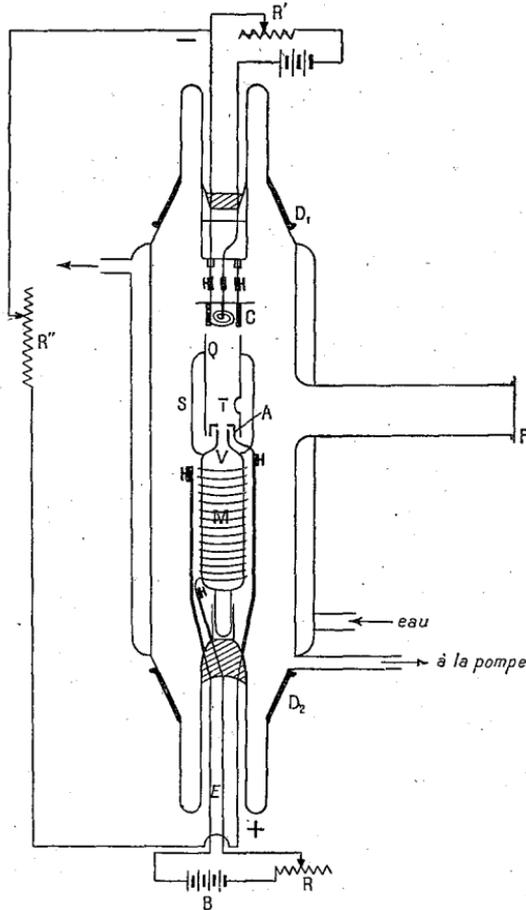


Fig. 10. — Lampe Nagaoka-Sugiura.

quartz fondu, est entouré par un fil M de molybdène ou de tungstène, et peut être chauffé par le courant électrique E. Il est facile de le porter à telle température que l'on désire au moyen

de la batterie B, en agissant sur la résistance R; on peut alors produire des nuages de vapeur de cadmium dans le cylindre en quartz fondu Q, suspendu par S, lequel a une ouverture T laissant passer la lumière vers la fenêtre F. Par ce cylindre Q, on peut concentrer les particules, en vue d'obtenir une grande intensité lumineuse, et par le chauffage électrique M, on peut régler facilement la densité de vapeur du cadmium, c'est-à-dire l'intensité de la lumière. La cathode C est une cathode de Coolidge, qui se compose du filament de tungstène enroulé en cône, afin de concentrer les courants électroniques à travers les nuages de vapeur de cadmium vers l'anode en molybdène A. Le courant électrique dans le filament est réglable par la résistance R'; pour la densité de courant électronique, il est aussi possible de la régler par la résistance R'' dans le circuit principal. L'intensité de la lumière dépend surtout de la densité du courant électronique. La tension de 100 volts à courant continu et le courant électronique de 0,3 ou 0,4 ampère entre la cathode et l'anode sont suffisants pour exciter les vapeurs de cadmium et pour obtenir la lumière stable et intense. A cette condition, la lampe est d'assez longue durée (environ 3 heures). Le tube est construit en verre double; il est refroidi par une circulation d'eau.

Il faut d'abord faire le vide très soigneusement dans le tube au moyen d'une pompe à condensation, parce que le filament de tungstène s'oxyde facilement. Lorsqu'on a un bon vide, en amenant le filament de la cathode à l'état incandescent, on ferme le courant électrique E sur le creuset V, et on l'augmente jusqu'au moment où l'on voit un peu de cadmium se condenser sur la paroi intérieure du cylindre Q. On applique alors la tension de 100 volts avec une grande résistance R'', et l'on augmente le courant électronique, en partant de celui que donne la lumière faible du cadmium, de façon à porter l'intensité de cette lumière au point désiré, par l'emploi de la résistance R''.

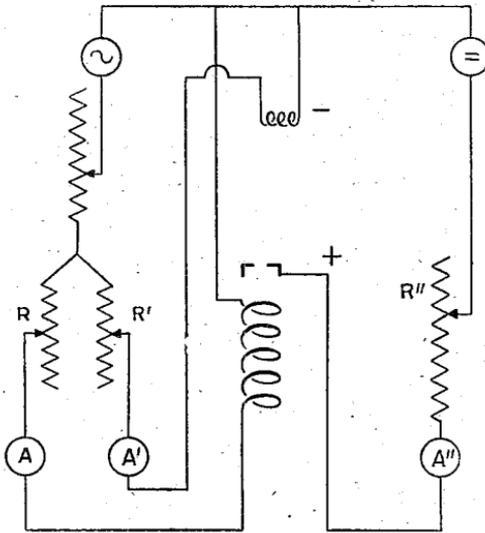
Voici un exemple de l'installation électrique, qui dépend de la dimension du filament de la cathode, du creuset et du fil M pour le chauffage de ce dernier.

En portant à 100 volts le courant continu entre la cathode et l'anode, et à 100 volts le courant alternatif servant à chauffer le filament de tungstène de 0^{mm},15 de diamètre, et le creuset de 15^{mm} de diamètre et de 35^{mm} de longueur, au moyen d'un fil

de molybdène de 0^{mm}, 2 de diamètre, on obtient les valeurs suivantes :

R, résistance maxima.....	100 ohms
I, courant maximum.....	4 ampères
R', résistance maxima.....	50 ohms
I', courant maximum.....	6 ampères
R'', résistance maxima.....	1000 ohms
I'', courant maximum.....	1 ampère

Il sera pratique de diviser R et R' en deux, et de rendre les



ig. 11. — Diagramme montrant la disposition des conducteurs pour le chauffage de la lampe.

circuits parallèles, comme le montre le schéma de la figure 11. Lorsqu'on a un bon vide dans le tube, on chauffe le filament par le courant électrique d'environ 3, 5 ampères, et ensuite le creuset par celui de 1,7 ampère en agissant en même temps sur les résistances R et R'. Au bout de quelques minutes, on observe une légère condensation du cadmium sur le cylindre Q. On augmente alors le courant sur le filament, en diminuant la résistance R'; dans ce cas, le courant de chauffage diminue automati-

quement, parce que les circuits sont montés en parallèle. On fait alors passer le courant continu à la tension de 100 volts entre les électrodes; on aperçoit immédiatement la lumière du cadmium, qui est violette et faible. L'accroissement des deux courants électriques permet d'obtenir l'état final, c'est-à-dire le courant électronique de 0,3 ou 0,4 ampère.

On peut d'ailleurs détacher la cathode et le creuset du tube, par les rodages D_1 et D_2 , et rétablir le fonctionnement de la lampe. Le fil M pour le chauffage du creuset étant en molybdène, on peut le laver en le plongeant dans l'acide. Pour introduire le cadmium dans le creuset, on emploie un entonnoir en verre pyrex



Fig. 12. — Entonnoir en verre pyrex servant à introduire le cadmium dans le creuset.

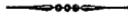
de la forme que représente la figure 12, et que l'on chauffe, ainsi que le creuset, avec la charge de cadmium, dans la flamme d'un brûleur de Bunsen.

4. *Examen expérimental de la lampe.* — Quand on excite la lampe de la manière indiquée au paragraphe 3, le cadmium n'est pas lui-même l'anode; on peut donc négliger l'effet de pôle dans cette lampe. Elle fonctionne dans le vide, et se trouve refroidie par une circulation d'eau, satisfaisant à la première condition du paragraphe 2. Du moment qu'on peut régler la densité de vapeur du cadmium et le courant électronique comme on veut, la raie de la lampe pourra être aussi fine, pure et intense qu'il est nécessaire. Dans les conditions normales (tension de 100 volts à courant continu, courant électronique de 0,3 ampère, température du creuset environ 300°), la lampe dure environ 3 heures, ce qui est suffisant pour l'observation complète que nécessite la comparaison du Mètre avec la longueur d'onde. D'ailleurs, l'emploi est très simple et commode au point de vue de l'installation ordinaire au laboratoire.

Nous avons examiné la lampe par l'interféromètre à distance variable de Perot-Fabry, construit par Hilger, et vu nettement

les franges de la raie rouge du cadmium jusqu'à 200^{mm}, distance maximum de l'appareil de Hilger.

Nous avons fait une observation qu'il paraît utile de noter. Lorsqu'on modifie graduellement la distance des deux surfaces argentées de l'interféromètre, on constate une variation périodique de la netteté des franges extérieurement ou intérieurement. Il est donc probable que la raie rouge du cadmium n'est pas simple et peut être accompagnée de satellites comme les autres raies de ce métal. Cette question mérite d'être examinée plus minutieusement.



ÉTALONNAGE D'UN FIL JÀDERIN DE 25 MÈTRES EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE DE LA RAIE ROUGE DU CADMIUM;

Par MM. NOBORU WATANABE et MONSUKU IMAIZUMI.

(Note présentée par M. TANAKADATE)

Les principes de la méthode sont les mêmes que ceux décrits dans une précédente publication ⁽¹⁾; mais les procédés employés sont notablement simplifiés.

Principe de la multiplication de longueurs fournies par un étalon interférentiel. — La longueur d'un étalon interférentiel, dont les dimensions peuvent être mesurées par l'observation directe en longueurs d'onde, est forcément limitée. Pour déterminer le nombre d'ondes contenues dans un étalon de grande dimension, celui d'un étalon plus court doit être multiplié par une méthode particulière. MM. Benoit, Fabry et Perot ont adopté la frange blanche de Brewster ⁽²⁾ ou l'inclinaison d'un étalon ⁽³⁾. La première méthode ne peut pas être employée au delà de la triplication, à cause de la perturbation produite par les rayons parasites. La seconde méthode est en défaut pour un étalon de 50^{cm} ou plus.

Nous avons perfectionné la première méthode en rejetant les rayons inutiles. Dans la figure 13, A, B, A' et B' représentent les surfaces réfléchissantes de deux étalons, dans lesquels l'un d'eux

⁽¹⁾ N. WATANABE et MASAKI, *Proc. Imp. Acad.*, III, 1927, p. 485.

⁽²⁾ J.-R. BENOIT, CH. FABRY et A. PEROT, *Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures*, t. xv, 1913.

⁽³⁾ CH. FABRY et H. BUISSON, *Journal de Physique*, 5^e série, t. ix, 1919, p. 189.

a une longueur double de l'autre, les surfaces étant parallèles. Chaque surface réfléchissante est divisée en trois bandes horizontales. Les lignes épaisses de la figure indiquent la portion de surface pourvue d'une couche opaque d'argent; les lignes interrompues représentent les plans argentés légèrement, les lignes fines les surfaces non argentées. Un rayon de lumière blanche

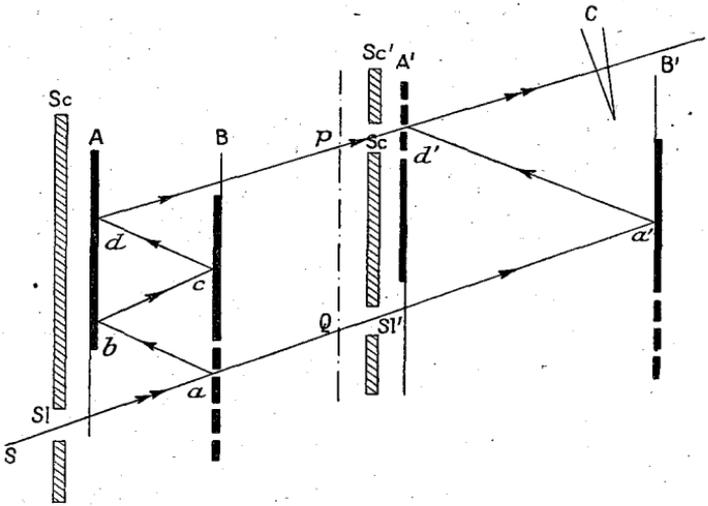


Fig. 13. — Diagramme de la multiplication des longueurs par la méthode interférentielle.

parallèle émanant de la source S est divisé en deux parties en a . La première partie se réfléchit sur a , b , c , et d successivement, la seconde passe au travers de la surface a et se réfléchit sur a' et d' ; puis les deux parties se rejoignent en d' , et continuent leur chemin vers C, où un compensateur (lame étalon) mesure la différence de marche. Afin d'éliminer complètement les rayons inutiles, des écrans Sc et Sc' avec les fentes Sl et Sl' sont placés comme le montre la figure. L'inclinaison du rayon doit être changée pour un rapport de multiplication différent.

Nous avons mesuré directement le nombre d'ondes contenues dans un étalon de $6^{\text{cm}},25$ et cette longueur a été multipliée 400 fois pour effectuer la mesure de l'étalon de 25^{m} , en interposant les deux étalons de 1^{m} et 5^{m} . Leur multiplication a été

une fois de 16, et deux fois de 5. L'aire des surfaces réfléchissantes est de 5^m en hauteur et de 3^m en largeur. La hauteur du faisceau pour le rapport de multiplication 16 est seulement de 3^{mm}, espace suffisant pour observer la frange en lumière blanche. Cette frange est très lumineuse. Même dans le cas de la comparaison d'étalons de 5^m et de 25^m, on peut mesurer aisément le vingtième d'une demi-longueur d'onde, et l'on peut observer 5 franges d'ordre supérieur; les franges correspondant à $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, ..., $\frac{1}{6}$, sont visibles dans de bonnes conditions atmosphériques. Il semble possible d'étendre notre méthode jusqu'à quelques centaines de mètres sans trop de difficultés.

En raison des perturbations atmosphériques, la frange blanche a un mouvement de va-et-vient dans le compensateur, surtout dans la détermination des étalons de 5^m et de 25^m; mais elle revient à une position à peu près fixe au bout de quelques secondes. Ce va-et-vient est réduit à 10 ou 15 demi-longueurs d'onde, si l'on protège le parcours du faisceau au moyen d'un tube formé d'une mince tôle de fer.

La frange blanche, dans le compensateur, montre simplement la différence de marche. Pour déterminer lequel des chemins est le plus long, une lame mince de mica est placée en P ou Q. Si la frange se déplace plus fortement lorsque la lame est située en P, l'étalon AB est plus long que la moitié de A'B', et vice versa. L'amplitude du déplacement de la frange permet de déterminer son ordre d'interférence, si l'épaisseur de la plaque de mica est mesurée auparavant.

M. Y. Väisälä a fait des expériences au moyen d'une méthode semblable jusqu'à 3^m et au delà, en utilisant la diffraction (1).

Construction des étalons interférentiels. — Les étalons de 6^m, 25 et de 1^m étaient ceux qui avaient été utilisés dans la détermination précédente. Les lames de verre appartenant aux étalons de 5^m et de 25^m sont fixées sur une plaque de laiton en U, assujettie sur des piliers en béton, que l'on a préalablement érigés dans la position présumée. L'argenteure est épaisse, afin de produire des réflexions multiples, spécialement pour l'étalon de 6^m, 25. La détermination des anneaux obtenus au moyen

(1) Y. VÄISÄLÄ, *Die Anwendung der Lichtinterferenz zu Längenmessungen auf grösseren Distanzen Helsinki, 1923.*

du bleu et du violet du cadmium est un peu difficile, et la méthode des coïncidences laisse quelque doute. Pour décider de la coïncidence, un étalon de la moitié de la longueur (environ $3^{\text{cm}}, 125$), avec des plans de verre légèrement argentés, est comparé par notre méthode au moyen de franges blanches.

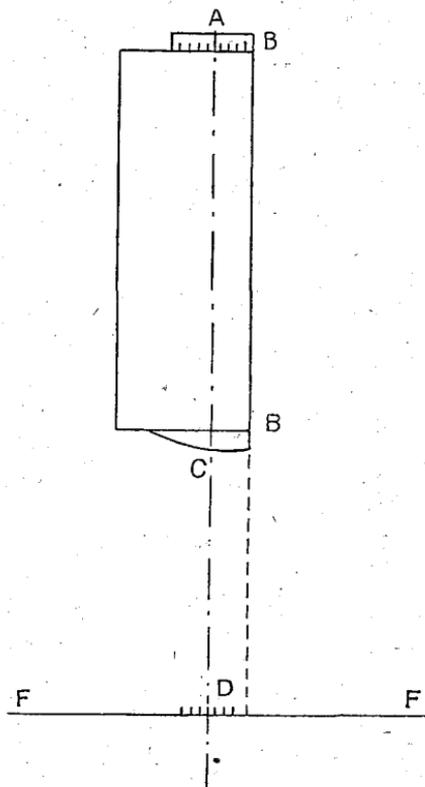


Fig. 14. — Micromètre employé dans la détermination d'un étalon de 25^{m} .

Pour la détermination d'un étalon de 25^{m} , ainsi que d'un fil Jäderin, une partie du pilier marquant l'intervalle de 25^{m} est entaillée au-dessous de la plaque de verre pour laisser passer le fil. Un micromètre oculaire A, dont la division est de $0^{\text{mm}}, 1$, et une lentille plan convexe C, sont fixés avec du baume

du Canada contre les faces supérieure et inférieure de la plaque de verre BB, comme le montre la figure 14.

La lentille produit des images réelles des divisions du micromètre, environ 8^{cm} au-dessous de sa surface inférieure, en D. Ces images sont employées comme repères, et les divisions du fil Jâderin pratiquées sur la pièce FF sont amenées en coïncidence avec ces images, afin de permettre la comparaison. Les distances entre ces images et la surface réfléchissante sont déterminées préalablement.

Pour économiser l'espace, les étalons sont disposés côte à côte, au lieu d'être placés bout à bout. Le faisceau de lumière blanche est renvoyée du premier sur le second, par réflexion sur deux miroirs plans. Le parallélisme des étalons est réglé en tournant les miroirs.

Méthode générale d'étalonnage. — On commence l'étalonnage en mesurant, pour l'étalon de 6^{cm},25, les diamètres des anneaux correspondant aux raies rouge, verte et bleue, fournies par une lampe du type Michelson. Les comparaisons des étalons de 6^{cm},25 à 1^m, 1^m à 5^m, et 5^m à 25^m, et les lectures du fil Jâderin au micromètre viennent ensuite. Les mêmes opérations sont répétées dans l'ordre inverse au retour. L'observation totale peut être faite avec quelque pratique en 25 minutes. Le nombre de longueurs d'onde contenues dans l'étalon de 25^m sous les conditions normales, est obtenu aisément en partant des nombres observés, et en ajoutant les corrections pour la température, la pression, l'humidité et la proportion d'acide carbonique au voisinage de l'étalon de 6^{cm},25, et en tenant compte des différences de température des étalons de 6^{cm},25 et de 25^m. Ajoutant à ce nombre la constante A et les lectures au micromètre du fil Jâderin, on obtient la longueur de ce dernier.

Conclusion. — La longueur de 25^m a été mesurée en fonction de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, par une méthode simple, dans un très court intervalle de temps. Cette méthode peut être étendue à quelques centaines de mètres sans trop de difficultés. De petites variations de longueur peuvent être décelées de temps en temps, au moyen des positions des franges en lumière blanche dans le compensateur. Une application de cette méthode sera, entre autres, la détermination de déformations imperceptibles de la croûte terrestre.

EXEMPLE. — Détermination d'un fil d'invar en partant d'un étalon de $6^{\text{cm}}, 25$. Nombre de demi-longueurs d'onde de la raie rouge du cadmium.

Nombre de demi-longueurs d'onde dans l'étalon de	Aller	Retour	Moyenne
$6^{\text{cm}}, 25$	194 146, 15	194 146, 13	194 146, 14
Comparaison des étalons de $6^{\text{cm}}, 25$ et 1^{m}	26, 13	24, 90	25, 52
Comparaison des étalons de 1^{m} et 5^{m}	229, 93	191, 15	210, 54
Comparaison des étalons de 5^{m} et 25^{m}	250, 62	248, 33	249, 48
Nombre de demi-longueurs d'onde observées pour l'étalon de 25^{m}			77659897
Correction due à la pression et à la température de l'étalon de $6^{\text{cm}}, 25$			298
Correction due à l'humidité			11
Correction due à l'acide carbonique			5
Correction due à la différence de température des étalons de $6^{\text{cm}}, 25$ et 25^{m}			36
Nombre de demi-longueurs d'onde dans l'étalon de 25^{m} ramené aux conditions normales			77659569
Longueur de l'étalon de 25^{m} exprimée en millimètres.			25000,331

Nous désirons exprimer nos remerciements sincères au Professeur H. Nagaoka pour l'encouragement qu'il a donné à nos travaux et pour les précieuses indications qu'il n'a cessé de nous prodiguer.



RÉSUMÉ DES DÉCISIONS

CONCERNANT LES UNITÉS ET LES PROTOTYPES MÉTRIQUES,

PRISES

PAR LES CONFÉRENCES GÉNÉRALES

ET

PAR LE COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

L'exposé, donné ci-après, des décisions prises par les Conférences générales et par le Comité international, résulte d'une proposition formulée par la Commission des suggestions, et que le Comité a acceptée dans sa séance du 13 juin 1929.

Cet exposé fait suite à celui qui a été inséré comme Annexe aux Procès-Verbaux des séances du Comité international, session de 1901. On conservera ici l'ordre déjà adopté.

1^o DÉCISIONS RELATIVES A LA PRESSION NORMALE ET A L'INTENSITÉ NORMALE DE LA PESANTEUR.

La Cinquième Conférence générale a adopté à l'unanimité la proposition du Comité, dont la teneur est la suivante (1):

« Considérant la nécessité universellement reconnue de ramener les valeurs diverses de l'accélération de la pesanteur à une valeur unique dite « valeur normale » ;

(1) *Comptes rendus de la Cinquième Conférence générale des Poids et Mesures*, 1913, p. 42.

» Considérant qu'en raison des perturbations locales, il est insuffisant, dans les mesures de haute précision, de fixer cette valeur normale comme on le faisait autrefois, par la condition qu'elle correspond à la pesanteur régnant à la latitude de 45° et au niveau de la mer;

» Considérant que, pour éviter toute indétermination, les Conférences générales ont déjà admis, comme valeur normale, $9,80665 \text{ m/sec}^{-2}$, valeur qui s'écarte, il est vrai, très légèrement du nombre moyen le plus probable dans la région de la terre ci-dessus indiquée, mais est cependant comprise entre les limites extrêmes des nombres correspondant à l'ancienne définition; que de plus, la valeur normale ci-dessus est déjà insérée dans diverses législations;

» Considérant la nécessité d'éviter toute équivoque sur le mode de calcul à adopter pour atteindre cette valeur;

» La Conférence déclare :

» 1^o Affirmer à nouveau que la valeur conventionnelle de référence dite « valeur normale » de l'accélération de la pesanteur est représentée par le nombre $9,80665 \text{ m/sec}^{-2}$;

» 2^o Qu'en conséquence, la réduction à la pesanteur normale des observations exécutées en un lieu donné de la Terre doivent être faites, non point à l'aide du facteur théorique donné par la formule de Clairaut rectifiée, mais par le facteur numérique ramenant à la valeur ci-dessus la pesanteur locale, si possible directement déterminée. »

Cette définition met fin au doute créé par l'expression « intensité de la pesanteur à 45° et au niveau de la mer ». Il a été démontré, en effet, par de nombreuses expériences, que cette grandeur présente des anomalies importantes, et que la définition primitive ne conduit pas à une valeur unique. Le Comité et la Conférence ont justement pensé qu'il convenait de sanctionner le nombre résultant de la réduction, à 45° et au niveau de la mer, de la valeur de la pesanteur déterminée au Bureau international des Poids et Mesures, tel que les meilleures expériences l'avaient indiqué autrefois.

Depuis lors, diverses législations l'ont sanctionné.

2° ÉCHELLE THERMOMÉTRIQUE NORMALE.

Le Comité international des Poids et Mesures avait adopté, comme échelle thermométrique normale, l'échelle centigrade du thermomètre à hydrogène, ce gaz étant considéré sous la pression manométrique initiale de 1^m de mercure. A l'époque où cette décision fut prise, il s'agissait seulement d'adopter une échelle unique, très voisine de l'échelle thermodynamique, dans le domaine des températures usuelles.

Depuis lors, la question a beaucoup progressé, d'abord par la découverte de l'hélium, gaz plus parfait encore que l'hydrogène, et par la précision accrue, surtout dans la mesure des températures très basses ou des températures élevées. C'est pour cela qu'après avoir été examinée à diverses reprises par le Comité international, la question fut portée à l'ordre du jour de la Cinquième Conférence générale, et conduisit au vœu suivant, adopté à l'unanimité (1).

« Considérant la décision prise par le Comité international des Poids et Mesures, dans sa session de 1887, et sanctionnée par la Première Conférence générale, d'adopter comme *échelle normale des températures pour le Service international des Poids et Mesures*, l'échelle du thermomètre à hydrogène sous volume constant;

» Considérant que cette échelle a été généralement acceptée pour les travaux scientifiques de tous ordres, et qu'ainsi la décision ci-dessus a pris une portée plus générale qu'il n'avait été prévu dans sa forme primitive;

» Considérant que, dans le domaine des températures très basses, autrefois inaccessibles, mais que les travaux récents permettent aujourd'hui d'atteindre et d'explorer, l'échelle normale

(1) *Comptes rendus de la Cinquième Conférence générale des Poids et Mesures*, 1913, p. 43.

est inapplicable, en raison de la liquéfaction, puis de la solidification de l'hydrogène; que, d'autre part, aux températures élevées, les thermomètres à hydrogène perdent toute constance et toute précision, en raison de la facile diffusion de ce gaz à travers les enveloppes;

» Considérant le désir légitime d'un grand nombre de physiciens, de rapporter l'expression des températures à l'échelle thermodynamique ou absolue, fondée sur des données de théorie pure, et par conséquent, indépendante de toute propriété d'une matière particulière, mais dont la représentation la plus parfaite réalisée jusqu'à ces derniers temps était celle que fournit l'échelle normale;

» Considérant que les progrès de la Science ont permis, tout récemment, de réaliser une matérialisation plus étendue et encore plus parfaite de l'échelle thermométrique par l'emploi du gaz hélium;

» Considérant enfin que les incertitudes de la graduation des divers thermomètres seraient réduites, dans la pratique des mesures, par l'adoption de valeurs déterminées pour un certain nombre de points de repère fournis par la fusion ou l'ébullition de substances convenablement choisies, et qu'ainsi, pour les températures extrêmes, la concordance des résultats obtenus par divers observateurs en serait améliorée;

» La Conférence déclare :

» 1^o Affirmer la grande utilité de tous les travaux expérimentaux ou théoriques, tendant à perfectionner notre connaissance des échelles thermométriques, notamment de l'échelle des gaz susceptibles d'applications pratiques, en vue de leur réduction à l'échelle absolue, et exprimer le désir que le Comité international charge le Bureau dont il a la haute direction, et qui a pris une si large part dans l'établissement de l'échelle normale, de participer à ces nouvelles recherches;

» 2^o Approuver les matérialisations que les études expérimentales auront montrées indubitablement supérieures à celle qui constitue l'échelle normale, à la fois pour son étude et pour son approximation à l'échelle absolue;

» 3^o Être prête à substituer, pour le Service international des Poids et Mesures, l'échelle absolue à l'échelle normale, aussitôt que le tableau de réduction d'une échelle à l'autre aura pris,

grâce aux travaux mentionnés ci-dessus, un caractère de suffisante stabilité;

» 4^o Approuver la fixation d'un certain nombre de repères thermométriques convenablement choisis, et dont la position sera déterminée aussi bien que possible.

» En vue des mesures d'exécution nécessitées par la quatrième résolution ci-dessus, la Conférence invite en outre le Comité international à organiser, le plus tôt possible, au Bureau international, une réunion des Directeurs des grands laboratoires nationaux ayant le plus contribué au développement des études thermométriques, réunion au sein de laquelle seront arrêtées les bases d'une coopération internationale pour le choix et la détermination de ces repères thermométriques, ainsi que pour leur adoption générale. »

Le laboratoire cryogène de Leyde, ayant bien voulu assurer sa collaboration au Bureau, lui remit un rapport, qui fut distribué parmi les savants intéressés à ce problème. L'examen approfondi de la question fit ressortir le fait que des expériences étaient encore nécessaires pour que l'on puisse déduire l'échelle absolue soit du thermomètre à hélium, soit du thermomètre à hydrogène. Dans ces conditions, on ne crut pas devoir attendre l'achèvement des études en cours, et le Comité international présenta à la Septième Conférence générale la proposition suivante (1) :

« Le Comité, reconnaissant l'importance pratique de la représentation d'une échelle thermométrique internationale, recommande à la Conférence d'accepter, à titre provisoire, les repères de température, les formules d'interpolation et les méthodes de mesure proposés d'un commun accord par les trois laboratoires nationaux d'Allemagne, des États-Unis d'Amérique et de Grande-Bretagne.

» Le Comité recommande aussi que le texte annexé soit

(1) *Comptes rendus de la Septième Conférence générale des Poids et Mesures*, 1927, p. 53.

maintenu à l'étude dans le programme des Conférences spéciales de Thermométrie qui seront tenues sous ses auspices. »

Voici quelques extraits du Rapport présenté à la Septième Conférence, et que les délégués du Bureau of Standards, du National Physical Laboratory et de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt avaient rédigé en commun (1).

« L'échelle thermodynamique centigrade, dans laquelle la température de la glace fondante et la température de condensation de la vapeur d'eau, toutes deux sous la pression d'une atmosphère normale, sont désignées par 0° et 100° respectivement, est reconnue comme l'échelle fondamentale à laquelle seront finalement rapportées toutes les températures.

» Les conditions expérimentales nécessaires à la réalisation pratique de l'échelle thermodynamique ont conduit à adopter, pour l'usage international, une échelle pratique connue sous le nom d'échelle internationale de température. Cette échelle concorde avec l'échelle thermodynamique aussi près que possible, et autant que nos connaissances actuelles permettent de le vérifier; elle doit être définie et facile à reproduire exactement; elle doit, de plus, offrir le moyen de donner une valeur unique des températures dans toute son étendue. Ainsi, elle favorisera l'uniformité dans l'expression numérique des températures.

.....

» L'échelle internationale des températures est fondée sur une série de températures d'équilibre fixes et faciles à reproduire, auxquelles des valeurs numériques sont assignées; elle utilise aussi les indications données par des instruments d'interpolation, repérés à ces températures suivant des procédés généralement acceptés.

» Les points fixes fondamentaux et les valeurs numériques qui leur sont attribuées pour la pression d'une atmosphère normale sont reproduits dans la table suivante, en même temps que les formules qui représentent la température comme une fonction de la pression de vapeur.

(1) *Comptes rendus de la Septième Conférence générale des Poids et Mesures*, 1927, p. 94.

» *Points fixes fondamentaux de l'échelle internationale de température :*

- a. Température d'équilibre entre l'oxygène liquide et gazeux à la pression d'une atmosphère normale
(Point d'ébullition de l'oxygène)..... —182,97⁰

$$\theta_p = \theta_{760} + 0,0126(p - 760) - 0,000065(p - 760)^2.$$

- b. Température d'équilibre entre la glace et l'eau saturée d'air à la pression d'une atmosphère normale
(Point de fusion de la glace)..... 0,000

- c. Température d'équilibre entre l'eau liquide et sa vapeur à la pression d'une atmosphère normale
(Point d'ébullition de l'eau)..... 100,000

$$\theta_p = \theta_{760} + 0,0367(p - 760) - 0,000023(p - 760)^2.$$

- d. Température d'équilibre entre le soufre liquide et sa vapeur à la pression d'une atmosphère normale
(Point d'ébullition du soufre)..... 444,60

$$\theta_p = \theta_{760} + 0,0909(p - 760) - 0,000048(p - 760)^2.$$

- e. Température d'équilibre entre l'argent solide et son liquide à la pression d'une atmosphère normale
(Point de fusion de l'argent)..... 960,5

- f. Température d'équilibre entre l'or solide et son liquide à la pression d'une atmosphère normale
(Point de fusion de l'or)..... 1063,0

» On définit la pression atmosphérique normale comme la pression exercée par une colonne de mercure de 760^{mm} de hauteur, ayant une masse de 13,5951 grammes par centimètre cube (1), soumise à une accélération de la pesanteur égale à 980,665 cm/sec²; elle est équivalente à 1013250 dynes/cm². »

(1) Il est tenu compte, dans le calcul de ce nombre, du rapport du litre au décimètre cube.

3^o LE MÈTRE INTERNATIONAL.

La Septième Conférence générale des Poids et Mesures a précisé, plus qu'elle ne l'avait été jusque-là, la définition du Mètre, en indiquant minutieusement les conditions dans lesquelles le Prototype doit être supporté et observé. Elle l'a fait dans les termes suivants (1) :

« L'unité de longueur est le Mètre, défini par la distance, à 0°, des axes des deux traits médians tracés sur la barre de platine iridié déposée au Bureau international des Poids et Mesures, et déclarée Prototype du Mètre par la Première Conférence générale des Poids et Mesures, cette règle étant soumise à la pression atmosphérique normale et supportée par deux rouleaux d'au moins un centimètre de diamètre, situés symétriquement dans un même plan horizontal et à la distance de 571^{mm} l'un de l'autre.

» *Commentaires.* — L'action de la pression sur la longueur d'une règle en platine iridié se manifeste par un raccourcissement égal à 0,48 millionième pour une atmosphère. Une règle en platine iridié de 1^m de longueur et de section uniforme varie, entre la position horizontale définie ci-dessus et la position verticale, de + 0^μ,65 si la règle est suspendue par une de ses extrémités, et de — 0^μ,65 si elle est supportée par l'autre.

» La longueur d'une règle de 1^m en platine iridié de la section adoptée pour les prototypes métriques, mesurée sur sa fibre neutre, diffère, lorsqu'elle est portée comme il est dit ci-dessus, de moins de 0^μ,001, de sa projection horizontale.

» Les bords des traits apparaissant, sous un fort grossissement, légèrement irréguliers, on est convenu de ne considérer que leur fraction limitée par les deux traits longitudinaux, dont la position moyenne marque l'axe de la règle. L'axe du trait doit être entendu comme étant la position moyenne de ce trait, observé à l'aide d'un micromètre à réticule, de manière à rendre égales entre elles les deux aires lumineuses comprises entre ce trait et les fils d'araignée du micromètre. »

(1) *Comptes rendus de la Septième Conférence générale des Poids et Mesures*, 1927, p. 48 et 49.

Entre la Sixième et la Septième Conférence générale, le Bureau a procédé à de minutieuses déterminations et comparaisons des dilatabilités d'un certain nombre de prototypes métriques; entre autres, il a comparé les dilatabilités de six règles, mesurées avant 1889, et auxquelles on avait attribué respectivement les valeurs les plus basses, les valeurs moyennes et les valeurs les plus hautes des dilatabilités trouvées. Ces six règles, comparées entre elles, ne montrèrent aucune différence dépassant les limites des erreurs d'observation, environ dix fois moindres qu'autrefois. Mais il restait à déterminer la valeur absolue des dilatabilités.

Lors de la Septième Conférence générale, le Comité international présenta la proposition suivante, qui fut adoptée à l'unanimité (1) :

« Les conclusions auxquelles le Bureau international des Poids et Mesures est déjà parvenu présentent un grand intérêt scientifique, mais exigent encore quelques études complémentaires, qui, faute de temps, n'ont pu être terminées avant la Conférence. En conséquence, la Conférence est invitée à charger le Comité de faire procéder aux études en question au cours des deux années qui viennent, et à donner au Comité pleins pouvoirs pour prendre éventuellement, dans sa session de 1929, la décision de faire, aux anciens certificats, toutes corrections utiles, conformément aux résultats déjà obtenus dans les expériences qui sont en cours d'exécution. »

La mesure définitive de la dilatabilité des prototypes a fait intervenir les Mètres n^{os} 20 et 26, puis T₂ et T₃. Le dernier, de l'alliage Johnson-Matthey, mais d'une coulée spéciale, s'est montré moins dilatable que les trois autres d'environ — 0,01 . 10⁻⁶. En revanche, les trois prototypes n^{os} 20, 26 et T₂ ont conduit à des résultats pratiquement

(1) *Comptes rendus de la Septième Conférence générale des Poids et Mesures*, 1927, p. 44.

identiques. Les nombres définitifs seront indiqués plus tard. Pour le moment, et en supposant le second coefficient $\beta = 1,77 \cdot 10^{-9}$, on déduit des expériences déjà faites,

$$\alpha_0 = 8,628 \cdot 10^{-6}.$$

L'égalité de la dilatabilité des prototypes permet maintenant un contrôle des nombres relatifs au Mètre international lui-même, simplement par la mesure de la dilatabilité d'une règle de la même coulée.

4° VALEURS DES LONGUEURS D'ONDE ÉTALONS.

Depuis les expériences de M. Michelson, exécutées au Bureau en 1892, et celles de MM. Benoit, Fabry et Perot, faites en 1906, les longueurs d'onde sont de plus en plus employées comme unités et comme instruments de mesure. Toutefois, les Conférences et le Comité ont toujours insisté sur le fait qu'il ne peut être question que d'unités secondaires, l'unité principale restant le Mètre international.

Déjà la *Conférence internationale des Recherches solaires* avait adopté, en 1907, pour la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, la valeur déduite de la relation : $1^m = 1\,553\,164,13 \lambda_R$, d'où était tirée la définition de l'ångström, considéré alors comme équivalant au dix-millième de micron. Mais, en supposant que le rapport de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium au Mètre fut trouvée un peu différente du nombre donné ci-dessus, l'ångström serait conservé pour la mesure des longueurs d'onde du spectre.

D'un autre côté, le Comité international avait, dans sa session de 1921 (1), appuyé d'un vote unanime la résolution suivante :

(1) *Procès-Verbaux*, session de 1921, p. 78.

« Le Comité considère comme désirable la poursuite, par toutes les autorités compétentes, de l'étude des longueurs d'onde lumineuses, dans le but de perfectionner les procédés métrologiques fondés sur leur application à la comparaison des étalons de longueur. »

A son tour, la Septième Conférence générale a adopté le texte ci-après (1) :

« Dans l'état actuel de nos connaissances, il est recommandé que la Conférence adopte, comme étalon fondamental pour la longueur des ondes lumineuses, la longueur d'onde de la radiation rouge émise par la vapeur de cadmium, déterminée par les expériences de MM. Benoît, Fabry et Perot.

» D'après ces expériences, la longueur d'onde de cette radiation est $643,84696 \cdot 10^{-9}$ mètre, lorsque la lumière se propage dans l'air sec à 15° (échelle de l'hydrogène), à la pression de 760^{mm} de mercure, g équivalant à $980,665 \text{ cm/sec}^2$, valeur normale de la pesanteur. La lumière doit être produite par un courant électrique de haute tension, continu ou alternatif, de fréquence industrielle (à l'exclusion de la haute fréquence), dans un tube à vide ayant des électrodes intérieures. La lampe doit avoir un volume ne dépassant pas 25^{cm^3} , et un tube capillaire dont le diamètre ne soit pas inférieur à 2^{mm} ; elle doit être maintenue à une température voisine de 320° , et la valeur du courant qui la traverse ne doit pas excéder $0,02$ ampère. A la température ambiante, le tube ne doit pas être lumineux lorsque le circuit à haute tension y est établi.

« La valeur du Mètre exprimée d'une façon provisoire en longueurs d'onde de la raie rouge du cadmium dans les conditions spécifiées ci-dessus est donc égale à $1553164,13$ (2), jusqu'à la précision du dernier chiffre inscrit. »

(1) *Comptes rendus de la Septième Conférence générale des Poids et Mesures*, 1927, p. 52.

(2) La précision indiquée, du « dernier chiffre inscrit », ne peut évidemment se rapporter qu'aux mesures spectrales. Lorsqu'on veut retourner au Mètre, le nombre ci-dessus doit déjà subir une légère correction. Ce nombre a été déduit de la valeur des deux étalons d'usage du Bureau; ceux-ci avaient subi un allongement accidentel moyen de $0^{\text{v}},37$, qui peut être localisé entre les années 1892 et 1901, mais n'a été découvert qu'en 1920, par une comparaison directe de ces

A cette proposition fut ajoutée la suivante (1) :

« Il est recommandé que la raie vert jaunée du krypton 565^{mμ}, plus fine que la raie rouge du cadmium, soit étudiée dans les laboratoires spécialement outillés dans ce but, afin de préparer sa substitution éventuelle à la raie rouge du cadmium.

» La raie du krypton donne, lorsque le tube est maintenu à la température ambiante, des interférences bien visibles jusqu'au delà de 250^{mm}; et, si le tube est refroidi jusqu'aux limites de température que l'on peut obtenir dans les laboratoires, les interférences sont observables pour une différence de marche d'environ 500^{mm}. Le resserrement de la raie s'effectue symétriquement; et, autant qu'on ait pu le constater, elle est dépourvue de satellites. »

5° DÉFINITION DU LITRE.

La Troisième Conférence, confirmant une définition donnée par le Comité international en 1880, avait déclaré (2) :

« L'unité de volume, pour les déterminations de haute précision, est le volume occupé par la masse de 1 kilogramme d'eau pure, à son maximum de densité et sous la pression atmosphérique normale; ce volume est dénommé *litre*;

.....

étalons avec le Prototype international. Le résultat des mesures de MM. Benoît, Fabry et Perot doit donc être augmenté de 0,37 millionième. D'autre part, la dilatabilité des prototypes avait été admise d'après les mesures de 1888 et de 1892; depuis lors, les dilatabilités ont été soumises, comme il a été dit plus haut, à un contrôle très serré, qui a conduit à modifier les formules admises jusque-là. En faisant ces diverses réductions, on trouve, pour la longueur d'onde, une valeur augmentée de + 0,11 millionième. Cette réduction étant faite, on obtient $1^m = 1\,553\,163,967\lambda_R$, rapport qui pourra être encore légèrement modifié à la suite des nouvelles mesures de dilatation.

(1) *Comptes rendus de la Septième Conférence générale des Poids et Mesures*, 1927, p. 53.

(2) Voir *Décisions prises*, etc. (*Procès-Verbaux* 1901, p. 175) et *Comptes rendus de la Troisième Conférence générale des Poids et Mesures*, 1901, p. 37.

« La Conférence charge le Comité international de faire poursuivre au Bureau les mesures destinées à faire encore mieux connaître le rapport de ces deux grandeurs, et de publier le plus tôt possible les résultats des recherches déjà effectuées au Bureau, afin de permettre d'utiliser à l'avenir, dans les travaux scientifiques ou techniques de haute précision, la valeur la plus probable de ce rapport. »

Depuis lors, des expériences très minutieuses ont été consacrées par le Bureau, ou avec sa collaboration, à la détermination du rapport en question. Trois méthodes ont été employées à la mesure des volumes. L'une a servi à déterminer les dimensions des cylindres au moyen de palpeurs, les deux autres sont parties de la longueur d'onde pour mesurer les arêtes de cubes de crown ou de quartz.

Le nombre aujourd'hui le plus probable est le suivant :

Volume d'un kilogramme d'eau pure à son maximum
de densité et sous la pression atmosphérique normale
= 1,000 028 décimètre cube.

Ce nombre diffère d'une unité de la dernière décimale du nombre généralement admis. Il est résulté d'une discussion approfondie des expériences, donnée dans « *La Création du Bureau international des Poids et Mesures et son Œuvre* » (p. 258).

6° TEMPÉRATURE DE DÉFINITION DES ÉTALONS À BOUTS.

Le Bureau international eut, dès l'année 1890, à s'occuper de la détermination précise des étalons à bouts ; mais c'est seulement en 1895 que le problème de la mesure de ces étalons prit une importance pratique en raison de la mesure des calibres industriels.

Le 24 octobre 1901, le Comité international acceptait une proposition de W. Foerster, exposant les inconvénients qu'il y aurait à définir les unités de longueur à une température différente de 0° (1).

La question fut de nouveau débattue en 1909, année où une Commission instituée par le Comité lui soumit la proposition suivante (2) :

« La perfection dans le fonctionnement des mécanismes exige l'ajustage précis, à toutes les températures, variables souvent entre des limites éloignées, de tous les organes qui les constituent; d'où résulte, dans la plupart des cas, la nécessité impérieuse de l'emploi, dans une même machine, d'un métal unique ou de métaux d'une même classe, possédant des dilatabilités très voisines.

» Si cette homogénéité de constitution est réalisée, le bon fonctionnement d'un mécanisme sera assuré à toutes les températures de l'usage, quelle que soit celle à laquelle les organes possèdent des dimensions égales à leurs valeurs nominales; tandis que, dans les ensembles hétérogènes, d'une constitution délicate, le fonctionnement deviendra plus ou moins défectueux, lorsque la température, supposée la même dans les diverses parties du mécanisme, s'éloignera sensiblement de celle à laquelle l'ajustage a été réalisé.

» Il est d'ailleurs complètement illusoire, dans ce cas, de chercher une amélioration en donnant aux pièces du mécanisme leur valeur nominale à une température dite *d'usage* plutôt qu'à toute autre; bien plus, l'idée que l'ajustage a été réalisé au voisinage des conditions ordinaires de fonctionnement peut créer une fausse sécurité.

» Le régime des températures voisines des températures dites *d'usage* est une ancienne phase, actuellement devenue insuffisante et même erronée, du développement graduel de la précision, eu égard aux difficultés causées par les dilatations thermiques.

(1) *Procès-Verbaux des Séances du Comité international des Poids et Mesures*, session de 1901, p. 126 et p. 137.

(2) *Procès-Verbaux, etc.*, session de 1909, p. 111.

» Il est, en revanche, une condition absolument essentielle, pour l'uniformité complète de la fabrication mécanique : c'est que tous les éléments des machines soient ajustés sur des étalons possédant des rapports exprimés toujours par leurs valeurs nominales. Cette condition en entraîne deux autres : les étalons destinés à régler la fabrication industrielle doivent être construits en un métal ou en des métaux doués de la même dilatabilité; et leur température de définition (température à laquelle ils possèdent leur valeur nominale) doit être la même.

» Parmi les diverses températures de définition proposées ou adoptées pour les étalons industriels, celle qui, en général, comporte la réalisation la plus précise est celle de la glace fondante; c'est aussi celle à laquelle les étalons scientifiques sont ajustés, de telle sorte qu'en l'adoptant également pour les étalons industriels, on constituerait un seul système de mesure pour la science et l'industrie; tandis que, si l'on choisissait pour les étalons industriels une autre température d'ajustage, on établirait deux systèmes de mesure distincts; ce qui ne serait pas sans inconvénient, à la fois pour la facilité de la détermination des étalons ou pour l'emploi ultérieur des machines dont ils auraient réglé la construction.

.....

» En conséquence, et afin de permettre la réalisation d'une unification que le développement de la précision dans l'industrie rend urgente pour l'uniformité de la construction mécanique dans tous les pays, le Comité international des Poids et Mesures recommande instamment que la température de la glace fondante soit celle pour laquelle on ajuste désormais les étalons industriels le plus près possible de leur valeur nominale.

» Toutefois, en faisant cette déclaration, le Comité ne voudrait pas faire naître l'impression qu'il regarde la température zéro du Système métrique comme une institution fondamentale de la Métrologie en général. Mais la recommandation d'adopter cette température pour les ajustages perfectionnés de l'industrie est essentiellement dictée par la conviction que sur cette base existe déjà la plus grande probabilité d'arriver à une homogénéité rationnelle désirable entre les procédés métrologiques de la science et de l'industrie. »

La même question fut présentée à la Cinquième Confé-

rence générale, qui, dans sa séance du 17 octobre 1913, fut appelée à voter sur la proposition ci-après (1) :

« Considérant que la précision des ajustages est devenue un facteur indispensable, à la fois du bon fonctionnement des machines de la fabrication en série, élément essentiel de la construction industrielle;

» Considérant que l'ajustage des pièces de machines est généralement obtenu en rapportant leurs dimensions à des étalons à bouts;

» Considérant la complexité de la question, surtout en raison de la diversité de dilatation des aciers employés à la construction de ces étalons;

» La Conférence ;

» Invite le Comité international à faire poursuivre les travaux de tous ordres destinés à assurer les perfectionnements possibles dans la connaissance des propriétés métrologiques des aciers, ainsi que dans la construction, la détermination et l'emploi des étalons à bouts. »

La proposition fut adoptée par 13 voix contre 4.

Par l'emploi de plus en plus général des étalons à bouts plans, ajustés avec une précision inconnue jusque-là, le problème se trouva modifié, de telle sorte que le Comité international fut conduit à accepter, en 1927, une proposition formulée comme suit (2) :

« Le Comité nomme une Commission de cinq membres, qui, en commun avec le Directeur du Bureau, étudiera la question de définition des étalons à bouts. Cette Commission doit présenter un rapport avant le 1^{er} mars 1929. »

Les documents parvenus à la Commission ainsi constituée sont publiés dans le présent volume. La plupart de ses membres seraient disposés à se rallier à la température de 20°, acceptée déjà dans la plupart des pays.

(1) *Comptes rendus de la Cinquième Conférence générale des Poids et Mesures*, 1913, p. 47.

(2) *Procès-Verbaux*, session de 1927, p. 74.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

ERIK IVAR FREDHOLM

PAR M. VITO VOLTERRA.

Erik Ivar Fredholm naquit le 7 avril 1867 à Stockholm. Il appartenait au Comité international des Poids et Mesures depuis l'année 1923. Sa santé ne lui avait permis de prendre part qu'à deux de nos réunions : celles de 1923 et de 1925. Pendant l'hiver de 1927 il avait été toujours souffrant et il avait suspendu ses cours à l'Université; mais lorsque je le revis à Stockholm en mai de la même année, j'appris par lui qu'il espérait être remis dans l'été qui s'approchait, et il pensait avec joie que nous nous rencontrerions quelques mois après à Paris, aux séances du Comité. Malheureusement c'était la dernière fois que je devais le voir, car il mourut trois mois après à Mörby, enlevé par le mal impitoyable qui menaçait son existence depuis quelques années.

I.

Le souvenir de Fredholm et de son œuvre ne se perdra pas. Mais ceux qui l'ont connu personnellement, comme moi, qui ai eu l'occasion de le rencontrer depuis sa jeunesse dans les congrès européens et dans les milieux intellectuels de Stockholm, qui me suis entretenu souvent familièrement avec lui de questions scientifiques, et qui l'ai vu dans sa famille auprès d'une aimable et tendre épouse, ne pourront jamais oublier son aspect sérieux et calme, sa conversation posée et pleine d'intérêt et son âme affectueuse.

Fredholm a suivi de près dans le tombeau son maître et ami Mittag-Leffler, décédé en juin 1927, à l'âge de 81 ans. L'un et l'autre appartenaient à l'école mathématique suédoise, qui a constitué un des centres les plus importants de culture scientifique européenne au cours du XIX^e siècle et dans le commence-

ment du présent siècle, et qui poursuit aujourd'hui encore ses nobles traditions. La Suède avait eu parmi ses savants de grands naturalistes et de grands chimistes, mais ce n'est que dans la seconde moitié du dernier siècle qu'on voit apparaître dans ce pays des mathématiciens d'une valeur exceptionnelle. Il faut attribuer à Mittag-Leffler le mérite principal d'avoir suscité ce mouvement intellectuel. Ses efforts furent aidés par le haut patronage du Roi Oscar I^{er}, qui a toujours été un protecteur des sciences et particulièrement des mathématiques.

Le moment où cette école mathématique prit naissance coïncide avec la période la plus brillante du développement de la théorie des fonctions. C'est à peu près au même moment que le célèbre journal *Acta mathematica* commença à paraître.

L'influence des grands géomètres vivant à cette époque, en particulier de Weierstrass, d'Hermite, de Betti se fait sentir dès le commencement, et c'est seulement après que l'on perçoit celle de Poincaré, de Picard, de Darboux, de Cantor, de Dini et d'autres mathématiciens, parmi lesquels il faut rappeler Sophie Kowalewski, laquelle enseigna pendant un certain nombre d'années à l'Université de Stockholm.

II.

Fredholm obtint en 1898, à Upsala, le grade de Docteur, et fut attaché tout de suite comme docent à l'Université de Stockholm, où il devint professeur de mécanique rationnelle et de physique mathématique à partir de 1906.

Les premières recherches de Fredholm se rapportent à la théorie des équations aux dérivées partielles, en vue spécialement des applications à la physique mathématique. En effet, dans les années 1899 et 1900 il publia quatre travaux : *sur une classe d'équations aux dérivées partielles*; *sur une équation aux dérivées partielles du quatrième ordre*, et deux Mémoires *sur la théorie mathématique de l'élasticité*.

C'est à la même époque que Fredholm commença à s'occuper des équations intégrales. Le premier de ses écrits sur ce sujet porte le titre très modeste : *Sur une nouvelle méthode pour la solution du problème de Dirichlet*, et fut inséré dans les Archives de l'Académie de Stockholm.

On doit à Abel le mérite d'avoir appelé pour la première fois l'attention des géomètres sur la classe de problèmes qui sont connus aujourd'hui sous le nom d'équations intégrales. C'est à

l'occasion de l'étude des lignes tautochrones que le grand mathématicien norvégien posa la question de résoudre une équation intégrale très particulière, qui est aussi une équation à noyau singulier. Mais il montra son génie par l'extension qu'il donna à la question, ce qui conduisit à supposer qu'il eut l'intuition du rôle que les équations intégrales devaient jouer dans l'analyse.

Après Abel s'est écoulée une longue période durant laquelle Liouville et bien d'autres ont appliqué la solution de la même équation intégrale à un grand nombre de problèmes d'analyse, de mécanique et de physique mathématique, ainsi qu'à l'extension du concept de dérivation; mais aucun progrès n'a été réalisé pour la résolution des équations intégrales au delà de ce qu'Abel avait obtenu.

Il faut arriver à une époque plus récente, à Sonine et à Roux pour trouver un vrai progrès dans ce domaine de l'analyse.

Pour ma part j'ai appliqué mes études sur les fonctionnelles et mes méthodes du passage du fini à l'infini à la résolution des équations intégrales, en les regardant comme un cas limite d'équations algébriques, et en employant pour leur solution les déterminants infinis.

Le problème des équations intégrales qui forme le sujet des mémoires publiés plus tard par Fredholm est celui des équations linéaires à limites constantes lorsqu'il y a un terme, externe à l'intégrale, contenant la fonction inconnue. Ce sont ces équations qu'on appelle *Équations de Fredholm*.

Fredholm emploie la méthode indiquée précédemment, qui consiste à considérer les équations intégrales comme le cas limite d'un système d'équations algébriques, et à se servir du passage du fini à l'infini, qui a dévoilé le secret de leur résolution.

Le nombre des applications que l'équation de Fredholm a eues dans tous les domaines de l'analyse et de la physique mathématique est immense. Elles se suivent sans interruption, et leur importance ne fait qu'augmenter de jour en jour. La renommée qu'elles ont donné à Fredholm est très grande, et elles le placent parmi les géomètres qui ont le plus contribué dans ces derniers temps aux progrès des mathématiques.

III.

Un grand nombre d'Académies le nommèrent leur associé ou leur correspondant; je rappellerai l'Académie de Stockholm, l'Académie des Sciences de Paris, l'Académie des Lincei, celles

d'Upsala, de Göttingue, de Kristiania, de Finlande. Il a été nommé Docteur honoraire de l'Université de Leipzig, et l'Académie de Budapest lui décerna pour ses travaux une de ses plus grandes récompenses, le prix Bolyay.

Comme il arrive souvent à ceux qui ont fait une grande découverte ou qui ont publié un ouvrage célèbre à cause de ses applications, le nom de Fredholm reste attaché au problème des équations intégrales; mais même en dehors de ses Mémoires sur ce sujet, l'ensemble des autres travaux qu'on lui doit, serait suffisant pour lui assurer une place parmi les plus savants géomètres des derniers temps.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
Liste des Membres du Comité.....	V
Liste du personnel du Bureau.....	VII
Procès-verbaux des séances de l'année 1929.....	1-76
<i>Procès-verbaux de la première séance du 4 juin 1929..</i>	<i>1-40</i>
Ouverture de la session.....	1
Souhaits de bienvenue de M. le Président aux anciens membres du Comité ainsi qu'aux nouveaux membres.....	1
Hommage rendu à D. Konovalov, décédé depuis la dernière session. Démission de M. L. Torres y Quevedo et de M. L. de Bodola. Réunion du Comité consultatif d'Électricité. Remerciements à l'International Education Board pour sa sub- vention, ainsi qu'au Gouvernement français pour la concession du terrain.....	1-2
MM. Appell, Kargatchin, MacMahon et Stratton sont empêchés d'assister à la session.....	2-3
<i>Rapport au Comité international sur la gestion du Bureau pendant la période comprise entre le 1^{er} sep- tembre 1927 et le 31 mai 1929.....</i>	<i>4-39</i>
I. — Personnel.....	4-5
Engagement de M. Edmond Guérin. Séjour de M. Kwiatkowski, Field et Zmaczynski.....	4-5
II. — Bâtiments.....	6-7
Ravalement du Pavillon de Breteuil. Constructions nouvelles, en vue d'installer les mesures élec- triques.....	5-7

	Pages.
III. — <i>Machines et Instruments</i>	7-11
Quartz étalons. Contrôle des bases. Construction nouvelle des thermomètres à mercure. Perfectionnements aux comparateurs. Révision de la machine à diviser. Argentures.....	7-11
IV. — <i>Travaux</i>	11-29
Publications : Achèvement du Tome XVIII des Travaux et Mémoires, contenant : <i>Nouvelles études thermométriques</i> , par Ch.-Éd. Guillaume; <i>Applications pratiques des interférences lumineuses à l'étude des calibres industriels et autres longueurs à bouts</i> , par A. Pérard; <i>Comptes rendus de la Sixième Conférence générale des Poids et Mesures</i> ; <i>Les Récents Progrès du Système métrique, 1921</i> ; <i>Comptes rendus de la Septième Conférence générale des Poids et Mesures</i>	11-14
Rapports et Procès-verbaux du Comité consultatif d'Électricité.....	14-15
Température d'ajustage des étalons à bouts.....	15
Publications relatives à la thermométrie.....	15
Dilatabilités absolues et relatives des prototypes n° 20, n° 26, T ₂ , T ₃	16-18
Dilatations des calibres Johansson et changements avec le temps. Déterminations, au moyen, des interférences, de divers calibres de la Section technique de l'Artillerie. Étude de diverses radiations.....	18-20
Déterminations des fils géodésiques. Circulation des fils en vue de la comparaison des bases murales. Étude de diverses règles. Pesées.....	21-22
Dilatations des aciers Holtzer et des aciers CCR. Détermination de la température d'ébullition de l'eau par P. Chappuis, nouveaux calculs des expériences par M. Ch. Volet.....	23-24
Étude du comparateur Hartmann et des glissières de la machine à mesurer. Déterminations diverses.....	24-25
Certificats, rapports et notes d'étude.....	26-29
V. — <i>Comptes</i>	30-39
1. — Frais d'établissement et d'amélioration du matériel scientifique.....	30

	Pages.
2. — Frais des étalons et témoins internationaux.....	31
3. — Frais annuels.....	31
4. — Caisse de Secours et de Retraites.....	31
5. — Fonds de réserve.....	32-33
Tableaux résumant les divers comptes...	34-37
Examen de ces tableaux et bilan.....	37-39.
Nomination de deux Commissions.....	40
<i>Procès-verbal de la deuxième séance, du 5 juin 1929...</i>	41-55
<i>Rapport sur la gestion du bureau du Comité pour la période comprise entre le 1^{er} septembre 1927 et le 31 mai 1929.....</i>	42-54
Rappel des articles de la Convention qui instituent la section d'électricité. Nouveaux laboratoires..	42-43
Accession de la Hollande à la Convention du Mètre.	44-46
Changements survenus dans la composition du Comité. Mort de D. Konovalov, démission de MM. L. Torres y Quevedo et L. de Bodola. Élection de MM. Blas Cabrera y Felipe, V. Posepal, E.-S. Johansen, J.-C. MacLennan.	46-47
Contributions des États et ratification de la Convention.....	47-49
Rapports financiers sur les exercices de 1927 et 1928 et sur les exercices de 1928 et 1929.....	49-54
Commission des suggestions.....	54-55
Nomination par acclamation de MM. L. de Bodola et L. Torres y Quevedo comme membres honoraires. Élection au scrutin secret de MM. M. Chatelain, C. Statescu et P. Zeeman.....	55
<i>Procès-verbal de la troisième séance, du 8 juin 1929..</i>	56-65
Souhaits de bienvenue à M. Chatelain.....	56
Rapport de la Commission des Comptes et des Finances, et approbation.....	57
Premier Rapport de la Commission des Instruments et des Travaux (<i>Propositions du Comité consultatif</i> . Agrandissement des laboratoires. Travaux concernant la continuation des activités anciennes du Bureau. Publications. Température de définition des étalons à bouts. Échelle thermométrique absolue. Dilatation de prototypes et d'autres étalons. Raies spectrales. Fils géodésiques) et approbation.....	57-61

	Pages.
Rapports du Comité consultatif d'Électricité avec le Comité international	62
Détail des nouveaux bâtiments	62-63
Étalons photométriques	64
Situation financière du Bureau et vote de la dotation pour 1930 et 1931	64-65
<i>Procès-verbal de la quatrième séance, du 12 juin 1929..</i>	<i>66-69</i>
Comité consultatif d'Électricité	66
Résolutions concernant les unités de lumière....	67
Deuxième Rapport de la Commission des Comptes et des Finances, et vote du budget.....	67-69
Publication des décisions du Comité et des Conférences.....	69
<i>Procès-verbal de la cinquième séance, du 13 juin 1929.....</i>	<i>70-72</i>
M. Johansen, obligé de retourner à Copenhague, donne ses pouvoirs à M. Volterra. L'augmentation des traitements du personnel sera appliquée à partir du 1 ^{er} juillet 1929.....	70-71
M. Zeeman accepte sa nomination.....	71
Règlement fixant la composition et les fonctions du Comité consultatif d'Électricité.....	71
Divers.....	71-72
<i>Procès-verbal de la sixième séance, du 14 juin 1929 ..</i>	<i>73-75</i>
Les décisions du Comité consultatif d'Électricité seront publiées	73
Procès-verbal de la visite du dépôt des prototypes.	74
Réparation du caveau.....	75
Clôture de la session.....	75
Addition : valeur du mille marin acceptée par convention internationale.....	76
Comité consultatif d'Électricité : Rapports. Procès-verbaux des séances de 1928 et Annexes.....	77-122
Liste des membres du Comité consultatif et invités ...	79-80
<i>Premier Rapport du Comité consultatif d'Électricité au Comité international des Poids et Mesures, par M. George K. Burgess.....</i>	<i>81-94</i>
Composition du Comité consultatif. Distribution des Rapports	81-84
Problèmes présentés au Comité consultatif.....	84-85

	Pages.
Systèmes d'unités.....	85-87
Les unités électriques actuelles.....	87-89
Conclusions sur le système des unités.....	89-90
Rôle des laboratoires.....	90-92
Rôle du Comité international.....	92-93
Échange des étalons.....	93
Conclusion.....	93-94
<i>Procès-verbal de la première séance, du 20 novembre 1928.....</i>	<i>95-101</i>
Ouverture de la session par M. Volterra.....	95
Nomination de deux membres d'honneur. M. Janet accepte de présider les séances.....	95-96
Questions à étudier par le Comité consultatif....	97
Choix des unités absolues.....	98-100
Transport des étalons.....	100
<i>Procès-verbal de la deuxième séance, du 21 novembre 1928.....</i>	<i>102-108</i>
Propositions de M. George K. Burgess et de M. S. Jimbo.....	102-104
Vote du texte relatif aux unités absolues.....	105
Rôle du Bureau international.....	105-108
<i>Procès-verbal de la troisième séance, du 22 novembre 1928.....</i>	<i>109-116</i>
Propositions du Comité américain concernant les fonctions du Bureau international.....	109-111
Agrandissement des laboratoires du Bureau international.....	112-113
Passage des instruments aux douanes.....	114-115
Nomination d'un rapporteur.....	115
Adjonction d'experts.....	115
Choix du français comme langue officielle du Comité consultatif.....	115
Clôture de la session.....	116
<i>Procès-verbal de la séance technique, du 21 novembre 1928.....</i>	<i>117-123</i>
Température des bains d'huile contenant les étalons de force électromotrice.....	117-118
Spécifications concernant les unités de résistance.....	118-119
Voltmètre à argent.....	119-120
Bâtiments et laboratoires.....	120-123

	Pages.
<i>Annexes</i>	123-142
Allemagne : <i>Considérations touchant le remplacement des unités électriques internationales par des unités électriques absolues</i> , par M. von Steinwehr	125-127
États-Unis d'Amérique : <i>Extrait d'une lettre de M. George K. Burgess</i> : du 12 juillet 1928.....	128-130
<i>id.</i> du 23 juillet 1928.....	131-132
<i>Établissement et conservation des valeurs adoptées pour les unités électriques fondamentales. Memorandum du Bureau of Standards</i>	133-151
<i>Résolutions de l'Institut américain des Ingénieurs électriciens concernant la révision des unités électriques</i> , transmise par M. H.-E. Farrer.....	152-153
France : <i>Note sur les unités et les étalons électriques présentée par la Commission de la Société française des Électriciens</i>	154-155
Grande-Bretagne : <i>Memorandum du Comité des Unités et des Étalons électriques du National Physical Laboratory</i>	156-160
<i>La situation des Unités et Étalons électriques au National Physical Laboratory, et leur relation avec ceux d'autres laboratoires</i> , par M. le Dr D.-W. Dye.	161-181
Italie : <i>Rapport présenté au Comité consultatif d'Électricité au nom du Comité italien</i> , par M. L. Lombardi.....	182-183
Japon : <i>Notes sur la révision des unités électriques, présentées au nom du Laboratoire électrotechnique du Japon</i> , par M. K. Tatkatsu.....	184
Union des Républiques Soviétiques Socialistes : <i>Propositions de la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'U. R. S. S.</i>	185-186
<i>Un nouveau modèle d'éléments normaux Weston</i> , par M. F. Malikov	187-193
Bureau international des Poids et Mesures : <i>Questions à examiner</i> , par M. Ch.-Éd. Guillaume.....	194-197
Rapports concernant la température d'ajustage des étalons industriels	199-241
Avant-Propos	201-202

	Pages.
Allemagne : <i>Rapport de M. W. Kösters. Sur le choix de la température d'ajustage des étalons industriels en Allemagne</i>	203-209
États-Unis d'Amérique : <i>Rapport de M. George K. Burgess. Sur la température de définition des étalons à bouts</i>	210-211
<i>Extrait d'une lettre de M. C.-E. Johansson à M. George K. Burgess, relative à l'ajustage des calibres</i>	212-218
France : <i>Rapport de M. F. Cellerier. Sur le choix de la température d'ajustage des étalons industriels à bouts</i>	219-228
Bureau international des Poids et Mesures : <i>Rapport de M. Ch.-Éd. Guillaume. Sur la température de définition des étalons à bouts</i>	229-241
Annexes aux Procès-verbaux de la session de 1929 du Comité international des Poids et Mesures	243
<i>Sur une lampe à cadmium d'un nouveau type, par MM. H. Nagaoka et Y. Sugiura</i>	245-254
<i>Étalonnage d'un fil Jäderin de 25^m en fonction de la longueur d'onde de la raie-rouge du cadmium, par MM. N. Watanabe et M. Imaizumi</i>	255-260
<i>Résumé des décisions concernant les unités et les prototypes métriques, prises par les Conférences générales et par le Comité international des Poids et Mesures</i>	261-276
<i>Notice nécrologique : Erik-Ivar Fredholm</i>	277-280

PARIS — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET C^{ie}
84891 Quai des Grands-Augustins, 55
